



DIMENSIONAMENTO DE PÓRTICO ROLANTE CAPACIDADE 15 TONELADAS

15 TONS CAPACITY ROLLER FRAME SIZING

2021

Arthur dos Santos Costa ¹

Bruno Pujoni de Mello ²

Maria Hellena Tebet Gonçalves ³

Saulo Aparecido Mendes Miguel ⁴

Professor Orientador: Me. Fernando da Silva Santos

RESUMO

Este presente trabalho tem como objetivo entender, calcular e projetar um pórtico rolante de capacidade 15 toneladas e vão de 10 metros, com o intuito em otimizar e baratear a produção da indústria que a utilize. Pórticos rolantes são equipamentos que são utilizados para se realizar a movimentação de cargas por uma determinada distância e tempo, tem versatilidade em sua instalação e movimentação. Para se dimensionar um pórtico rolante é necessária a utilização da norma NBR 8400:1984 (Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas). Através dos cálculos determina-se os componentes estruturais e mecânicos que são indispensáveis no funcionamento do pórtico.

Palavra-chave: Pórtico. Pórtico rolante. Dimensionamento estrutural. Engenharia mecânica. Movimentação de cargas.

ABSTRACT

This work aims to understand, calculate and design a gantry crane with a capacity of 15 tons and a span of 10 meters, in order to optimize and cheapen the production of the industry that uses it. Gantry cranes are equipment that are used to carry out the movement of loads for a certain distance and time, it has versatility in its installation and movement. To design a gantry crane, it is necessary to use the standard NBR 8400: 1984 (Calculation of equipment for lifting and moving loads). Through the calculations, the structural and mechanical components that are indispensable in the functioning of the gantry are determined.

Keyword: Portico. Gantry crane. Structural design. Mechanical Engineering. Cargo handling.



1 INTRODUÇÃO

O deslocamento de cargas altas é objeto de estudo do homem há vários anos. A cada dia que passa, percebe-se a necessidade de otimizar tempo e melhorar a segurança para realização de atividades cada vez mais demoradas e perigosas. O objetivo do desenvolvimento desta técnica de deslocamento é reduzir os esforços aplicados em cargas cada vez maiores durante seu transporte.

É sabido que com o aumento da competitividade entre as empresas no mercado atual, a operação de elevação e movimentação de um determinado material é crucial para ganho de tempo e cumprimento de prazo, redução do esforço físico e, conseqüentemente, aumento da produtividade dos colaboradores e aumento da segurança no ambiente de trabalho. Essas vantagens somadas resultam em um ganho de qualidade e aumento da satisfação do cliente.

É notório que a qualidade do processo produtivo de uma empresa impacta significativamente no resultado final de sua lucratividade. Hoje temos que a maior perda em um processo produtivo é oriunda do deslocamento de cargas, o que faz com que empresas invistam cada vez mais neste quesito.

Inúmeros equipamentos podem ser utilizados para realizar o deslocamento de carga, sendo eles escolhidos de acordo com o segmento da indústria. Podemos destacar as empilhadeiras móveis, correias transportadoras, transportadores pneumáticos, guindastes móveis, talhas e vários outros, além dos pórticos rolantes, objeto deste estudo.

¹ Fernando da Silva Santos – Curso de Engenharia Mecânica – Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. Fernando.santos@ubm.br

² Arthur dos Santos Costa – Curso de Engenharia Mecânica – Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. arthur.santos98@icloud.com

³ Bruno Pujoni de Mello – Curso de Engenharia Mecânica – Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. bpujoni@outlook.com

⁴ Maria Hellena Tebet Gonçalves – Curso de Engenharia Mecânica – Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. mariatebet@outlook.com

⁵ Saulo Aparecido Mendes Miguel – Curso de Engenharia Mecânica – Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. Saulo.aparecido@gmail.com



1.2 Objetivo Geral

Dimensionar um pórtico rolante de duas pernas e uma viga principal, com uma capacidade máxima de 15 toneladas, atendendo as normas estabelecidas na NBR 8400 de 1984.

1.3 Objetivo específico

Neste trabalho os objetivos específicos são:

- a) Classificar os sistemas de elevação e transporte;
- b) Utilizar a norma NBR 8400 (ABNT, 1984) para realizar o correto dimensionamento do Pórtico Rolante de acordo com a sua classe de utilização.

1.4 Justificativa

A utilização de pórticos rolantes é de extrema importância para indústrias que o utilizam, já que o mesmo diminui significativamente os custos que são gerados pela lentidão na movimentação de cargas e descargas dos materiais, também há aumento na saúde e na segurança dos funcionários.

Segundo SORDI (2016). Com a utilização de diversos equipamentos para a realização de transporte de materiais em uma indústria, os funcionários precisam de criatividade em improvisar certas situações como suportes e amaras, porém ficando expostos a prováveis acidentes ocupacionais. Ou seja, com a adição de pórticos rolantes ao processo de transporte, o próprio fica mais produtivo e otimizado.

De acordo com TAMASAUSKAS (2000). Com o intuito de reduzir gastos na produção, uma das maneiras a ser feita é a redução das distâncias a se percorrer e também da diminuição do tempo na movimentação das matérias-primas nesse processo.

2 PROJETO ESTRUTURAL DO PÓRTICO ROLANTE CAPACIDADE 15 TONELADAS E VÃO COM 10 METROS

2.1 PARÂMETROS DE PROJETO



Para dimensionar um pórtico rolante, é necessário que o profissional responsável pelo projeto siga as diretrizes estabelecidas na NBR 8400 de 1984: Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas. Esta norma estabelece todos os critérios a serem seguidos para que a estrutura projetada seja a mais segura, eficaz e econômica possível. Neste tópico será abordado todos os parâmetros de projetos a serem considerados para o pré-dimensionamento de um pórtico rolante.

2.1.1 Classe de utilização da estrutura.

Para dimensionar um pórtico rolante, o Engenheiro Mecânico deve determinar a classe de utilização do equipamento. Conforme exposto pela NBR 8400:1984, determina-se a classe de utilização da estrutura de acordo com o número de ciclos em que a mesma será submetida ao longo de sua vida útil. A Tabela 1 abaixo apresenta as classes de utilização que podem ser adotadas quando do dimensionamento de um pórtico rolante.

Tabela 1 – Classes de utilização

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

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.1.2 Estados de carga



Definida a classe de utilização, o profissional deve determinar o estado de carga do equipamento. De acordo com a NBR 8400:1984, o estado de carga é caracterizado de acordo com o percentual de carga máxima elevada pela estrutura durante sua vida útil. A Tabela 2 aponta os estados de carga a serem considerados.

