



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

BRUNO MASCARENHAS PESSOA

DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE PONTE ROLANTE PARA DESMANCHE
DE CAMINHÕES

TERESINA
2026

BRUNO MASCARENHAS PESSOA

DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE PONTE ROLANTE PARA DESMANCHE DE
CAMINHÕES

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obten-
ção do diploma do Curso de Engenharia Mecâ-
nica do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí, Teresina Central.

Orientador: Prof. Dr. Petteson Linniker Carva-
lho Serra

TERESINA
2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Pessoa, Bruno Mascarenhas

P475d Dimensionamento estrutural de ponte rolante para desmanche de caminhões / Bruno Mascarenhas Pessoa. - 2026.

58 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, 2026. Orientador: Prof. Dr. Petteson Linniker Carvalho Serra.

1. Ponte rolante. 2. Dimensionamento. 3. Análise estrutural. I. Título.

CDD - 620

BRUNO MASCARENHAS PESSOA

DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE PONTE ROLANTE PARA DESMANCHE DE
CAMINHÕES

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obten-
ção do diploma do Curso de Engenharia Mecâ-
nica do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí, Teresina Central.

Aprovada em 02 de julho de 2026.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Petteson Linniker Carvalho Serra (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Me. Wênio Fhará Alencar Borges
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Luiz Henrique Portela de Abreu
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Dedico este trabalho a todos que acreditaram que ele sairia.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que sempre esteve presente em toda essa caminhada, guardando cada um dos meus passos nessa jornada longa e desafiadora que é o curso de Engenharia Mecânica. Sem a Sua presença constante, nada disso seria possível.

À minha mãe, Edilmar Sonia Mascarenhas Pessoa, minha principal incentivadora e porto seguro. Esteve ao meu lado em todos os momentos, especialmente nos mais difíceis e de maior incerteza, sempre com muito carinho e palavras de encorajamento que me deram forças para seguir em frente. Sua dedicação e amor incondicional foram fundamentais para a conclusão desta etapa.

Ao meu pai, Everaldo Pessoa da Silva, um dos meus maiores exemplos de vida. Homem de poucos discursos, mas de grandes gestos e atitudes, que me ensinou, silenciosamente, os valores mais importantes que carrego comigo. Dentro de todas as suas possibilidades, sempre deu o seu melhor para que nada me faltasse. A ele, toda a minha gratidão e admiração.

À minha irmã, Maria Helena Mascarenhas Pessoa Nogueira, um ponto de apoio imensurável ao longo de toda a minha graduação. Sua presença foi fundamental tanto dentro do curso quanto na vida pessoal, e sou muito grato por tê-la ao meu lado em cada momento desta trajetória.

Um agradecimento especial à minha avó, Marcela de Moraes Nunes, pessoa pela qual tenho um carinho mais que especial. Ela me viu crescer e amadurecer, e sempre esteve ao meu lado, com seu amor e apoio, em todos os momentos da minha vida. Sua presença é um presente que sou imensamente grato por ter.

Ao meu professor orientador, Petteson Linniker Carvalho Serra, expressei minha profunda gratidão. Muito além da orientação técnica deste Trabalho de Conclusão de Curso, o professor Petteson foi um exemplo e um incentivador ao longo de boa parte da minha formação. Sempre disponível, paciente e motivador, especialmente nos momentos finais do curso, sua dedicação e comprometimento com os alunos são uma inspiração que levarei para toda a vida profissional.

Agradeço também a todos os meus familiares e amigos que, de alguma forma, estiveram presentes nessa caminhada. Cada um, à sua maneira, contribuiu para que este sonho pudesse se tornar realidade. A gratidão que sinto é igual para todos.

Por fim, não poderia deixar de mencionar meus amigos e colegas de classe, companheiros de trabalhos, provas, visitas técnicas e tantos outros momentos que tornaram essa jornada mais leve e memorável. São muitos os que participaram dessa história e cada um tem a sua parcela de contribuição para que chegássemos a este momento tão desejado: a conclusão do curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí. A todos vocês, meu muito obrigado.

