

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

WHESELY DARLAN SIMON SCHNEIDER

ANÁLISE COMPARATIVA DA VIGA PERFIL W E VIGA CAIXÃO PARA APLICAÇÃO
EM UMA PONTE ROLANTE

Xanxerê

2025

WHESLEY DARLAN SIMON SCHNEIDER

ANÁLISE COMPARATIVA DA VIGA PERFIL W E VIGA CAIXÃO PARA APLICAÇÃO
EM UMA PONTE ROLANTE

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica) do Campus Xanxerê) do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de bacharel em Engenharia Mecânica

Orientadora: Prof. Vanessa Milhomem Schmitt

Coorientadora: Eng. Mec. Camile Forchesatto

Xanxerê

2025

S359a Schneider, Whesley Darlan Simon.
Análise comparativa da viga perfil W e viga caixão para aplicação em uma ponte rolante / Whesley Darlan Simon Schneider. — Xanxerê, 2025.
41 p. : il., color.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina — Câmpus Xanxerê. Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientação: Vanessa Milhomem Schmitt.

Coorientação: Camile Forchesatto.

Inclui referência.

1. Ponte rolante. 2. Perfil W. 3. Viga caixão. I. Schmitt, Vanessa Milhomem. II. Forchesatto, Camile. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. IV. Título.

WHESLEY DARLAN SIMON SCHNEIDER

ANÁLISE COMPARATIVA DA VIGA PERFIL W E VIGA CAIXÃO PARA APLICAÇÃO
EM UMA PONTE ROLANTE

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

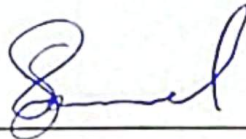
Xanxerê, 4 de dezembro de 2025.



Profª. Vanessa Milhomem Schmitt, Mª.

Orientadora

Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC Xanxerê



Prof. Samuel Scheleski, Me..

Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC Xanxerê



Camile Forchesatto

Coorientadora

Engenheira Mecânica

AGRADECIMENTOS

Expresso, em primeiro lugar, minha gratidão a Deus, por conceder-me força, discernimento e perseverança durante toda a trajetória acadêmica, e por permitir que eu compartilhasse essa caminhada com pessoas que eu amo.

Aos meus pais, Elenice Terezinha Simon e Waldir José Schneider, agradeço pela formação que me proporcionaram, pelo apoio constante e pela confiança depositada em meu potencial.

À minha namorada, Natália Dossa, pelo constante apoio, incentivo e companheirismo ao longo desta jornada. Sua presença foi essencial, especialmente nos momentos de maior dificuldade, motivando-me a seguir em frente e a buscar sempre o melhor.

Agradeço à minha família pelo apoio, compreensão e incentivo constantes ao longo desta caminhada. De forma especial, ao meu irmão, Augusto Renan Simon Rupollo.

Agradeço também a empresa ICOM Hidromecânica, pela oportunidade de ingressar no ambiente profissional da engenharia, em especial ao Engenheiro Tiago Squersato, pelo aprendizado e suporte concedidos.

À minha orientadora, Ma. Vanessa Milhomem Schmitt, pela competente orientação e pelo valioso compartilhamento de conhecimentos ao longo do curso. Sua dedicação e disponibilidade foram essenciais para a realização deste trabalho, contribuindo não apenas com aspectos técnicos, mas também oferecendo apoio e incentivo nos momentos de maior desafio.

À minha coorientadora, Eng. Camile Forchesatto, por auxiliar e compartilhar todo seu conhecimento, apoio e experiência na área para que esse trabalho fosse realizado da melhor forma possível, seu apoio foi fundamental.

Aos colegas e amigos de curso, pela parceria, pelo apoio mútuo e pela troca de experiências, que tornaram essa jornada mais enriquecedora, significativa e leve.

RESUMO

Este trabalho apresenta o dimensionamento de forma analítica de dois modelos de vigas principais para aplicação em uma ponte rolante do tipo monoviga, apresentando uma análise comparativa entre uma viga comercial e uma viga fabricada do tipo caixão. Foram definidos os esforços e as solicitações atuantes na viga para o dimensionamento correto da mesma, baseando-se nas normas regulamentadoras para estruturas de movimentação e içamento de cargas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A pesquisa teve como objetivo principal realizar o dimensionamento e comparação entre as duas geometrias com foco em aspectos como momento de inércia e peso próprio. Os resultados indicam que o perfil W atende às tensões e à rigidez com massa linear de 52 kg/m, enquanto a viga caixão foi de 54,18 kg/m, também conforme aos requisitos adotados. Considerando desempenho estrutural, praticidade, disponibilidade comercial e menor complexidade fabril, o perfil W mostrou-se mais eficiente para o cenário estudado.

Palavras-chave: Ponte rolante; Perfil W; Viga caixão

ABSTRACT

This study presents the analytical design of two main-beam configurations for application in a single-girder overhead crane, providing a comparative analysis between a commercially available W-profile beam and a fabricated box-type beam. The loads and internal actions acting on the beam were identified for proper sizing, based on the regulatory standards for lifting and material-handling structures issued by the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT). The primary objective was to size and compare the two geometries with emphasis on properties such as the moment of inertia and self-weight. Results indicate that the W-profile meets strength and stiffness requirements with a linear mass of 52 kg/m, while the fabricated box beam presents a linear mass of 54.18 kg/m, also complying with the adopted criteria. Considering structural performance, practicality, commercial availability, and lower fabrication complexity, the W-profile proved more efficient for the studied scenario.

Keywords: Overhead crane; W-profile; Box beam

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ponte rolante apoiada.	16
Figura 2 - Ponte Rolante Suspensa	16
Figura 3 - Ponte Rolante de Parede	17
Figura 4 - Ponte Rolante Biviga	18
Figura 5 - Viga caixão e viga perfil “w”	19
Figura 6 - Cabeceira	20
Figura 7 - Conjunto Talha	21
Figura 8 - Representação da talha na viga	27
Figura 9 - Especificações da talha	28
Figura 10 - Representação reações	29
Figura 11 - Conjunto Talha	30
Figura 12 - Diagrama de corpo livre, talha posicionada no centro da viga	32
Figura 13 - Diagrama de esforços cisalhantes, talha no centro da viga	32
Figura 14 - Diagrama de momento fletor, talha no centro da viga	32
Figura 15 - Diagrama de corpo livre com talha posicionada na extremidade da viga	33
Figura 16 - Diagrama de esforços cisalhantes, talha na extremidade da viga	33
Figura 17 - Diagrama de momento fletor, talha na extremidade da viga	33
Figura 18 - Bitola do perfil selecionado	34
Figura 19 - Viga caixão	35

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Coeficiente dinâmico	25
Equação 2 - Tensão admissível à tração	25
Equação 3 - Tensão admissível ao cisalhamento	25
Equação 4 - Tensão normal	26
Equação 5 - Tensão de cisalhamento	26
Equação 6 - Tensão combinada	26
Equação 7 - Tensão na aba da viga	27
Equação 8 - Deflexão máxima	27
Equação 9 - Carga total	29
Equação 10 - Reações na viga	29
Equação 11 - Momento de inércia da seção retangular	36
Equação 12 - Momento de inércia total das mesas	36
Equação 13 - Momento de inércia das almas	36
Equação 14 - Altura livre da alma	36
Equação 15 - Momento de inércia de uma alma	36
Equação 16 - Momento de inércia total	36
Equação 17 - Módulo de resistência	37
Equação 18 - Área da seção transversal	37
Equação 19 - Massa da viga	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	12
1.1.1 Objetivo geral	12
1.1.2 Objetivos específicos	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Pontes rolantes e sua importância na indústria	13
2.2 Ponte Rolante	14
2.2.1 Ponte Rolante Apoiada	14
2.2.2 Ponte Rolante Suspensa	15
2.2.3 Ponte Rolante de Parede	16
2.2.4 Ponte Rolante Monoviga	16
2.2.5 Ponte Rolante Biviga	16
2.3 Principais componentes de uma ponte rolante	17
2.3.1 Viga Principal	17
2.3.2 Cabeceiras	18
2.3.3 Trilho ou Caminho de Rolamento	19
2.3.4 Conjunto Talha	19
2.4 Normas técnicas relacionadas ao projeto	20
2.5 Classificação conforme ABNT NBR 8400:2019	20
2.5.1 Classe de utilização	21
2.5.2 Espectro de carga	21
2.5.3 Classificação dos equipamentos de elevação em grupos	22
2.6 Valor de deslocamento máximo conforme ABNT NBR 8800:2025	22
3 METODOLOGIA	23
3.1 Definição das características gerais da ponte rolante	23
3.2 Carregamentos considerados no cálculo	24
3.2.1 Classificação e definição de tensões admissíveis	24
3.2.2 Equações de tensão e deformação	25
3.2.2.1 Tensão devido à tração	25
3.2.2.1 Tensão devido ao cisalhamento	25
3.2.2.1 Tensões combinadas	25
3.2.3 Resistência da aba inferior	25
3.2.4 Deflexão máxima	26
3.3 Definição e comparação entre a viga W e a viga tipo caixão	27
3.3.1 Definição do momento de inércia	27
4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS	31
4.1 Determinação dos carregamentos e seus valores admissíveis	31
4.2 Comparação entre a viga w e a viga caixão	31
4.2.1 Cálculo do momento de inércia e reações	31
4.2.2 Definição do perfil I	33
4.2.3 Definição do perfil caixão	35
5 CONCLUSÃO	39