Tabela 2 – Estados de cargas

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

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.1.3 Classificação da estrutura dos equipamentos (ou elementos da estrutura) em grupo

Após a definição da classe de utilização e do estado de carga do pórtico rolante, o Engenheiro Mecânico deve identificar o grupo da estrutura, ou seja, o grupo em que o equipamento por ele dimensionado se encaixa de acordo com o que foi adotado nos critérios anteriores. Esta identificação deve ser feita para que o coeficiente de majoração M_x possa ser definido. As Tabelas 3 e 4 ilustram, respectivamente, a classificação da estrutura dos equipamentos (ou elementos da estrutura) em grupo e os valores do coeficiente de majoração a ser adotado.



Tabela 3 - Classificação da estrutura dos equipamentos (ou elementos da estrutura) em grupo

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: NBR 8400 (1984)

Tabela 4 – Valores do coeficiente de majoração para equipamentos industriais

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

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.1.4 Classe de funcionamento

Para que o projetista determine a classe de funcionamento do pórtico rolante, é necessário considerar a Tabela 5 abaixo, conforme exposto na NBR 8400(1984). Este critério pode ser caracterizado de acordo com o tempo médio em serviço a que o mecanismo estará submetido, ou pela duração teórica de utilização.



Tabela 5 – 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	$t_m > 16$	50000

Fonte: NBR 8400 (1984)

Quanto a classe de funcionamento, a norma menciona ainda que:

- Os tempos diários de funcionamento são considerados para uma utilização na velocidade nominal do mecanismo;
- As classes V1 a V5 referem-se a mecanismos utilizados de modo regular;
- A classe V0,5 refere-se principalmente a movimentos para trazer o equipamento a uma posição determinada e a partir da qual uma série de operações se efetua sem utilização deste movimento (por exemplo: translações de grua portuária);
- A classe V0,25 se refere a movimentos de utilização casual;



e) As durações de uso da terceira coluna devem ser consideradas como valores convencionais, servindo de base ao cálculo de elementos de mecanismos, para os quais o tempo de utilização serve de critério para a escolha do elemento (rolamentos, engrenagens em certos métodos);

f) A duração total de utilização não pode em caso algum ser considerada como garantia de vida útil.

2.1.5 Estado de solicitação

Responsável por determinar a fração da carga máxima aplicada ao mecanismo durante sua vida útil, o estado de solicitação deve ser definido pelo profissional em concordância com a Tabela 6, conforme NBR 8400 (1984).

Tabela 6 – Estado de solicitação dos mecanismos

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

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.1.6 Classificação dos mecanismos em grupos

Lançando mão da classe de funcionamento e do estado de solicitação determinado pelo Engenheiro Mecânico responsável pelo dimensionamento, este profissional deverá identificar o grupo do mecanismo adotando a Tabela 7, em conformidade com a NBR 8400 (1984).

Tabela 7 – Grupos dos mecanismos



Estados de solicitação	Classes de funcionamento						
	V0,25	V0,5	V1	V2	V3	V4	V5
1	1Bm	1Bm	1Bm	1Am	2m	3 m	4 m
2	1Bm	1Bm	1Am	2 m	3 m	4 m	5 m
3	1Bm	1Am	2 m	3 m	4 m	5 m	5 m

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.2 Pré dimensionamento estrutural

Nesta fase, o pré-dimensionamento estrutural será realizado através de definições de alguns parâmetros de projeto em conformidade com a NBR 8400:1984.

2.2.1 Classificação da estrutura

Para o dimensionamento estrutural, adotaremos os seguintes parâmetros para classificar a estrutura:

- Classe de Utilização = A;
- Estado de Carga = 2 (médio), sendo assim $P = 2/3$.

Assim sendo, a estrutura a ser dimensionada é classificada como grupo 5, o que nos dá um coeficiente de majoração $M_x = 1$, conforme Tabela 4.

2.2.2 Classe de utilização

Para definir a classe de utilização da estrutura, utiliza-se a seguinte equação:

$$T_m = \frac{2 \times H \times N \times T}{60 \times V_L}$$

Para este projeto, serão adotados os seguintes parâmetros:



Altura de elevação (H) = 8 m;

Ciclagem média (N) = 4 ciclos/h;

Tempo de trabalho (T) = 6 h/dia;

Velocidade de elevação (VL) = 5m/min

Assim sendo, utilizando a equação acima mencionada, têm-se:

$$T_m = \frac{2 \times 8 \times 4 \times 6}{60 \times 5} = 1,28 \text{ horas}$$

Ou seja, o tempo médio diário de trabalho do equipamento é de 1,28 horas.

Com isso, verificando a Tabela 5, fica definida a classe de funcionamento e a duração total teórica (T_d) do equipamento como V1 e 3200 h, respectivamente.

Com o valor de $T_d = 3200 \text{ h}$ calcula-se o número convencional de ciclos de levantamento (N_x), lançando mão da seguinte equação:

$$N_x = 3600 \times \frac{T_d}{T_s}$$

Com isso, considerando que o tempo de duração do ciclo $T_s = 300\text{s}$, calcula-se:

$$N_x = 3600 \times \frac{3200}{300} = 38400$$

Este resultado correlacionado com a Tabela 1 define a estrutura com classe de utilização A.

2.2.3 Estado de carga

Para este projeto, será definido o estado de carga 2, conforme Tabela 2, ou seja, equipamentos que raramente levantam a carga nominal e comumente cargas da ordem de 2/3 da carga nominal.