*Para uma tecnologia de sucesso, a realidade deve ter prioridade sobre as relações públicas,
pois a Natureza não pode ser enganada.*

Richard Feynman

RESUMO

As pontes rolantes são estruturas metálicas suspensas, dispostas horizontalmente, que se movimentam sobre trilhos para elevar e movimentar cargas pesadas. Por serem projetadas para resistir a carregamentos elevados e apresentarem ampla capacidade de movimentação, exercem papel fundamental no deslocamento de materiais pesados. O presente trabalho tem como objetivo dimensionar uma ponte rolante a ser utilizada no desmonte e armazenagem de peças de um desmanche de caminhões localizado em Teresina - PI, fundamentando-se nos critérios de classificação da NBR 8400:2019 auxiliado pelos estados limites estabelecidos pela NBR 8800:2024. A estrutura será do tipo univiga, alocada dentro de um galpão de dimensões 10 m de largura por 30 m de comprimento e terá capacidade máxima para até 5 toneladas. Os cálculos analíticos realizados no dimensionamento dos componentes da ponte foram validados por meio do software ANSYS, que demonstrou alta convergência entre os resultados numéricos e analíticos, representando assim uma estrutura robusta e segura para cumprir o fim ao qual é proposta.

Palavras-chave: ponte rolante; dimensionamento; análise estrutural.

ABSTRACT

Overhead cranes are suspended metallic structures, horizontally arranged, that move along rails to lift and transport heavy loads. Designed to be highly resistant and to have a wide range of motion, they play a fundamental role in the displacement of heavy materials. This study aims to design an overhead crane to be used in the dismantling and storage of parts at a legalized truck salvage yard located in Teresina, Piauí, based on the classification criteria of NBR 8400:2019, supported by the limit states established by NBR 8800:2024. The structure will be of the single-girder type, housed inside a warehouse measuring 10 m in width by 30 m in length, with a maximum load capacity of up to 5 tons. The analytical calculations performed in the design of the crane's components were validated using ANSYS software, which showed high convergence between the numerical and analytical results, thus representing a robust and safe structure capable of fulfilling its intended purpose.

Keywords: overhead crane; design; structural analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ponte Rolante	19
Figura 2 – Exemplo de ponte rolante univiga.	23
Figura 3 – Ponte Rolante Bi-Viga	24
Figura 4 – Ponte rolante suspensa	24
Figura 5 – Ponte rolante de parede	25
Figura 6 – Principais elementos de uma ponte rolante.	26
Figura 7 – Distribuição de tensões normais em uma viga submetida à flexão.	27
Figura 8 – Distribuição de tensão de cisalhamento em perfil I.	28
Figura 9 – Inclinação e deslocamento de vigas simplesmente apoiadas.	29
Figura 10 – Inclinação e deslocamento de vigas simplesmente apoiadas com carregamento uniformemente distribuído.	29
Figura 11 – Conjunto talha e trole	32
Figura 12 – Fator Ψ	36
Figura 13 – Fator Ψ_H	40
Figura 14 – Coeficiente λ	41
Figura 15 – Propriedades mecânicas de chapas para fabricação da estrutura.	42
Figura 16 – Representação da pressão local na aba do perfil.	44
Figura 17 – Esboço da seção transversal da viga principal	47
Figura 18 – Tensão equivalente de von Mises na viga principal	48
Figura 19 – Deformação total da viga principal	49
Figura 20 – Deformação total e deslocamento máximo da viga de cabeceira	51
Figura 21 – Deformação total da viga de cabeceira com chapa de reforço	52
Figura 22 – Tensão equivalente de von Mises na viga de rolamento	54
Figura 23 – Gráficos de fatores de segurança em relação à tensão de Von Mises nas regiões críticas das vigas (Principal, Cabeceiras e Rolamento)	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de utilização	33
Tabela 2 – Classes de espectro	34
Tabela 3 – Grupos de equipamentos	34
Tabela 4 – Exemplos de classificação de equipamentos em grupo	35
Tabela 5 – Tempos de aceleração e valores da aceleração	38
Tabela 6 – Valores do coeficiente de amplificação M_x	42
Tabela 7 – Coeficiente de segurança em relação ao limite elástico do material	43
Tabela 8 – Deslocamentos máximos	45
Tabela 9 – Comprimento destravado dos elementos estruturais	47
Tabela 10 – Propriedades da seção transversal da viga principal	47
Tabela 11 – Reações da viga principal nas posições críticas de carregamento	48
Tabela 12 – Resumo das verificações resistentes da viga principal nas posições críticas	49
Tabela 13 – Reações da viga de cabeceira	50
Tabela 14 – Propriedades do perfil W200x19,3	50
Tabela 15 – Verificações resistentes da viga de cabeceira	52
Tabela 16 – Propriedades do perfil W360x58	53
Tabela 17 – Verificações resistentes da viga de rolamento	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
DETRAN	Departamento Estadual de Trânsito
EN	Euro Norm (Norma Europeia)
FEM	Fédération Européenne de la Manutention
HC	Hoisting Class (Classe de Elevação)
MEF	Método dos Elementos Finitos
NBR	Norma Brasileira
SI	Sistema Internacional (de Unidades)