1 INTRODUÇÃO

A indústria, fortemente influenciada pela otimização de tempo, utiliza de pontes rolantes, a fim de potencializar a sua produção. A Engenharia, definida como um campo de conhecimento interdisciplinar, atua no projeto de desenvolvimento de estruturas que tornem possíveis tais sistemas; associando processos na execução das diferentes etapas de produção na indústria.

De acordo com Neto (2018), o Brasil dispõe de um parque industrial expressivo, composto por empresas com uma infraestrutura capaz de atender a uma ampla variedade de demandas em diversos segmentos produtivos, sendo assim, a organização sistemática dos processos e a gestão eficiente dos sistemas de transporte interno são fatores determinantes para o sucesso operacional.

Neste contexto, as pontes rolantes se destacam como equipamentos determinantes para o sucesso operacional, refletindo diretamente no aumento da produtividade. Segundo Soares (2011), a ponte rolante tem a vantagem de conseguir uma ampla cobertura, grande capacidade de carga e elevados números de ciclos. Trata-se de uma estrutura, normalmente instalada dentro de edificações e acima do plano de produção, sendo utilizada para movimentar cargas na direção longitudinal, transversal e vertical.

Entre os diversos tipos de pontes rolantes utilizadas no setor industrial, a ponte rolante monoviga apresenta-se como uma alternativa amplamente empregada em instalações de pequeno e médio porte. Composta por uma única viga principal que sustenta o carro transportador, sua aplicação exige uma escolha criteriosa do tipo de viga a ser utilizada, tendo em vista fatores como o vão a ser vencido, a capacidade de carga, o custo e a complexidade de fabricação.

Neste cenário, segundo Sordi (2016) destacam-se dois tipos estruturais frequentemente adotados: o perfil comercial W e a viga tipo caixão. O perfil W, com sua seção transversal em forma da letra "I", representa uma solução tradicional, visto que é um perfil facilmente encontrado no mercado. Já a viga tipo caixão, com geometria fechada e elevada rigidez, oferece melhor desempenho estrutural, não sendo encontrada em mercado, sendo assim tem a necessidade de ser produzida em fábrica.

De acordo com a tipologia de Silva e Menezes (2001), esta pesquisa é de natureza aplicada, visando à aplicação prática de conhecimentos para solucionar

problemas específicos, com uma abordagem quantitativa e descritiva, analisada de forma indutiva, caracterizando-se como quali-quantitativa. Quanto aos objetivos, é classificada como descritiva, por buscar identificar e analisar relações entre variáveis. Nos procedimentos técnicos, trata-se de uma pesquisa experimental, com manipulação de variáveis, e também bibliográfica, fundamentada na revisão de materiais já publicados.

Partindo-se destes conceitos, será realizada uma análise concentrada apenas na parte estrutural da ponte rolante. Para os cálculos das tensões atuantes na viga, serão utilizadas as equações abordadas em tópicos de resistência dos materiais, dessa forma espera-se responder à seguinte questão: Qual modelo de viga, entre o perfil W comercial e a viga caixão fabricada, apresenta maior eficiência em relação ao peso de matéria prima para aplicação em pontes rolantes?

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Dimensionar a viga principal de uma ponte rolante do tipo monoviga e comparar o desempenho entre uma viga comercial e uma viga fabricada do tipo caixão.

1.1.2 Objetivos específicos

Para atender o objetivo geral proposto neste trabalho, os seguintes objetivos específicos serão requeridos:

- Aplicar as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira (NBR) 8400:2019 e ABNT NBR 8800:2008, normas regulamentadoras para estruturas de movimentação e içamento de cargas;
- Definir os esforços e solicitações na viga para o dimensionamento correto da estrutura;
- Aplicar critérios técnicos para comparar as duas soluções estruturais, com foco em aspectos como, momento de inércia e peso próprio.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este referencial teórico reúne os principais conceitos para projeto de pontes rolantes, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 8400-1:2019 e ABNT NBR 8800:2008. Aborda desde os fundamentos de resistência dos materiais e comportamento de vigas em flexão – incluindo propriedades como momento de inércia até as características construtivas dos dois modelos analisados.

A revisão de literatura inclui, ainda, a classificação de equipamentos de içamento, critérios de cálculo estrutural e referências técnicas de fabricantes. Essa base teórica permite uma análise comparativa entre os modelos, avaliando vantagens e limitações conforme as exigências operacionais de cada aplicação.

2.1 Pontes rolantes e sua importância na indústria

Segundo Tamasauskas (2000), quando se busca uma otimização de produção e conseqüentemente uma redução de custos em um processo produtivo, um dos fatores importantes é o encurtamento das distâncias percorridas e a redução do tempo de deslocamento tanto da matéria prima quanto do produto final processado, podendo ser realizado através de um sistema eficiente de movimentação de cargas.

Um exemplo que corrobora esse fato é mencionado por Langui (2001), a utilização destes sistemas de movimentação em fábricas de automóveis, permitem uma rápida transferência dos produtos entre as etapas do processo produtivo, sendo assim, reduz o tempo entre o pagamento dos insumos e o recebimento de receitas, dessa forma acelerando o retorno financeiro.

Langui (2001) ainda destaca que a implementação de bons equipamentos para a movimentação de cargas nas indústrias contribui diretamente no aumento da capacidade produtiva, e de armazenamento, melhora as condições de trabalho, trazendo maior segurança durante o processo produtivo e também maior conforto aos que trabalham no setor de movimentação de cargas.

2.2 Ponte Rolante

Segundo Pereira (2022), as pontes rolantes podem ser projetadas em diversas formas e configurações, sendo projetadas de forma que atendam a demanda interna de movimentação. Dada essa versatilidade e seus diferentes tipos de aplicação, o uso desses equipamentos tem se difundido na indústria.

As pontes são sistemas de movimentação de cargas que se destacam na indústria por sua versatilidade e grande capacidade de movimentação, sendo instaladas acima do plano de operação das empresas. Segundo Sampaio (2022) São estruturas horizontais suspensas, que transladam sobre dois ou mais trilhos, geralmente fabricadas em estruturas metálicas e que possuem sistemas que possibilitam a elevação e a movimentação das cargas.

Devido a variedade de cenários e finalidades em que esse equipamentos podem ser utilizados, existe uma ampla gama de configurações que podem ser adotadas de acordo com as necessidades especificadas. Dessa forma Sampaio (2022) destaca três principais grupos, sendo eles

- Ponte rolante apoiada;
- Ponte rolante suspensa;
- Ponte rolante de parede;

Esses equipamentos ainda podem ser subdivididos em ponte rolante monoviga e ponte rolante biviga.

2.2.1 Ponte Rolante Apoiada

É um modelo de ponte rolante que possui a sua viga principal apoiada sobre trilhos, chamados de caminho de rolamento, estes são sustentados pelas colunas ou vigas da estrutura onde está instalada.

A Figura 1 apresenta um exemplo de uma ponte rolante apoiada sobre o caminho de rolamento.

Figura 1 - Ponte rolante apoiada.