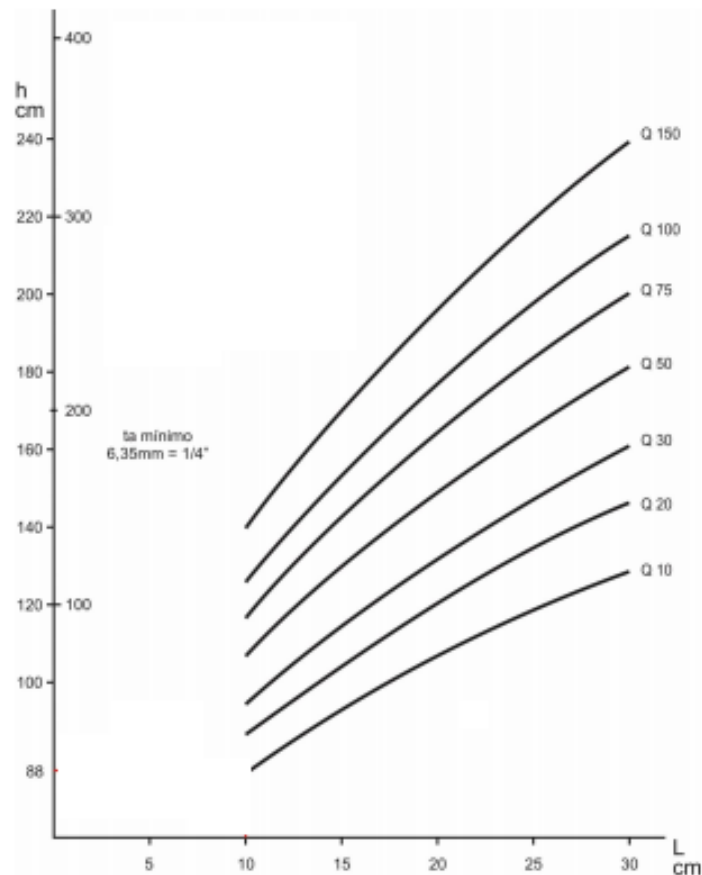
2.2.4 Dimensionamento estrutural

Nesta fase do projeto serão dimensionadas as estruturas do pórtico rolante, levando em consideração as solicitações principais, solicitações devidas ao movimento vertical, solicitações devidas ao movimento horizontal, solicitações devidas aos efeitos climáticos e solicitações diversas. Os elementos dimensionados serão a viga principal, vigas de fechamento, pernas e vigas de ligação.

2.2.5 Viga principal

Considerando um vão de 10 m de largura e uma carga de 15 t, estima-se uma altura de viga $h = 91\text{cm}$. Este valor foi estimado utilizando o ábaco de Brasil (1988), conforme Figura 1 exposta abaixo.

Figura 1 – Altura de viga de ponte rolante



Fonte: BRASIL (1988)

Com a altura da viga estimada, utiliza-se as seguintes fórmulas para definir as espessuras da alma (t_a) e da base (t_f):

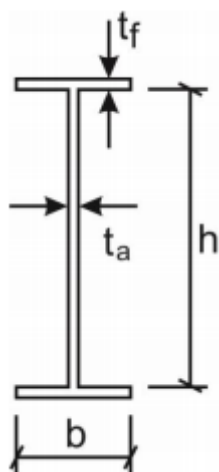
$$b = 0,33 \times h$$

$$t_a = 0,007 \times h$$

$$t_f = 0,011 \times h$$

Para auxiliar nos cálculos, a Figura 2 representa o perfil de uma viga.

Figura 2 – Representação do perfil I viga principal



Fonte: O próprio autor (2021)

Resolvendo as equações mencionadas, define-se as medidas da estrutura, conforme demonstrado abaixo:

$b = 0,33 \times 910 = 300,3 \text{ mm}$. Será adotado 300 mm;

$t_a = 0,007 \times 910 = 6,37 \text{ mm}$. Será adotada chapa de 1/4" (6,35 mm);

$t_f = 0,011 \times 910 = 10,01 \text{ mm}$. Será adotada chapa de 1/2" (12,7mm).

Definidas as dimensões do perfil da viga principal da estrutura, calcula-se os valores dos momentos de inércia (I) e módulos resistentes (W) referentes aos eixos x e y . Considerando o material com massa específica (ρ) de 7850 kg/m^3 , define-se também a massa e o peso por metro da viga. A Tabela 8 expõe os dados da viga principal.

Tabela 8 – Dados da viga principal

Dados da viga principal					
W_x	$4,320 \times 10^{+13}$	mm^3	Área Total	13398,5	mm^2
W_y	$3,813 \times 10^{+12}$	mm^3	Massa	1051,90	kg
I_x	2020699999,9	mm^4	Peso	10319,13	N
I_y	57200000	mm^4	Área da Alma	5939,79	mm^2

Fonte: O próprio autor (2021)



2.2.5.1 Solicitações geradas pelos movimentos verticais

Após dimensionar o perfil principal, deve-se verificar as solicitações de carga que serão impostas na estrutura.

Para definir as solicitações geradas pelos movimentos verticais, utiliza-se a Tabela 9 para que o coeficiente dinâmico (ψ), que será utilizado quando forem realizadas as verificações contra o escoamento, seja determinado.

Tabela 9 – 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: NBR 8400 (1984)

Sabendo que a velocidade de içamento deste projeto é de 0,083 m/s, conforme determinado em 2.2.2, tem-se que o coeficiente dinâmico (ψ) é de 1,15

2.2.5.2 Solicitações devido ao peso próprio (S_G)

Definidas através de uma carga distribuída, as solicitações devido ao peso próprio da estrutura são definidas pela equação:

$$w_1 = A \times \rho \times g$$

Sabendo que:



$$A = 0,0133985 \text{ m}^2$$

$$P = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$G = 9,81 \text{ m/s}$$

Tem-se:

$$w_1 = 0,0133985 \times 7850 \times 9,81 = 1,031 \text{ kN/m}$$

Para calcular a tensão aplicada na estrutura, utiliza-se a equação abaixo descrita:

$$S_G = \frac{|M_{\max}|}{W_X}$$

Utilizando os conceitos de isostática, define-se o valor do momento máximo (M_{\max}) de 12,89 kN.m. Sabendo que o valor do momento resistente da seção (W_X) é de 0.0043205 (m^3) conforme Tabela 8, calcula-se:

$$S_G = \frac{12,89}{0.0043205} = 2,983 \text{ Mpa}$$

2.2.5.3 Solicitações devido à carga de serviço (S_L)

A NBR 8400 (1984) relata que a carga de serviço é a carga útil somada a carga dos acessórios do içamento, e é definida através da equação abaixo:

$$\text{Carga de Serviço} = S_L = (Q + T) \times g$$



Conforme definido no item 2.2.5, a carga útil (Q) equivale a 15 toneladas (15000 kg). Para a carga dos acessórios, será considerado o peso do Trolley (T) de 960 kg. Com esses dados, temos que:

$$\text{Carga de Serviço} = S_L = (15.000 + 960) \times 9,81 = 156,56\text{kN}$$

Com o valor da carga de serviço calculado, é necessário fazer duas análises. Na primeira análise, a aplicação da carga será considerada no centro do vão da viga principal. Com essa consideração feita e lançando mão dos conhecimentos de isostática, chega-se ao resultado de esforço cortante (V) de 78.28 kN e momento fletor máximo de 391.4 kN.m. Aplicando a razão entre o esforço cortante onde ocorre o momento fletor máximo e a área da alma (conforme Tabela 2), encontra-se o valor da tensão cisalhante, dada pela equação:

$$\tau_{SL1} = \frac{V}{A} = \frac{78.28}{(5939,79)} = 13,17 \text{ MPa}$$

Tendo em vista o momento fletor máximo resultante da carga aplicada no centro da viga, calcula-se a tensão através da equação:

$$S_{L1} = \frac{|M_{\max}|}{W_x}$$

Aplicando-se os valores:

$$S_{L1} = \frac{391.4}{0.0043205} = 90,59 \text{ MPa}$$

Ou seja, na primeira consideração, tem-se o valor da solicitação devido a carga de serviço (S_L) de 90,59 Mpa.