LISTA DE SÍMBOLOS

F_{cm}	Força de inércia média (kN)
$M_{1,max}$	Momento fletor máximo na viga, posição 1 (kN·m)
$M_{2,max}$	Momento fletor máximo na viga, posição 2 (kN·m)
M_{max}	Momento fletor máximo, obtido via Ftool (kN·m)
P	Carga vertical máxima no ponto de contato da roda do trole (kN)
V_{max}	Força cortante máxima, obtida via Ftool (kN)
R_{a1}	Reação no apoio 1 da viga, posição 1 (kN)
R_{a2}	Reação no apoio 1 da viga, posição 2 (kN)
R_{b1}	Reação no apoio 2 da viga, posição 1 (kN)
R_{b2}	Reação no apoio 2 da viga, posição 2 (kN)
R_{ta}	Reação na roda dianteira do trole (kN)
R_{tb}	Reação na roda traseira do trole (kN)
S_G	Carga devida ao peso próprio dos componentes (kN)
S_H	Força horizontal resultante (kN)
S_{H1}	Força horizontal devida aos efeitos de inércia (kN)
$S_{H1,min}$	Valor mínimo normativo da força horizontal S_{H1} (kN)
S_{H2}	Força horizontal devida ao movimento transversal (kN)
S_L	Carga nominal do equipamento — carga de serviço (kN)
W_t	Carga vertical majorada para ensaio dinâmico (kN)
m	Massa equivalente da ponte rolante, excluindo a carga (kg)
m_1	Massa da carga nominal de trabalho (kg)
σ	Tensão normal (MPa)
σ_a	Tensão normal admissível (MPa)
σ_{aba}	Tensão resultante na aba inferior da viga (MPa)

σ_{comb}	Tensão combinada (MPa)
σ_{cp}	Tensão equivalente combinada, conforme NBR 8400-2:2019 (MPa)
σ_E	Tensão de escoamento do material (MPa)
σ_{flex}	Tensão de flexão (MPa)
$\sigma_{flex,l}$	Tensão de flexão lateral da mesa (MPa)
$\sigma_{flex,v}$	Tensão de flexão vertical (MPa)
σ_L	Tensão local na aba inferior da viga principal (MPa)
σ_R	Tensão de ruptura do material (MPa)
σ_x	Tensão normal na direção x (MPa)
σ_y	Tensão normal na direção y (MPa)
τ	Tensão de cisalhamento (MPa)
τ_a	Tensão admissível ao cisalhamento (MPa)
τ_{cis}	Tensão de cisalhamento resultante na verificação resistente (MPa)
τ_{xy}	Tensão de cisalhamento no plano xy (MPa)
β	Relação entre tempo de aceleração e período de oscilação
β_2	Coeficiente para cálculo do coeficiente dinâmico de elevação
β_{crit}	Valor crítico de β para determinação do coeficiente Ψ_H
k_p	Fator de espectro de carga
λ	Coeficiente de forças transversais por enviesamento
M_x	Coeficiente de amplificação das cargas
μ	Relação entre massa da carga e massa da estrutura
ν_E	Coeficiente de segurança em relação ao limite elástico
Ψ	Coeficiente dinâmico de elevação
Ψ_{min}	Valor mínimo do coeficiente dinâmico de elevação
Ψ_H	Coeficiente dinâmico horizontal
$\Psi_{H,max}$	Valor máximo do coeficiente dinâmico horizontal