Fonte: www.demagcranes.com

2.2.2 Ponte Rolante Suspensa

Para este tipo de configuração utilizada, a viga principal se desloca por baixo do caminho de rolamento, de forma suspensa, sendo apoiada na aba inferior da viga de rolamento. Para Sordi (2016) esta configuração é geralmente utilizada quando a altura do edifício é reduzida. Com o caminho de rolamento sendo fixado no teto da estrutura, esse modelo permite um melhor aproveitamento do espaço.

A Figura 2 mostra uma ponte rolante suspensa, sendo possível a visualização da proximidade do teto da estrutura.

Figura 2 - Ponte Rolante Suspensa



Fonte: www.demagcranes.com

2.2.3 Ponte Rolante de Parede

Esta Configuração de ponte rolante diferencia-se por se manter apoiada em somente uma de suas extremidades. Sampaio (2022) destaca que este modelo de ponte rolante se limita a capacidades de até 5 toneladas e uma extensão de no máximo 10 metros, com a possibilidade de ser instalada abaixo de uma ponte rolante de maior porte.

A Figura 3 apresenta uma ponte rolante de parede instalada abaixo do caminho de rolamento de uma ponte rolante de maior porte.

Figura 3 - Ponte Rolante de Parede



Fonte: www.demagcranes.com

2.2.4 Ponte Rolante Monoviga

Segundo Sordi (2016) A ponte rolante monoviga é composta por duas cabeceiras e apenas uma viga principal, o movimento do carro da talha ocorre em sua parte inferior de forma suspensa.

A Figura 1 e a Figura 2 mostram um exemplo de uma ponte rolante monoviga.

2.2.5 Ponte Rolante Biviga

Sampaio (2022) destaca que as pontes rolantes biviga são geralmente

utilizadas para altas cargas de elevação. Dessa forma tem-se a necessidade de projetá-las utilizando uma configuração com duas vigas paralelas, servindo como caminho de rolamento para o carro da talha, que se movimenta na parte superior da estrutura.

A Figura 4 mostra um exemplo de ponte rolante biviga.

Figura 4 - Ponte Rolante Biviga



Fonte: www.omis.net

2.3 Principais componentes de uma ponte rolante

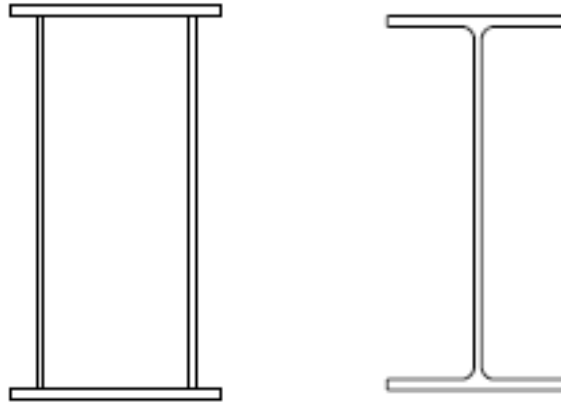
O equipamento ponte rolante como qualquer outro é composto por vários componentes com diferentes funções, onde os principais componentes são: viga principal, cabeceira, trilho, e o conjunto talha.

2.3.1 Viga Principal

É considerado o principal componente da ponte rolante. Segundo Schardong (2018), a viga principal é o componente estrutural onde se encontra a maior solicitação de carga, pois deverá suportar diretamente as cargas a serem elevadas, servindo de caminho para o conjunto da talha. A viga utilizada para esta finalidade pode ser tanto o perfil “W” ou uma viga caixão.

A Figura 5 mostra um exemplo dos tipos de vigas.

Figura 5 - Viga caixão e viga perfil “w”



Fonte: Adaptado pelo Autor

A Figura 5 representa os principais modelos de vigas utilizados no projeto de pontes rolantes, a esquerda viga do tipo caixão, e a direita viga perfil “W”.

2.3.2 Cabeceiras

Segundo Schardong (2018), as cabeceiras são localizadas nas extremidades das vigas principais, é nelas que se localizam-se os sistemas responsáveis pela movimentação transversal da ponte rolante, onde se encontram as rodas, eixos e motores. A figura 6 demonstra um exemplo da cabeceira de uma ponte rolante.

Figura 6 - Cabeceira



Fonte: www.lojatcs.com.br

Na figura 6 é possível identificar a localização da cabeceira na ponte rolante e também todos os seus componentes de movimentação.

2.3.3 Trilho ou Caminho de Rolamento

Segundo Schardong (2018), o trilho serve como estrutura de apoio para o deslocamento da ponte rolante. As cabeceiras mantêm contato direto com essa via. Esse sistema pode ser construído de diferentes maneiras, utilizando vigas metálicas ou concreto. No caso das pontes rolantes do tipo apoiado, o trilho é instalado sobre os pilares do edifício. Na Figura 6 é possível visualizar as cabeceiras apoiadas sobre este componente.

2.3.4 Conjunto Talha

Segundo Sordi (2016) este componente se movimenta através da viga principal, permitindo o movimento transversal deste componente, ainda neste conjunto está localizado o sistema de elevação das cargas que é responsável pelo movimento vertical das cargas.

A figura 7 demonstra um exemplo deste conjunto.

Figura 7 - Conjunto Talha



Fonte: www.lojatcs.com.br

Na Figura 7 é possível observar o conjunto da talha suspenso na aba inferior da viga, onde ele realiza a movimentação transversal.

2.4 Normas técnicas relacionadas ao projeto

A norma utilizada no Brasil para cálculo e dimensionamento de equipamentos de elevação e movimentação de cargas é a ABNT NBR 8400:2019. Organizada em cinco partes específicas, a NBR 8400:2019 aborda os seguintes aspectos:

- Parte 1: Classificação e cargas sobre estruturas e mecanismos;
- Parte 2: Verificação das estruturas ao escoamento, fadiga e estabilidade;
- Parte 3: Verificação à fadiga e seleção de componentes dos mecanismos;
- Parte 4: Equipamento elétrico;
- Parte 5: Cargas para ensaio e tolerâncias de fabricação.

A norma ABNT NBR 8400:2019 não apresenta limites para deslocamento máximo da estrutura, portanto será utilizada a norma ABNT NBR 8800:2008 para esse fim.

2.5 Classificação conforme ABNT NBR 8400:2019

Na Parte 1, é apresentado o método para classificação do equipamento e definição das cargas atuantes na estrutura.

2.5.1 Classe de utilização

A Tabela 1 apresenta a classificação quanto à frequência de utilização do equipamento, conforme a quantidade de ciclos de elevação:

Tabela 1 – Classes de utilização

Símbolo	Duração total do uso (número $\eta_{máx.}$ de ciclos de elevação)				
	U0			$\eta_{máx.}$	<
U1	16.000	<	$\eta_{máx.}$	<	32.000
U2	32.000	<	$\eta_{máx.}$	<	63.000
U3	63.000	<	$\eta_{máx.}$	<	125.000
U4	125.000	<	$\eta_{máx.}$	<	250.000
U5	250.000	<	$\eta_{máx.}$	<	500.000
U6	500.000	<	$\eta_{máx.}$	<	1.000.000
U7	1.000.000	<	$\eta_{máx.}$	<	2.000.000
U8	2.000.000	<	$\eta_{máx.}$	<	4.000.000
U9	4.000.000	<	$\eta_{máx.}$		

Fonte: ABNT NBR 8400-1:2019.

2.5.2 Espectro de carga

O espectro de carga é definido na norma como uma forma de representar a maneira como o equipamento será utilizado ao longo de sua vida útil, levando em consideração a proporção de cargas leves, médias e pesadas que serão transportadas. A Tabela 2 apresenta a classificação conforme o fator de espectro.

Tabela 2 – Classes de espectro

Símbolo	Fator de espectro k_p				
	Q1			k_p	<
Q2	0,125	<	k_p	<	0,250
Q3	0,250	<	k_p	<	0,500
Q4	0,500	<	k_p	<	1,000

Fonte: ABNT NBR 8400-1:2019.

2.5.3 Classificação dos equipamentos de elevação em grupos

A classificação dos equipamentos de elevação em grupos em geral é feita com base na combinação entre a frequência de uso (classes de utilização) e a proporção de utilização da carga nominal (classes de carga), representada na Tabela 3. Os grupos não requerem um alto grau de precisão e servem como referência para estimativas de vida útil do equipamento.