Na segunda análise realizada, é utilizada a carga levando em consideração que o trolley não consegue alcançar as extremidades. Com isso a carga será inserida a 0,5 metro da extremidade da viga. Assim sendo, considera-se a aplicação da carga a 9,5 metros de uma das extremidades da viga e a 0,5 m da outra. Aplicando a isostática, determina-se o esforço cortante máximo (V) de 148.732 kN, além do momento fletor máximo de 74.366 kN.m.

Tendo em mãos estes valores, determina-se a tensão cisalhante através da razão entre o esforço cortante onde ocorre o momento fletor máximo e a área da alma (conforme Tabela 8), utilizando a equação:

$$\tau_{SL2} = \frac{V}{A} = \frac{148.732}{(5939,79)} = 25,03 \text{ MPa}$$

Assim, pode-se calcular a sollicitação devido a carga de serviço pela equação:

$$S_{L2} = \frac{|M_{\max}|}{W_x}$$

Aplicando-se os valores:

$$S_{L2} = \frac{74.366}{0.0043205} = 17,28 \text{ MPa}$$

Portanto, na segunda consideração, tem-se o valor da sollicitação devido a carga de serviço (S_L) de 17,28 Mpa.

2.2.5.4 Efeitos horizontais mais desfavoráveis

A NBR 8400:1984 define que deve ser determinada as sollicitações horizontais no pórtico devido ao próprio movimento e, para isso, deverá ser considerada a carga limite. Para realizar esse dimensionamento, deve-se ter em mãos os parâmetros



abaixo: Massa carga útil = 15000 kg; Massa da viga principal = 1051.90kg; Massa dos pilares = 1783 kg; Massa das vigas de ligação = 262,5 kg; Massa trolley = 960 kg.

Com esses dados disponíveis, é possível determinar a massa equivalente (M_{eq}), através da soma de todos esses valores. Portanto, calcula-se:

$$M_{eq} = 15.000 + 1051.90 + 1783 + 262,5 + 960 = 19057,4 \text{ kg}$$

Em seguida, calcula-se a força de inércia média (F_{CM}). Sabendo que a aceleração média (J_m) = 0,12 m/s², aplica-se a equação:

$$F_{CM} = M_{eq} \times J_m = 19057,4 \times 0,12 = 2286,88 \text{ N}$$

Para calcular o período de oscilação (T_1), utiliza-se a equação:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Sabendo que a altura de suspensão da carga no local mais elevado (l) é de 6 metros, calcula-se:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{8}{9,81}} = 5,67\text{s}$$

Levando em consideração que o movimento do sistema é controlado através de um equipamento, já que a estrutura terá controle de aceleração, desaceleração e torque, adota-se o valor de zero para o coeficiente μ .

Para calcular o coeficiente β , lança-se mão da relação entre a duração média de aceleração (T_m) pelo período de oscilação (T_1), conforme apresentado na equação abaixo:



$$\beta = \frac{T_m}{T_1}$$

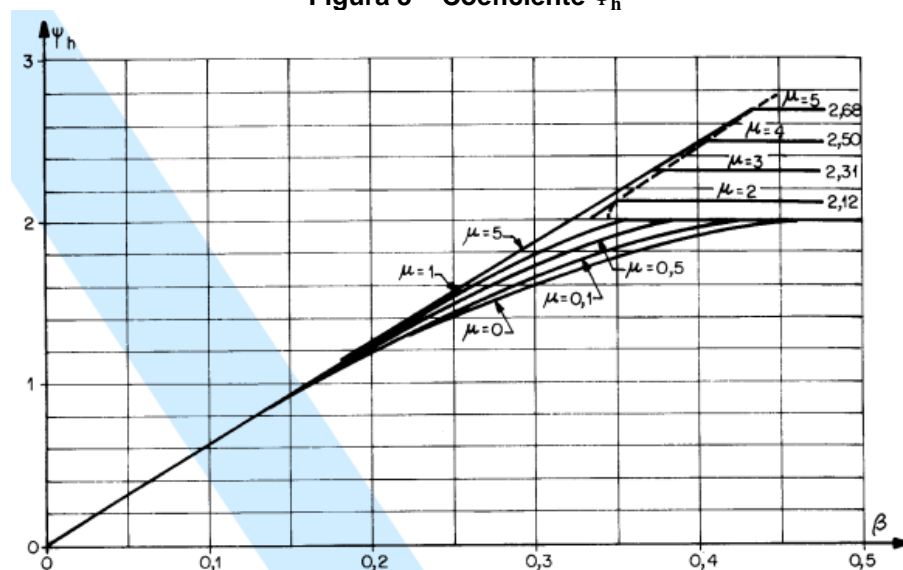
Sabendo que:

$T_m = 1,28$ h; e $T_1 = 5,67$ s, tem-se:

$$\beta = \frac{1,28}{5,67} = 0,22$$

Conhecendo os valores de μ e β , utiliza-se a Figura 3 para determinar o valor do coeficiente ψ_h .

Figura 3 – Coeficiente ψ_h



Fonte: NBR 8400 (1984)

Analisando a Figura 3, encontra-se o valor de $\psi_h = 1,2$.

Para encontrar a força de inércia devido a carga, utiliza-se a equação abaixo:

$$F_{in} = \psi_h \times F_{CM}$$

Incluindo os valores, tem-se:



$$F_{in} = 1,2 \times 2286,88 = 2744,25 \text{ N} = 2,74 \text{ kN}$$

Esta força é aplicada em duas situações distintas, uma no centro do vão e outra a 9,5 metros de uma das extremidades, como foi feito no item 2.2.5.3.

Na primeira análise- lava-se em consideração a aplicação da carga no centro da viga principal, ou seja, a 5 metros de suas extremidades. Utilizando os conceitos de isostática, obtém-se o esforço cortante de 1,37 kN, e o momento fletor máximo de 6,85 kN.m. Nesta situação, será desconsiderado o cálculo da tensão cisalhante, visto que, devido ao valor encontrado para o esforço cortante, conclui-se que a tensão cisalhante resultante será muito pequena.

Encontrado o valor do momento fletor máximo resultante da carga aplicada no centro da viga principal, e utilizando o valor do módulo de resistência (W_y) conforme tabela 8, calcula-se a sollicitação devido a carga de serviço através da equação:

$$S_{H1} = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{W_y} = \frac{6,35}{0.0003813} = 16,6 \text{ MPa}$$

Na segunda análise, leva-se em consideração a aplicação da carga a 9,5 metros de uma das extremidades da viga principal. Aplicando a isostática, tem-se o esforço cortante de 2,6 kN, e o momento fletor máximo de 1,30 kN.m. Nesta situação, o cálculo da tensão cisalhante também será desconsiderado devido ao mesmo motivo da primeira análise.

Com o valor do momento fletor máximo resultante da carga aplicada a 9,5 metros de uma das extremidades da viga principal, já disponível, e lançando mão do módulo de resistência (W_y) conforme Tabela 8, calcula-se a sollicitação devido a carga de serviço, através da equação:

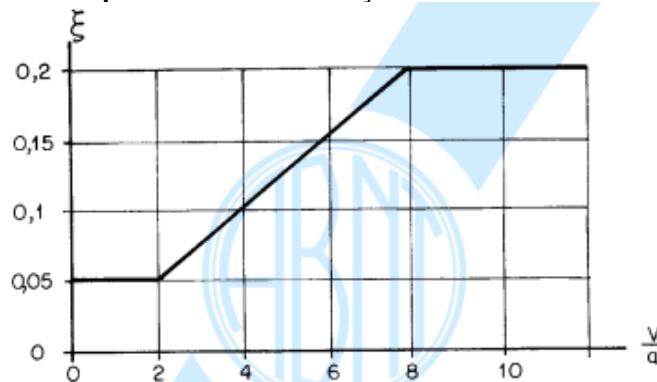
$$S_{H2} = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{W_y} = \frac{1,30}{0.0003813} = 3,409 \text{ MPa}$$

2.2.5.5 Reações horizontais transversais geradas pela translação direta



Para realizar o cálculo dessa solicitação, deve-se, primeiramente, seguir dois passos: O primeiro passo é encontrar o valor do coeficiente ξ , que determina as reações devidas ao rolamento. Para encontrar esse coeficiente, considera-se o sistema de elevação a ser utilizado. Através da Figura 4 abaixo, é possível encontrar este valor.

Figura 4 – Coeficiente que determina as reações transversais devidas ao rolamento



Fonte: NBR 8400 (1984)

Considerando o vão (v) de 290 mm e a distância entre eixos do trolley (a) de 974 mm, encontra-se o valor da relação $\left(\frac{v}{a}\right)$ de 0,297. Assim sendo, conclui-se que o valor do coeficiente (ξ) é de 0,05.

O segundo passo é encontrar a carga de trabalho exercida nas rodas do trolley. Tendo o valor do coeficiente (ξ), sabendo que a carga de içamento (Q) é de 15000 kg e que a massa dos acessórios (T) é de 960 kg, calcula-se a carga (P) a partir da equação:

$$P = (Q + T) \times g \times \xi = (15000 + 960) \times 9,81 \times 0,05 = 7,83 \text{ kN}$$

Essa carga (P) é aplicada na viga, sendo ela dividida igualmente entre duas rodas, com a distância entre elas sendo a mesma distância entre os eixos do trolley.



Para aplicação dessas cargas, será considerado o trolley no centro da viga e a 9,5 metros de distância de uma de suas extremidades.

Na primeira análise, leva-se em consideração que o trolley esteja no centro da viga principal, a 5 metros de suas extremidades. Aplicando a isostática, calcula-se o esforço cortante de 3,91 kN e o momento fletor máximo de 19,57 kN.m.

Com o momento fletor máximo calculado, calcula-se a sollicitação devido as reações horizontais transversais geradas pela translação direta (S_H), através da equação:

$$S_H = \frac{|M_{\text{máx}}|}{W_y} = \frac{19,57}{0.0003813} = 51,32 \text{ MPa}$$

Feito isso, calcula-se a tensão cisalhante através da equação abaixo. Sabendo que o esforço cortante (V) no ponto onde ocorre o momento fletor máximo é 5,48 kN, e que as áreas da base do perfil da viga principal (A_b) é de $7,62 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, tem-se:

$$\tau = \frac{V}{A_b} = \frac{3,91}{7,62 \times 10^{-3}} = 0,51 \text{ MPa}$$

Na segunda análise, considera-se que o trolley esteja em uma das extremidades da viga principal. Fazendo isso e aplicando a isostática, encontra-se o valor de 7,438 kN para o esforço cortante, e de 3,71 kN.m para o momento fletor máximo.

Em seguida, calcula-se a sollicitação devido as reações horizontais transversais geradas pela translação direta (S), utilizando a equação:

$$S = \frac{|M_{\text{máx}}|}{W_y} = \frac{5,21}{0.0003813} = 13,66 \text{ MPa}$$



Lembra-se que o módulo de resistência (W_y) encontra-se disponível na Tabela 8.

Feito isso, calcula-se a tensão cisalhante através da razão entre o esforço cortante no ponto onde ocorre o momento fletor máximo e as áreas da base do perfil da viga principal, lançando mão da equação:

$$\tau = \frac{V}{A_b} = \frac{7,438}{7,62 \times 10^{-3}} = 0,976 \text{ MPa}$$

2.2.5.6 Verificações contra escoamento

De acordo com a NBR 8400 (1984), para verificar as condições contra o escoamento, verifica-se o caso de solicitação pertencente ao pórtico rolante. Feita essa consideração, utiliza-se a Tabela 10 como forma de definir a expressão a ser utilizada para a tensão admissível a tração.

Tabela 10 - Tensões admissíveis à 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: NBR 8400 (1984)

Os casos previstos na Tabela 10, são assim definidos:

caso I - serviço normal e sem vento;

caso II - serviço normal com vento limite de serviço;

caso III - solicitações excepcionais.