Tabela 3 – Classes de utilização

Classe de espectro de carga	Classe de utilização									
	U0	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9
Q1	A1	A1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q2	A1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8
Q3	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8	A8
Q4	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8	A8	A8

Fonte: ABNT NBR 8400-1:2019.

A tabela 4 apresenta uma parte dos exemplos de classificação de equipamentos em grupo citados na norma, para ser definido em conjunto com a Tabela 3.

Tabela 4 – Exemplos de classificação de equipamentos em grupo

Tipo de equipamento		Detalhes relacionados à natureza do uso	Grupo do equipamento	Classe de elevação
Referência	Indicação			
1	Equipamentos operados manualmente	-	A1 - A2	HC1
2	Equipamentos de montagem e desmontagem	-	A1 - A2	HC1/HC2
3	Equipamentos para casa de força	-	A2 - A4	HC1
4	Equipamentos para oficina em geral	Gancho	A3 - A5	HC2/HC3

Fonte: ABNT NBR 8400-1:2019, adaptado pelo autor.

2.6 Valor de deslocamento máximo conforme ABNT NBR 8800:2025

Para o caso de pontes rolantes classificadas como de uso eventual e moderado, a ABNT NBR 8800:2025 apresenta o valor de deslocamento máximo (flecha máxima) de $L/600$, sendo L o vão livre entre apoios.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa é classificada como de natureza aplicada, conforme a tipologia proposta por Silva e Menezes (2001), pois visa a aplicação prática de conhecimentos para a solução de problemas específicos, considerando as necessidades e características locais. Ainda segundo as autoras, a pesquisa adota uma abordagem quantitativa ao analisar e classificar o problema, traduzindo opiniões e informações em dados numéricos. Embora seja quantitativa, é apresentada de forma descritiva, ou seja, sem a aplicação de métodos estatísticos complexos, com a análise dos dados realizada de maneira indutiva. Dessa forma, este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem quali-quantitativa.

Quanto aos objetivos, o estudo é classificado como descritivo, conforme a definição de Gil (1999), uma vez que busca identificar e analisar relações entre variáveis. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, enquadra-se como uma pesquisa experimental, pois manipula variáveis que podem influenciar o objeto de estudo, permitindo o controle e a observação de seus efeitos. Além disso, de acordo com o autor supracitado, a pesquisa também se caracteriza como bibliográfica, já que se baseia na revisão de material já publicado, como livros, artigos acadêmicos, científicos e fontes disponíveis na *Internet*.

3.1 Definição das características gerais da ponte rolante

De acordo com a NBR 8400-1:2019, a classificação dos equipamentos é baseada em estimativas, não sendo exigido um alto grau de precisão. A norma ressalta que os números de ciclos de elevação utilizados para definir as classes de utilização não representam valores garantidos, mas sim referências orientativas para os cálculos de fadiga, correspondendo a uma vida útil média com nível de segurança adequado.

Para a definição do grupo e da classe de elevação do equipamento analisado, serão consideradas as recomendações presentes na Tabela 4 da referida norma. Tendo em vista que o equipamento será instalado em uma casa de força de uma pequena central hidrelétrica, será adotado o grupo A3 e a classe de elevação HC1.

A carga nominal de trabalho, ou seja, a capacidade de elevação de carga da ponte rolante deverá ser de três toneladas e o vão livre de seis metros.

3.2 Carregamentos considerados no cálculo

3.2.1 Classificação e definição de tensões admissíveis

Considerando que a ponte rolante será localizada em uma casa de força fechada, a estrutura encaixa-se no caso de solicitação I: serviço normal sem vento. Para este caso, serão levadas em consideração cargas estáticas devido ao peso próprio S_G e as cargas de serviço S_L multiplicada pelo coeficiente dinâmico ψ . Essas cargas, ainda, devem ser multiplicadas por um coeficiente de amplificação M_x .

O coeficiente dinâmico ψ é definido pela Equação 1 a seguir:

$$\psi = \psi_{\min} + \beta_2 \cdot V_h \quad (1)$$

Onde ψ_{\min} e β_2 são fornecidos na norma para a classe HC1, sendo 1,05 e 0,17, respectivamente. A variável V_h é a velocidade de elevação em regime constante, definida no estudo como 0,25 m/s.

A tensão calculada não poderá exceder o valor da tensão admissível à tração σ_a . A tensão admissível à tração σ_a é definida pela Equação 2:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_e}{V_E} \quad (2)$$

Considerando o material ASTM A 572 Grau 50 para o modelo de viga W, que de acordo com Hibbeler (2010) possui tensão de escoamento de 345 MPa, e a Equação 2, obtém-se a tensão admissível à tração (viga w) $\sigma_{aw} = 230$ MPa.

Para o material ASTM A36 do modelo de viga caixão, que de acordo com Hibbeler (2010) possui tensão de escoamento de 250 MPa, e a Equação 2, obtém-se a tensão admissível à tração (viga caixão) $\sigma_{ac} = 167$ MPa.

A tensão admissível ao cisalhamento τ_a é definida pela Equação 3:

$$\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

Para o modelo de viga W, considerando a Equação 3, obtém-se a tensão admissível ao cisalhamento (viga w) $\tau_{aw} = 132,80$ MPa.

Para o modelo de viga caixão, considerando a Equação 3, obtém-se a tensão admissível ao cisalhamento (viga caixão) $\tau_{ac} = 96,42$ MPa.

3.2.2 Equações de tensão e deformação

3.2.2.1 Tensão devido à tração

Segundo Hibbeler (2010), o valor da tensão normal σ pode ser obtido pela Equação 4:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (4)$$

Sendo M o momento fletor, I o momento de inércia da seção transversal da viga e c a distância entre o plano neutro até a face mais externa da viga.

3.2.2.1 Tensão devido ao cisalhamento

Segundo Hibbeler (2010), o valor da tensão de cisalhamento τ pode ser obtido pela Equação 5:

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (5)$$

Sendo V a força de cisalhamento interna resultante e A a área da seção transversal.

3.2.2.1 Tensões combinadas

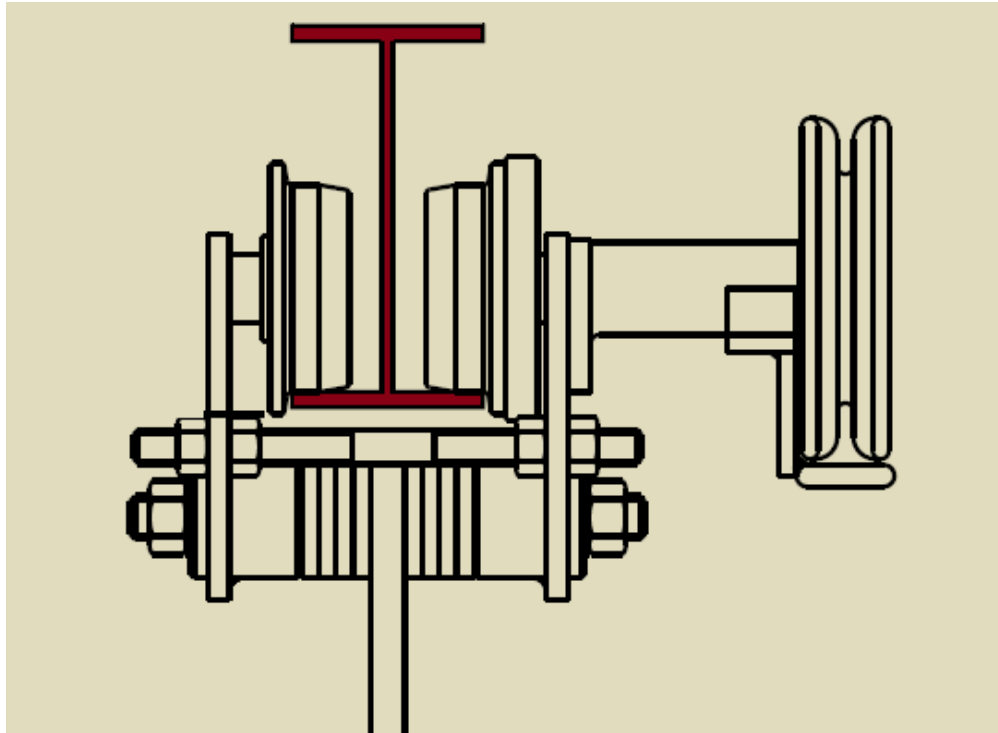
Segundo o disposto na ABNT NBR 8400-2:2019, quando há tensões normais combinadas à tensões de cisalhamento, a tensão combinada σ_c é obtida pela Equação 6:

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (6)$$

3.2.3 Resistência da aba inferior

Rudenko (1976) apresenta a necessidade da verificação da resistência da aba inferior das vigas, considerando o esforço vertical para baixo exercido pelas rodas da talha, como representado na Figura 1:

Figura 8 - Representação da talha na viga



Fonte: Berg-Steel, adaptado pelo autor

Rudenko (1976) apresenta a Equação 7 para o cálculo da tensão na aba da viga σ_{aba} :

$$\sigma_L = \frac{3,05F}{t^2} \quad (7)$$

Sendo F a força exercida pela roda e t a espessura da aba.