Considerando que neste projeto será adotado o caso I, utiliza-se a equação:



$$\sigma_a = \frac{\sigma_e}{1,5}$$

Visto que o aço utilizado neste projeto é o ASTM A-36, cuja tensão de escoamento (σ_e) é de 250 Mpa, calcula-se a tensão admissível ao escoamento:

$$\sigma_a = \frac{250}{1,5} = 166,67 \text{ MPa}$$

Para calcular a tensão admissível, adota-se:

$$\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}} = \frac{166,67}{\sqrt{3}} = 96,22 \text{ MPa}$$

A NBR 8400 (1984) determina que três verificações sejam feitas, caso estas existam. Na primeira verificação, as tensões normais devem ser menores ou iguais a tensão admissível ao escoamento (σ_a). Essa verificação é feita pela equação:

$$\sigma = M_x \times (S_G + \psi S_L + S_H) \leq \sigma_a$$

Substituindo as incógnitas pelos valores já encontrados:

$$\sigma = 1 \times (2,98 + (1,15 \times 90,59) + 51,32) \leq \sigma_a$$

$$\sigma = 158,47 \text{ MPa} \leq \sigma_a = 166,67 \text{ MPa}$$

Ou seja, a primeira verificação está de acordo com a norma.

Na segunda verificação, para o cisalhamento, o esforço cisalhante (τ_{xy}) deve ser menor ou igual à tensão admissível ao cisalhamento (τ_a). Essa verificação é feita através da equação:



$$\tau = M_x \times (\tau_G + \psi\tau_L + \tau_H) \leq \tau_a$$

Substituindo as incógnitas da equação pelos valores já encontrados, tem-se:

$$\tau = 1 \times (0 + 1,15 \times 25,03 + 0) \leq \tau_a$$

$$\tau = 28,78 \text{ MPa} \leq \tau_a = 96,22 \text{ MPa}$$

Ou seja, a segunda verificação também está de acordo com a norma.

Na terceira análise, verifica-se as tensões de comparação. Essas tensões combinadas devem ser menores ou iguais a tensão admissível ao escoamento (σ_a). A verificação é feita a partir da equação:

$$\sigma_{cp} = M_x \times \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leq \sigma_a$$

Fazendo as substituições pertinentes, tem-se:

$$\sigma_{cp} = 1,0 \times \sqrt{90,59^2 + 51,32^2 - 90,59 \times 51,32 + 3 \times 25,03^2} \leq \sigma_a$$

$$\sigma_{cp} = 89,83 \text{ MPa} \leq \sigma_a = 166,67 \text{ MPa}$$

Ou seja, a terceira verificação também está adequada a norma.

Com as três verificações feitas, nota-se que tanto o valor das tensões normais e cisalhantes quanto o valor combinado das tensões atuantes não ultrapassam o valor da tensão admissível para o material. Assim sendo, conclui-se que não haverá escoamento.



2.2.5.7 Verificação da deflexão

Conforme mencionado na NBR 8400:1984, para que seja feita a verificação quanto a deflexão, é necessário que as vigas sejam dimensionadas com uma contra flecha cuja deflexão é oriunda do peso próprio somado a metade do peso do carro trolley e da carga máxima. A norma prevê a aplicação da contra flecha quando o valor calculado entre 1/2000 do vão, ou 5 milímetros (o maior valor). A equação utilizada para a verificação da deflexão é:

$$P1 = S_G + 0,5S_L$$

Com os valores do peso próprio (S_G) e da carga de serviço (S_L) já conhecidos, obtém-se:

$$P1 = 10,31 + 0,5 \times 156,56 = 88,89 \text{ kN}$$

A deflexão gerada pela carga no meio do vão da viga principal é de 8,4 milímetros (valor encontrado através da aplicação da isostática).

2.2.3 Pernas

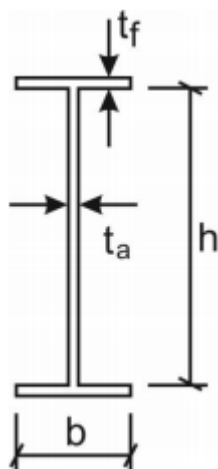
Para dimensionar as pernas do pórtico, deve-se considerar as solicitações oriundas do peso próprio da viga principal somados a carga de serviço no momento mais desfavorável à estrutura, ou seja, será aplicada uma força distribuída de 1,031 kN.m em toda a viga, e uma força concentrada de 156,56 kN a 9,5 metros de distância de uma das extremidades da viga. Aplicando a isostática, tem-se as reações A_y no valor de 12,97kN e B_y no valor de 153,88 kN.

Considerando também o peso próprio dos perfis que compõe as pernas, no valor de 53,15 kg/m, obtém-se uma carga distribuída (PP) de 0,521 kN.m, o que resulta em um estado de compressão das pernas de 90,15 kN.



Definidos os parâmetros do perfil das pernas do pórtico, torna-se viável encontrar a área referente à sua seção. É importante frisar que a escolha seja compatível com o perfil utilizado na viga principal. Para que esta condição seja atendida, será utilizado o perfil abaixo, Figura 5:

Figura 5 – Representação do pilar utilizado nas pernas do pórtico



Fonte: O próprio autor (2021)

Onde:

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

$$t_a = 6,35 \text{ mm}$$

$$t_f = 12,7 \text{ mm}$$

$$h = 484,12 \text{ mm}$$

Com o perfil dimensionado e aplicando a isostática, determina-se os valores dos momentos de inércia e módulos resistentes dos eixos x e y. Considera-se a massa específica do material (ρ) como sendo 7850 kg/m^3 , para que assim seja definida a massa e o peso da viga. As propriedades da viga em questão são apresentadas da Tabela 11 abaixo:

Tabela 11 – Dados da seção do perfil das pernas



Dados da seção do perfil das pernas					
Wx	1,2199 x10 ⁺¹³	mm ³	Área Total	7813,16	mm ²
Wy	1,088 x10 ⁺¹²	mm ³	Massa	445.88	kg
Ix	310700000	mm ⁴	Peso	4374,08	N
Iy	8700000	mm ⁴	Massa Específica	7850	kg/m ³

Fonte: O próprio autor (2021)

Na verificação do escoamento, é necessário que a tensão (σ) encontrada seja menor que a tensão admissível para o aço ASTM A36, cuja tensão admissível ao escoamento (σ_a) é de 166,67 Mpa. A verificação é feita através da equação:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Sabendo que nas pernas do pórtico rolante, a força atuante de compressão (C) é de 90,15 kN, e a área (A), conforme tabela 11, é de $7,813 \times 10^{-3}$, tem-se:

$$\sigma = \frac{90,15}{7,813 \times 10^{-3}} = 11,54 \text{ MPa}$$

Ou seja, a tensão encontrada (σ) é menor que a tensão admissível (σ_a), portanto, não haverá escoamento.

A NBR 8400 (1984) prevê que todos os componentes estruturais que possuem compressão a eles aplicados, devem ser verificados através da equação abaixo, aonde o resultado da tensão total (σ), multiplicada pelo coeficiente de flambagem (ω) encontrado na Tabela 12 abaixo, deve ser menor que a tensão admissível.

Tabela 12 - Valor do coeficiente ω em função da esbeltez λ para laminados em aço de 37 daN/mm²



λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08
30	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13
40	1,14	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20
50	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29
60	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	1,37	1,39	1,40
70	1,41	1,42	1,44	1,45	1,46	1,48	1,49	1,50	1,52	1,53
80	1,55	1,56	1,58	1,59	1,61	1,62	1,64	1,66	1,68	1,69
90	1,71	1,73	1,74	1,76	1,78	1,80	1,82	1,84	1,86	1,88
100	1,90	1,92	1,94	1,96	1,98	2,00	2,02	2,05	2,07	2,09
110	2,11	2,14	2,16	2,18	2,21	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39
120	2,43	2,47	2,51	2,55	2,60	2,64	2,68	2,72	2,77	2,81
130	2,85	2,90	2,94	2,99	3,03	3,08	3,12	3,17	3,22	3,26
140	3,31	3,36	3,41	3,45	3,50	3,55	3,60	3,65	3,70	3,75
150	3,80	3,85	3,90	3,95	4,00	4,06	4,11	4,16	4,22	4,27
160	4,32	4,38	4,43	4,49	4,54	4,60	4,65	4,71	4,77	4,82
170	4,88	4,94	5,00	5,05	5,11	5,17	5,23	5,29	5,35	5,41
180	5,47	5,53	5,59	5,66	5,72	5,78	5,84	5,91	5,97	6,03
190	6,10	6,16	6,23	6,29	6,36	6,42	6,49	6,55	6,62	6,69
200	6,75	6,82	6,89	6,96	7,03	7,10	7,17	7,24	7,31	7,38
210	7,45	7,52	7,59	7,66	7,73	7,81	7,88	7,95	8,03	8,10
220	8,17	8,25	8,32	8,40	8,47	8,55	8,63	8,70	8,78	8,86
230	8,93	9,01	9,09	9,17	9,25	9,33	9,41	9,49	9,57	9,65
240	9,73	9,81	9,89	9,97	10,05	10,14	10,22	10,30	10,39	10,47
250	10,55									

Fonte: NBR 8400 (1984)

Para que essa verificação seja feita, aplica-se a isostática para calcular o raio de giração nos sentidos x e y utilizando a equação abaixo:

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad \text{e} \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

Conforme Tabela 11, o momento de inércia em x e y valem, respectivamente, 310700000 mm⁴ e 8700000 mm⁴, e a área (A) para ambos tem o valor de 7813,16 mm². Assim sendo, tem-se:

$$r_x = \sqrt{\frac{310700000}{7813,16}} = 199,4 \text{ mm} \quad \text{e} \quad r_y = \sqrt{\frac{8700000}{7813,16}} = 33,36 \text{ mm}$$

Encontrado o raio de giração, calcula-se o coeficiente de esbeltez (λ). A NBR 8400 (1984) permite que, na dúvida em determinar a influência dos engastes existentes nas extremidades da barra, admite-se que sua influência é desconsiderada e acata-se a barra como sendo articulada em suas duas extremidades. Nessa



situação, o comprimento de flambagem é o comprimento real ($k=1$). Visto o comprimento (L) da perna do pórtico de 8,44 metros, calcula-se o coeficiente de esbeltez nos sentidos x e y , utilizando a equação:

$$\lambda_x = \frac{kL}{r_x} = \frac{1 \times 8,44}{0,1994} = 42,32 \quad \text{e} \quad \lambda_y = \frac{kL}{r_y} = \frac{1 \times 8,44}{0,03336} = 252,99$$

Encontrado os valores do coeficiente de esbeltez (λ), utiliza-se a Tabela 12 para identificar o valor utilizado para o coeficiente de flambagem (ω). Nesta situação, tem-se para ω_x o valor de 1,15 e para ω_y o valor de 10,55. Estes valores serão multiplicados pela tensão (σ) de 11,54 MPa, e deverão ser verificados de acordo com a equação abaixo:

$$\sigma\omega \leq \sigma_a$$

Com isso, tem-se:

$$\sigma\omega_x \leq \sigma_a$$

$$\sigma\omega_y \leq \sigma_a$$

$$11,54 \times 1,15 \leq 166,67$$

e

$$11,54 \times 10,55 \leq 166,67$$

$$13,27 \text{ MPa} \leq 166,67 \text{ MPa}$$

e

$$121,7 \text{ MPa} \leq 166,67 \text{ MPa}$$

Visto que ambas são menores que a tensão admissível de escoamento (σ_a), conclui-se que não ocorrerá flambagem global em nenhum dos sentidos analisados.

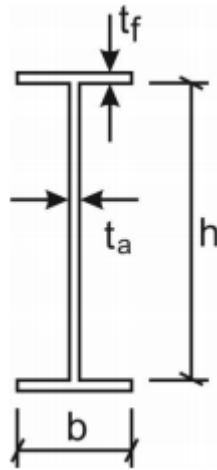
2.2.4 Vigas de ligação



As vigas de ligação são estruturas cuja função é ligar os pilares. Neste caso, para o dimensionamento dessas vigas, serão adotadas as mesmas situações que foram utilizadas para o cálculo da viga principal.

Para as vigas de ligação, será adotado o perfil comercial da GERDAU, W310X32,7, conforme ilustrado na Figura 6 abaixo:

Figura 6 - Seção do pilar utilizado nas vigas de ligação



Fonte: O próprio autor (2021)

Onde:

$$b = 102,0 \text{ mm}$$

$$t_a = 6,6 \text{ mm}$$

$$t_f = 10,8 \text{ mm}$$

$$h = 290,4 \text{ mm}$$

Os parâmetros do perfil são apresentados na Tabela 13:



Tabela 13 - Dados da seção do perfil das vigas de ligação

Dados da seção do perfil da viga de ligação					
W _x	416000	mm ³	Área Total	4180	mm ²
W _y	37900	mm ³	Massa	131,25	kg
I _x	64900000	mm ⁴	Peso	1287,6	N
I _y	1940000	mm ⁴	Área Alma	2059,2	mm ²

Fonte: GERDAU, adaptado pelo próprio autor (2021)

O perfil adotado é fabricado em aço ASTM A572 GR50, e possui o limite de escoamento (σ_e) de 345 MPa. Utilizando a tabela 10, tem-se a tensão admissível (σ_a) calculada pela equação:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_e}{1,5} = \frac{345}{1,5} = 230 \text{ MPa}$$

Para calcular a tensão admissível ao cisalhamento (τ_a) deste perfil, utiliza-se a equação:

$$\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}} = \frac{230}{\sqrt{3}} = 132,79 \text{ MPa}$$

2.2.4.1 Solicitações atuantes na estrutura

Serão calculadas as solicitações atuantes da estrutura levando em consideração o peso próprio da viga de ligação, bem como a solicitação devido ao peso atuante acima das vigas inferiores.