3.2.4 Deflexão máxima

Hibbler (2010) apresenta a Equação 8 para encontrar a deflexão máxima δ em uma viga biapoiada com carga P centralizada e concentrada.

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI} \quad (8)$$

Sendo L o vão livre entre apoios da viga, E o módulo de elasticidade do material e I o momento de inércia de sua seção transversal.

3.3 Definição e comparação entre a viga W e a viga tipo caixão

As tensões máximas devem ficar abaixo das tensões admissíveis estabelecidas pela ABNT NBR 8400:2019 e a deflexão máxima deve ficar abaixo do estabelecido pela norma ABNT NBR 8800:2008.

Para a seleção da viga W, será utilizada a viga w comercial com o menor momento de inércia possível que atenda os requisitos do projeto.

Para a seleção da geometria da viga caixão, a altura H será definida pela média do intervalo do catálogo de talhas da fabricante Columbus McKinnon, e a largura b será o valor da média do intervalo, sendo $H = 11,5 \text{ pol} = 292,1 \text{ mm}$ e $b = 4,811 \text{ pol} = 122,2 \text{ mm}$.

Figura 9 - Especificações da talha

Specifications — motor driven trolley

Rated capacity* (tons)	Product code	For use with model	Power supply	Standard travel speed (F.P.M.)	Motor H.P.	Std. range of adj. Am. std. S-beams	
						Depth (in.)	Flange width (in.)
1/8 - 2	3670	A-RR	115-1-60	75	1/4	6 - 15	3 3/8 - 5 5/8
1/8 - 2	3671	A-RR	230-3-60	75	1/4	6 - 15	3 3/8 - 5 5/8
1/8 - 2	3672	A-RR	460-3-60	75	1/4	6 - 15	3 3/8 - 5 5/8
3	9577	RT-RRT	115-1-60	75	1/4	8 - 15	4 - 5 5/8
3	9578	RT-RRT	230-3-60	75	1/4	8 - 15	4 - 5 5/8
3	9579	RT-RRT	460-3-60	75	1/4	8 - 15	4 - 5 5/8
1/8 - 2	9315	A-RR	115-1-60	30	1/4	6 - 15	3 3/8 - 5 5/8
1/8 - 2	9316	A-RR	230-3-60	30	1/4	6 - 15	3 3/8 - 5 5/8
1/8 - 2	9317	A-RR	460-3-60	30	1/4	6 - 15	3 3/8 - 5 5/8
3	9318	RT-RRT	115-1-60	30	1/4	8 - 15	4 - 5 5/8
3	9319	RT-RRT	230-3-60	30	1/4	8 - 15	4 - 5 5/8
3	9320	RT-RRT	460-3-60	30	1/4	8 - 15	4 - 5 5/8

Can be modified to fit larger beams. Flat tread wheel available. Apply for other than standard travel speeds

Fonte: Columbus McKinnon

Para a seleção de espessura de chapas, serão feitas iterações para definir qual geometria com menor peso possível atende ao requisito de momento de inércia entre as espessuras comerciais 4,75mm, 6,35mm; 9,52 mm; 12,7 mm e 15,88 mm.

3.3.1 Definição do momento de inércia

De acordo com a ABNT NBR 8400-5:2019, para a ponte rolante em estudo, a carga para testes deve ser 20% maior que a carga nominal, portanto será

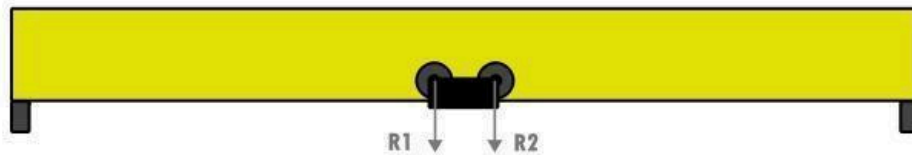
considerado a carga de testes 1,2 multiplicada pelo coeficiente dinâmico ψ definido em 3.2.1, além do coeficiente de amplificação $M_x = 1,05$.

Para o dimensionamento, a resultante das forças considerando a carga de testes multiplicada pelo coeficiente dinâmico, somada a massa da talha de 215,16 kg, será chamada de carga total C_t , e pode ser determinada pela Equação 9:

$$C_t = M_x \cdot (215,16 \text{ kg} + (1,2 \cdot \psi \cdot 3000 \text{ kg})) \quad (9)$$

A Figura 10 apresenta as reações do trole na viga

Figura 10 - Representação reações



Fonte: Autor

$a_1 = a_2 = 76,2$ mm, conforme catálogo, portanto as reações na viga serão como na Equação 10:

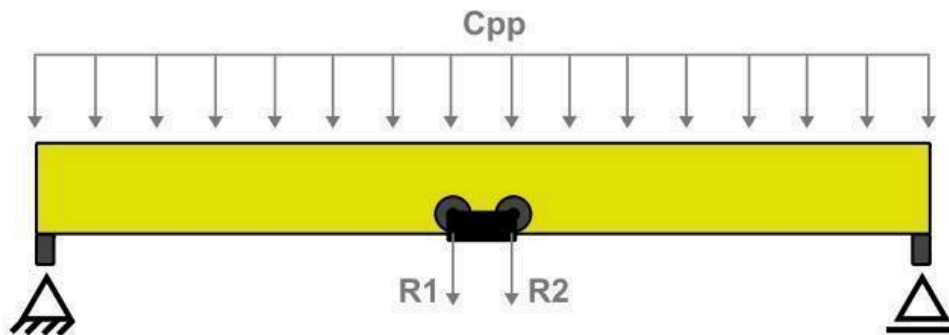
$$R_1 = R_2 = \frac{C_t}{2} \quad (10)$$

Com esses dados, será possível calcular o momento de inércia mínimo a partir do *software* FTOOL. Será considerado o caso mais crítico de uso da viga, com o içamento da carga posicionado no meio.

Será aplicado a condição de apoio fixo em uma das extremidades da viga principal e apoio móvel na outra, seguindo as diretrizes de cálculo estrutural de Hibbeler (2010). Como a carga peso próprio da viga C_{pp} , devido a ela ainda não ter sido definida, e sendo que o objetivo deste cálculo é defini-la, será utilizada a carga arbitrada de 50 kg/m. Caso seja necessário, será aumentado ou diminuído este valor em um próximo cálculo.

A carga C_t será então aplicada em dois pontos centrais, considerando o entre centro de rodas da talha seleccionada, e a carga C_{pp} será distribuída por toda a viga. O material será o aço e a seção transversal genérica. A Figura 10 representa essa configuração do cálculo.

Figura 11 - Conjunto Talha



Fonte: Autor

O *software* retornará os dados de cisalhamento máximo $V_{máx}$ e momento fletor máximo $M_{máx}$. Utilizando a Equação 4 e substituindo os dados da tensão admissível à tração σ_a , que no caso do aço para a ponte rolante do caso I é de 230 MPa, o $M_{máx}$ encontrado, e que o c está na altura da metade da viga devido sua simetria, será possível determinar o momento de inércia mínimo para a viga.

Em seguida, será encontrado um valor mínimo para a espessura de aba t , considerando o disposto em 3.2.3.

A partir desses dados será possível determinar a viga W , considerando o catálogo da fabricante GERDAU com o menor peso que atenda tanto o momento de inércia mínimo calculado quanto o valor de espessura mínimo.

Para definir a viga caixão, serão feitas iterações manuais para definir qual geometria com menor peso possível atende ao requisito de momento de inércia e resistência de aba entre as espessuras comerciais 6,35mm; 9,52 mm; 12,7 mm e 15,88 mm, utilizando os dados fornecidos pelo FTOOL e o disposto na Equação 4.

A comparação dos resultados se dará pelo peso da matéria prima, para a definição de qual geometria de viga é mais eficiente nesse escopo.

4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

4.1 Determinação dos carregamentos e seus valores admissíveis

Considerando o material ASTM A 572 Grau 50 para o modelo de viga W, que de acordo com Hibbeler (2010) possui tensão de escoamento de 345 MPa, e a Equação 2, obtém-se a tensão admissível à tração (viga w) $\sigma_{aw} = 230$ MPa.

Para o material ASTM A36 do modelo de viga caixão, que de acordo com Hibbeler (2010) possui tensão de escoamento de 250 MPa, e a Equação 2, obtém-se a tensão admissível à tração (viga caixão) $\sigma_{ac} = 167$ MPa.

Para o modelo de viga W, considerando a Equação 3, obtém-se a tensão admissível ao cisalhamento (viga w) $\tau_{aw} = 132,80$ MPa.

Para o modelo de viga caixão, considerando a Equação 3, obtém-se a tensão admissível ao cisalhamento (viga caixão) $\tau_{ac} = 96,42$ MPa.

4.2 Comparação entre o perfil w e a viga caixão

4.2.1 Cálculo do momento de inércia e reações

No caso do presente estudo, sendo a capacidade de elevação de 3 toneladas, somados à massa do conjunto trole e talha de 215,16 kg e ao peso da viga arbitrado de 50 kg/m para fins de um dimensionamento conservador (devido ao fato de que a viga ainda não foi selecionada).

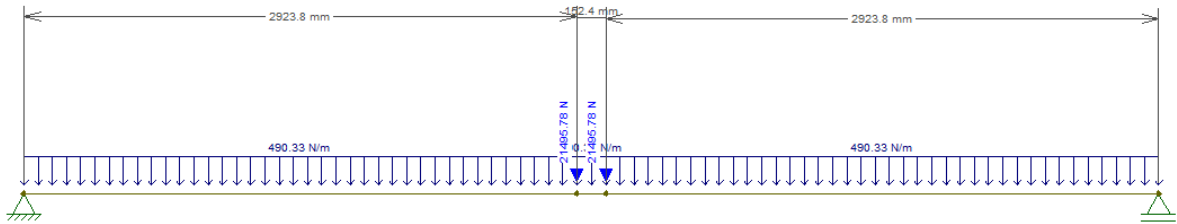
Com a Equação 1 é possível inferir que o coeficiente dinâmico $\psi = 1,3$.

Considerando os dados obtidos e a Equação 9, a Carga total C_t , resultante das forças, será de 4383,92 kg. Multiplicando pela aceleração da gravidade (9,81 m/s²), $C_t = 42991,55$ N, utilizando o critério de arredondamento.

Seguindo a Equação 9, as reações na viga representadas na Figura 9 serão $R_1 = R_2 = 21495,78$ N.

A Figura 12 representa a aplicação dos carregamentos R_1 , R_2 e C_{pp} no *software* FTOOL para a talha posicionada no centro da viga

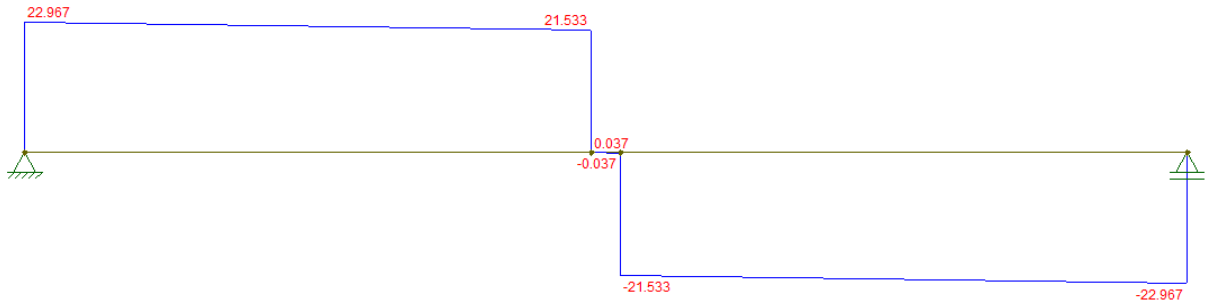
Figura 12 - Diagrama de corpo livre, talha posicionada no centro da viga



Fonte: Autor

O diagrama de esforço cisalhante é apresentado na Figura 13, retornando o esforço cisalhante máximo $V_{m\acute{a}x 1} = -22,97$ kN.

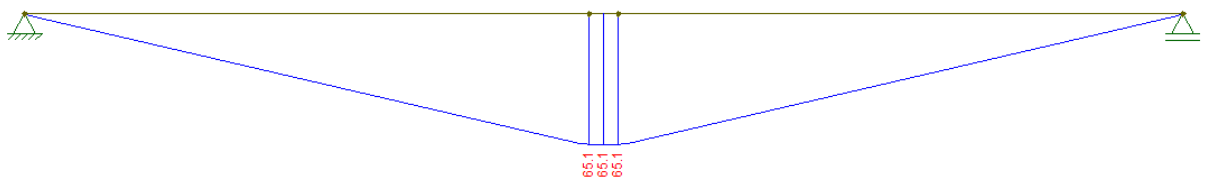
Figura 13 - Diagrama de esforços cisalhantes, talha no centro da viga



Fonte: Autor

O diagrama de momento fletor é apresentado na Figura 14, retornando como valor de momento fletor máximo é de 65,1 kN.m

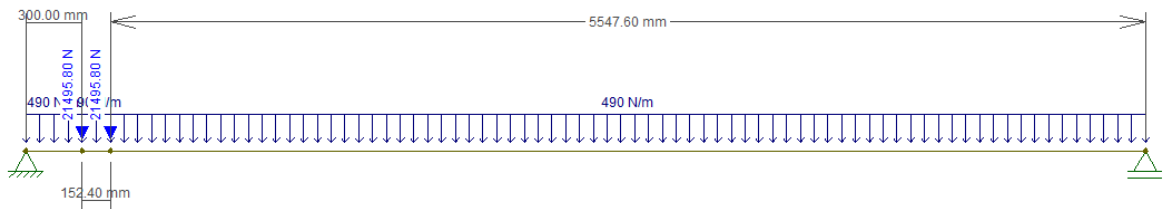
Figura 14 - Diagrama de momento fletor, talha no centro da viga



Fonte: Autor

A Figura 15 representa a aplicação dos carregamentos R_1 , R_2 e C_{pp} no software FTOOL para a talha posicionada na extremidade da viga

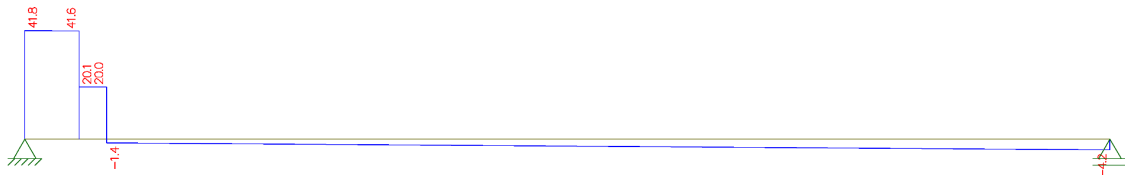
Figura 15 - Diagrama de corpo livre com talha posicionada na extremidade da viga



Fonte: Autor

O diagrama de esforço cisalhante é apresentado na Figura 16, retornando o esforço cisalhante máximo $V_{máx 1} = 41,8$ kN.