2.2.4.1.1 Solicitações atuantes devido ao peso próprio



Sabendo-se que as solicitações devido ao peso próprio são oriundas de uma carga distribuída, utiliza-se a equação abaixo para dimensionar essa carga.

$$w_1 = A \times \rho \times g$$

Visto que a massa específica (ρ) é de 7850 kg/m^3 e a área (A) de $0,00418 \text{ m}^2$ (conforme tabela 13), aplica-se os valores na equação:

$$w_1 = 0,00418 \times 7850 \times 9,81 = 0,322 \text{ kN/m}$$

Com a carga distribuída dimensionada, aplica-se a isostática para calcular o momento fletor e esforço cortante. Nesta situação, o momento fletor máximo ($M_{\text{máx}}$) tem o valor de $0,6430 \text{ kN.m}$, e o esforço cortante máximo ($V_{\text{máx}}$) de $0,6440 \text{ kN}$. Sabendo que o módulo resistente (W_x) encontrado na Tabela 13 vale $4,16 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, calcula-se a tensão devido ao peso próprio (S_G).

$$S_G = \frac{|M_{\text{max}}|}{W_x} = \frac{0,6430}{4,16 \times 10^{-3}} = 1,54 \text{ MPa}$$

2.2.4.1.1.2 Solicitações atuantes devido ao peso acima da viga de ligação

Sabe-se que, apesar de as cargas atuantes acima da viga de ligação não gerarem momento fletor, elas resultam uma tensão cisalhante, que deve ser calculada considerando-se o peso das estruturas que estão situadas acima da viga, como a viga principal, as pernas e carga de serviço, que somadas, resultam em um esforço aplicado de $171,24 \text{ kN}$.

$$\begin{aligned} \sum \text{Peso Viga Principal} + \text{Peso Pernas} + \text{Peso Carga de Serviço} &= 10,31 + 4,37 + 156,56 \\ &= 171,24 \text{ kN} \end{aligned}$$



Com esse valor encontrado, e sabendo que a área da alma do perfil (A_a) é de $2,06 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, calcula-se a tensão cisalhante utilizando a equação:

$$\tau_{SL} = \frac{V}{A} = \frac{171,24}{2,06 \times 10^{-3}} = 83,12 \text{ MPa}$$

2.2.4.2 Verificação contra o escoamento

Nesta verificação, deve-se observar se as tensões calculadas para o dimensionamento são menores que as tensões admissíveis do perfil. Para isso, serão consideradas as três equações de verificação abaixo:

$$\sigma = M_x \times (S_G + \psi S_L + S_H) \leq \sigma_a ;$$

substituindo valores, tem-se que: $\sigma = 1,54 \text{ MPa} \leq \sigma_a = 230 \text{ Mpa}$.

$$\tau = M_x \times (\tau_G + \psi \tau_L + \tau_H) \leq \tau_a ;$$

substituindo valores, tem-se que: $\tau = 83,12 \text{ MPa} \leq \tau_a = 132,79 \text{ Mpa}$.

$$\sigma_{cp} = M_x \times \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leq \sigma_a ;$$

substituindo valores, tem-se que: $\sigma_{cp} = 143,97 \text{ MPa} \leq \sigma_a = 230 \text{ Mpa}$.

Feitas as verificações, conclui-se que todas estão de acordo com o previsto pela NBR 8400 (1984).

2.2.4.3 Vigas de fechamento



Devido ao fato de os perfis dimensionados para as pernas possuírem altura (h) maior que 500 mm, a ligação com a viga principal será direta, formando assim o apoio que seria realizado pela viga de fechamento. Ou seja, para esta situação, não serão necessárias vigas de fechamento.

2.2.4.5 Verificações finais

Como consideração final, é necessário verificar a estrutura quanto ao tombamento, como forma de garantir sua segurança.

2.2.4.5.1 Verificação contra o tombamento.

Neste caso, não existem cargas suspensas em balanço no pórtico rolante, ou seja, não há risco de tombamento do equipamento em questão. Sendo assim, considera-se o Pórtico Rolante devidamente dimensionado.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o objetivo do dimensionamento estrutural proposto para este projeto, foi atendido, visto que após as verificações estruturais realizadas, evidenciou-se que o equipamento dimensionado suporta todas as solicitações a ele aplicadas, estando em total conformidade com a NBR 8400 de 1984. Foram verificadas falhas referentes ao escoamento, necessidade de aplicação de contra flecha, flambagem localizada e global, e foi constatado que com os parâmetros de projeto adotados, nenhuma destas falhas ocorrerá no equipamento.

REFERÊNCIAS



ALMEIDA, R. F. S. **Desenvolvimento de uma ferramenta paramétrica em linguagem APDL para o cálculo da estrutura de um pórtico rolante.** 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

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

BARDELLA et al. **Pórticos: Sistemas de movimentação e transporte.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium. Araçatuba – SP. 2019.

BRASIL, Haroldo Vinagre. **Máquinas de levantamento.** Editora Guanabara S.A. Rio de Janeiro, RJ, 1988.

COSTA, G. T. P.; da SILVA, F. S. **Dimensionamento de Pórtico Rolante Dupla Viga 100t.** Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro. 2013.

SOBUE, Gustavo. **Modelagem paramétrica de pórticos rolantes: Estabilidade Estrutural e Otimização.** Dissertação (Mestrado integrado em Engenharia Mecânica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo, 2005.

SORDI, Giovani. **Dimensionamento da viga principal de uma ponte rolante.** Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica. Centro Universitário Univates. Lajeado, 2016.



TAMASAUSKAS, Artur. **Metodologia do projeto básico de equipamento de manuseio e transporte de cargas** - Ponte Rolante – Aplicação não-siderúrgica. São Paulo, 2000.