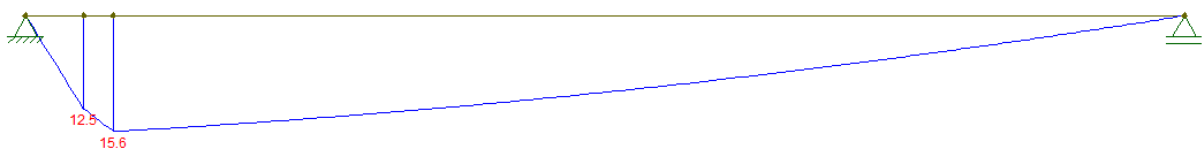
Figura 16 - Diagrama de esforços cisalhantes, talha na extremidade da viga



Fonte: Autor

O diagrama de momento fletor é apresentado na Figura 17, retornando como valor de momento fletor máximo é de 15,6 kN.m

Figura 17 - Diagrama de momento fletor, talha na extremidade da viga



Fonte: Autor

4.2.2 Definição do perfil I

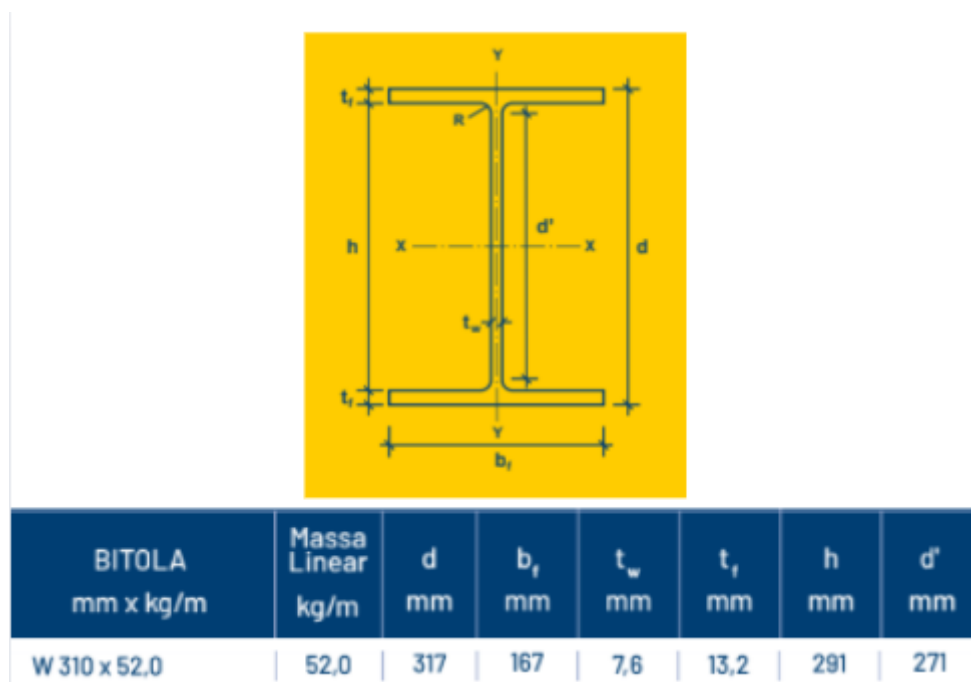
Aplica-se a Equação 4 da tensão normal em função do momento fletor e do módulo de resistência elástica. Considerando o momento fletor máximo 65,1 kNm, e a tensão admissível de 230 MPa, o módulo resistente da seção transversal mínimo deverá ser de 283,04 cm³.

Aplicando a Equação 7, a tensão de escoamento de 230 MPa, e a carga sendo 42991,55 N divididos em 4 rodas, ou seja, 10747,88 N por roda, conclui-se que a espessura mínima de aba para a viga W é de 11,94 mm.

Considerando a Equação 8, pode-se inferir que o momento de inércia mínimo para a seção transversal é de $9673,10 \text{ cm}^4$.

Utilizando o catálogo de perfis da GERDAU, a viga que atende os 3 requisitos com menor peso é a W 310 x 52.

Figura 18 - Bitola do perfil selecionado



Fonte: Gerdaul

Para confirmação do perfil escolhido, utiliza-se a Equação 4 para encontrar a tensão resultante do momento fletor no caso da talha centralizada. Sendo $M = 65,1 \text{ kNm}$, c é 158,5 mm e I sendo 11909 cm^4 , conforme catálogo GERDAU, a tensão de flexão no perfil I é de $\sigma_i = 137,18 \text{ MPa}$.

A tensão de cisalhamento, utilizando a Equação 5, o $V = 22,97 \text{ kN}$ e $A = 67 \text{ cm}^2$, conforme catálogo GERDAU, a tensão de cisalhamento com a talha centralizada é de 3,43 MPa.

A tensão combinada nesse ponto para a talha centralizada pode ser

encontrada utilizando a Equação 6. Considerando as informações acima, a tensão combinada no perfil é de 86,82 MPa, ou seja, está segura.

Utiliza-se a Equação 4 para encontrar a tensão resultante do momento fletor no caso da talha na extremidade. Sendo $M = 15,6 \text{ kNm}$, $c = 158,5 \text{ mm}$ e I sendo 11909 cm^4 , conforme catálogo GERDAU, a tensão de flexão no perfil I é de $\sigma_i = 20,76 \text{ MPa}$.

A tensão de cisalhamento, utilizando a Equação 5, o $V = 41,8 \text{ kN}$ e $A = 67 \text{ cm}^2$, conforme catálogo GERDAU, a tensão de cisalhamento com a talha na extremidade é de 6,24 MPa.

A tensão combinada nesse ponto para a talha na extremidade pode ser encontrada utilizando a Equação 6. Considerando as informações acima, a tensão combinada no perfil é de 23,4 MPa, ou seja, está segura.

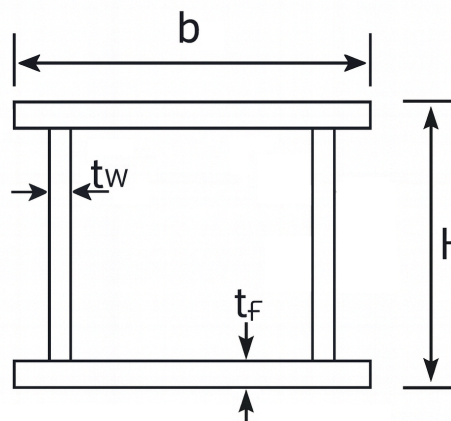
4.2.3 Definição do perfil caixão

Considerando os valores de momento fletor e cisalhamento encontrados em 4.2.1, e o valor da tensão admissível para o aço ASTM A36 $\sigma_{ac} = 167 \text{ MPa}$, infere-se que o módulo de resistência mínimo para o caso da viga caixão é de 390 cm^3 .

Considerando a Equação 8, pode-se inferir que o momento de inércia mínimo para a seção transversal é de $9673,10 \text{ cm}^4$, assim como na viga I.

Considerando que a mesa t_f deverá ter, conforme Equação 7 no mínimo 14 mm, sendo a chapa comercial mais próxima 15,88 mm, será feito iterações entre as chapas das almas t_w .

Figura 19 - Viga caixão



Para a iteração 01, as chapas são $t_f = 15,88$ mm, $t_w = 4,75$ mm, $H = 292,1$ mm, $b = 122,2$ mm.

Segundo Hibbeler, o momento de inércia da seção retangular é definido por sua base multiplicada por sua altura ao cubo dividido por 12. Para a mesa, essa relação é representada pela Equação 11:

$$I_{\text{mesa,próprio}} = \frac{b \cdot t_f^3}{12} \quad (11)$$

Para a iteração 01, $I_{\text{mesa,próprio}} = 40779,46 \text{ mm}^4$

Para calcular o momento de inércia total das mesas I_{mesas} , é utilizado o Teorema dos Eixos Paralelos apresentado por Hibbeler e adaptado para o presente estudo na Equação 12:

$$I_{\text{mesas}} = I_{\text{mesa,próprio}} + A_{\text{mesa}} \cdot \frac{H-t_f}{2} \quad (12)$$

Portanto, para a iteração 01, $I_{\text{mesas}} = 74110570,39 \text{ mm}^4$.

Considerando almas simétricas, o momento de inércia das almas é representado pela Equação 13:

$$I_{\text{almas}} = I_{\text{alma}} \cdot 2 \quad (13)$$

A altura livre da alma é representada pela Equação 14

$$h_{\text{alma}} = H - 2 \cdot t_f \quad (14)$$

A inércia de uma alma é representada pela Equação 15:

$$I_{\text{alma}} = \frac{t_w \cdot h_{\text{livre}}^3}{12} \quad (15)$$

Para a iteração 01, $I_{\text{alma}} = 6984495,87 \text{ mm}^4$ e $I_{\text{almas}} = 13968991,75 \text{ mm}^4$

O momento de inércia total é representado pela Equação 16:

$$I_x = I_{\text{mesas}} + I_{\text{almas}} \quad (16)$$

Para a iteração 01, $I_x = 88079562,14 \text{ mm}^4$, transformando em cm^4 , $8807,95 \text{ cm}^4$, o que não atende o critério mínimo de $9673,10 \text{ cm}^4$.

O módulo de resistência, conforme Hibbeler, é apresentado na Equação 17:

$$w = \frac{I}{\frac{H}{2}} \quad (17)$$

Para a iteração 01, $w = 603,07 \text{ cm}^3$, o que atende o critério mínimo de 390 cm^3 .

A Equação 18 apresenta o cálculo da área da seção transversal, e a Equação 19 o cálculo da massa (kg por metro) da viga, que é o produto da área da seção transversal da viga caixão $A_{\text{viga caixão}}$ e da densidade do aço ASTM A36, de acordo com Hibbeler, 7850 kg/m^3 .

$$A_{\text{viga caixão}} = ((2 \cdot (t_f \cdot b) + 2 \cdot (t_w \cdot (H - 2 t_f))) \quad (18)$$

$$\text{Para a iteração 01, } A_{\text{viga caixão}} = 4413,76 \text{ mm}^2$$

$$\text{kg/m} = A_{\text{viga caixão}} \cdot 7850 \quad (19)$$

Para a iteração 01, a massa por metro é de $34,64 \text{ kg/m}$.

Como a iteração 01 não atingiu todos os valores mínimos necessários para a escolha da viga, faz-se necessário realizar iterações variando as chapas das almas até chegar em um resultado satisfatório.

Tabela 5 – Resultados das iterações

Iteração	H (mm)	b (mm)	t_f (mm)	t_w (mm)	I_x (cm^4)	W_x (cm^4)	kg/m
01	292,1	122,2	15,88	4,75	8807,95	603,07	34,64
02	292,1	122,2	15,88	6,35	9278,49	635,29	41,18
03	292,1	122,2	15,88	9,53	10213,67	699,32	54,18

Fonte: Autor

Nota-se que a massa por metro da viga é próxima do valor inicialmente arbitrado de 50 kg/m .

Para confirmar a escolha da seção da iteração 03, utiliza-se a Equação 4 para encontrar a tensão resultante do momento fletor no caso da talha centralizada. Sendo $M = 65,1 \text{ kNm}$, $c = H/2 = 146,05 \text{ mm}$ e I sendo $10213,67 \text{ cm}^4$, a tensão de flexão no perfil I é de $\sigma_i = 93,1 \text{ MPa}$.

A tensão de cisalhamento, utilizando a Equação 5, o $V = 22,97 \text{ kN}$ e $A = 4413,76 \text{ mm}^2$, a tensão de cisalhamento com a talha centralizada é de $5,21 \text{ MPa}$.

A tensão combinada nesse ponto para a talha centralizada pode ser encontrada utilizando a Equação 6. Considerando as informações acima, a tensão

combinada no perfil é de 93,56 MPa, ou seja, está segura.

Utiliza-se a Equação 4 para encontrar a tensão resultante do momento fletor no caso da talha na extremidade. Sendo $M = 15,6$ kNm, $c = H/2 = 146,05$ mm e I sendo $10213,67$ cm^4 , a tensão de flexão no perfil I é de $\sigma_i = 22,3$ MPa.

Utilizando a Equação 5, o $V = 41,8$ kN e $A = 4413,76$ mm^2 , a tensão de cisalhamento com a talha na extremidade é de 9,47 MPa.

A tensão combinada nesse ponto para a talha na extremidade pode ser encontrada utilizando a Equação 6. Considerando as informações acima, a tensão combinada no perfil é de 27,68 MPa, ou seja, está segura.

Infere-se, portanto, que a geometria da seção transversal da iteração 04 atende todos os quesitos e possui massa por metro de 54,18 kg, considerando o peso das chapas.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho dimensionou e comparou duas geometrias de viga principal para uma ponte rolante monoviga de 3 toneladas e vão de 6 metros: um perfil comercial W (W 310×52) e uma viga tipo caixão (H = 292 mm, b = 122 mm, mesas $t_f = 15,88$ mm, e almas $t_w = 9,53$ mm). Os dois modelos foram avaliadas quanto às tensões de flexão e cisalhamento, tensão equivalente combinada, verificação da aba inferior sob as rodas da talha e rigidez (momento de inércia), utilizando tensões admissíveis compatíveis com os aços ASTM A572 Gr. 50 (perfil W) e ASTM A36 (caixão).

No caso crítico com a talha posicionada no centro, o perfil W selecionado apresentou $I = 11909 \text{ cm}^4$ e massa linear de 52 kg/m, com a tensão combinada máxima no perfil de 86,82 MPa, abaixo da tensão admissível. A viga caixão selecionada apresentou $I = 10214 \text{ cm}^4$ e massa linear de 54,18 kg/m, com a tensão combinada máxima de 93,56 MPa, também abaixo do admissível. Em ambos os casos, a verificação da aba inferior sob as rodas foi atendida pelas espessuras adotadas, conforme o proposto por Rudenko (1976).

Do ponto de vista de eficiência estrutural, o perfil W demonstrou maior rigidez com menor peso próprio, além de vantagens práticas de disponibilidade comercial, padronização e menor complexidade de fabricação e inspeção. A viga caixão, embora conforme, resulta em menor I para maior massa e exige controle de fabricação (soldas, esbeltez de placas e tolerâncias) para garantir desempenho e durabilidade.

Desse modo, a viga caixão tem maior eficiência para aplicação em locais com vãos livres maiores e maior carga, onde o Perfil W não consegue atender os requisitos mínimos de projeto, devido às suas limitações impostas por suas dimensões padronizadas e catalogadas.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 8400:2019. **Equipamentos de elevação e movimentação de carga – Regras para projeto**. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT NBR 8800:2008. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2008.

BERG STEEL. **Talhas Elétricas de Correntes de Elos**. Araras: Berg Steel, 2021. Catálogo. Disponível em: <https://www.bergsteel.com.br/troles/manuais-e-mecanicos>. Acesso em: abr. 2025.

BLODGETT, Omer W. **Design of Welded Structures**. 2a Edição. Cleveland: The James F Lincoln Arc Welding Foundation, 1966.

COLUMBUS MCKINNON. **Specifications for hoists and trolleys**. Catálogo técnico. [S.l.]: [s.n.], 2017. 92 p.

GERDAU. **Perfis Estruturais Gerdau**: tabela de bitolas. Catálogo técnico. [S.l.]: [s.n.], 2018. 3 p.

HIBBELER, R. C. **Estática - Mecânica para Engenharia**. 12 ed. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2011.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7 ed. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2010.

LANGUI, Claudio Alberto. **Pontes Rolantes - A Importância do Equipamento nas Áreas de Produção Industrial**. 2001. 54 f. Monografia (Especialização) - Curso de Mba em Gerência Empresarial, Departamento de Economia, Contabilidade, Administração e Secretariado, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2001.

LEITE NETO, Antonio Luiz. **Projeto Detalhado de uma Ponte Rolante para uma Empresa Metal Mecânica**. 2018. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

MACHADO, C. D. S. **Vigas de rolamento com perfis estruturais Gerdau**. Catálogo. Gerdau. Disponível em <<https://mais.gerdau.com.br/catalogos-e-manuais/vigas-de-rolamento-com-perfis-estruturais>>. Acesso em maio 2025

PEREIRA, Amanda Silvério. **Estudo de Comparação de Modelos de Elementos Finitos de uma Ponte Rolante**. 2022. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Unesp, Guaratinguetá, 2022.

RUDENKO, N. **Máquinas de Elevação e Transporte**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1976.

SAMPAIO, Renan Carlos dos Reis. **Dimensionamento da Viga Principal e Cabeceiras de Uma Ponte Rolante**. 2022. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Instituto Federal de Santa Catarina, Xanxerê, 2022.

SCHARDONG, João Paulo Gatto. **Projeto da Viga Principal de uma Ponte Rolante: Uma Abordagem Analítica e Computacional**. 2018. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, UFGD, Dourados, 2018.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 121 f. 3 ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SORDI, Giovani. **Dimensionamento da Viga Principal de uma Ponte Rolante**. 2016. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2016.

TAMASAUSKAS, A. **Metodologia do Projeto Básico de Equipamento de Manuseio e Transporte de Cargas - Ponte Rolante - Aplicação Não Siderúrgica**. Mestrado em Engenharia Mecânica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.