ρ	Coeficiente de sobrecarga para ensaio dinâmico
g	Aceleração da gravidade (m/s ²)
J_m	Aceleração média de translação (m/s ²)
T_1	Período de oscilação da carga suspensa (s)
T_m	Tempo de aceleração (s)
V_h	Velocidade de elevação da carga (m/s)
$V_{h,max}$	Velocidade máxima de elevação (m/s)
V_t	Velocidade de translação da ponte (m/s)
a	Distância entre as rodas (truques) do trilho (m)
A	Área da seção transversal do perfil (mm ² ou cm ²)
b_f	Largura da mesa do perfil W (mm)
C_y	Centroide da seção transversal em relação ao eixo y (mm)
d	Altura do perfil W (mm)
E	Módulo de elasticidade do material (MPa)
h	Altura do perfil caixão da viga principal (mm)
H	Altura de elevação (m)
I_x	Momento de inércia em relação ao eixo x (mm ⁴ ou cm ⁴)
l	Comprimento de suspensão da carga (m)
L	Vão livre da viga principal (m)
n_{max}	Número máximo de ciclos de elevação
p	Vão da ponte rolante, utilizado na relação p/a para obtenção de λ (m)
t	Espessura da aba da viga (mm)
t_f	Espessura da mesa do perfil W (mm)
t_w	Espessura da alma do perfil W (mm)
W_x	Módulo de resistência elástico em relação ao eixo x (cm ³)
$W_{x,nec}$	Módulo de resistência elástico mínimo necessário (cm ³)

$\delta_{l,P1}$ Deflexão lateral na posição 1 (mm)

$\delta_{\max}$ Deflexão máxima (mm)

$\delta_{v,P1}$ Deflexão vertical na posição 1 (mm)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	JUSTIFICATIVA	19
1.2	OBJETIVOS	19
1.2.1	Objetivo geral	19
1.2.2	Objetivos específicos	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE DE CARGA	21
2.2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.3	PONTES ROLANTES	23
2.3.1	Ponte rolante univiga	23
2.3.2	Ponte rolante biviga	23
2.3.3	Ponte rolante suspensa	24
2.3.4	Ponte rolante apoiada	25
2.3.5	Ponte rolante de parede	25
2.4	COMPONENTES PRINCIPAIS DA PONTE ROLANTE	25
2.5	FUNDAMENTOS DE MECÂNICA DOS SÓLIDOS	26
2.5.1	Esforços resultantes e equilíbrio	26
2.5.2	Tensão normal	27
2.5.3	Tensão de cisalhamento transversal	27
2.5.4	Deflexão e rigidez estrutural	28
2.6	NORMAS DE PROJETO	29
3	METODOLOGIA	31
3.1	PARÂMETROS GERAIS DE PROJETO	31
3.2	SELEÇÃO DO SISTEMA DE ELEVAÇÃO DA CARGA	31
3.3	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PONTE ROLANTE	32
3.3.1	Classe de utilização	32
3.3.2	Espectro de carga	33
3.3.3	Classificação dos equipamentos de elevação em grupos	34
3.4	CARREGAMENTOS CONSIDERADOS NO PROJETO DE ESTRUTURAS	35
3.4.1	Cargas principais	36
3.4.2	Carga devido ao movimento vertical	36
3.4.3	Cargas devido aos movimentos horizontais	37
3.4.3.1	Efeitos de inércia devido a aceleração e frenagem	37
3.4.3.2	Cargas transversais resultantes do movimento do equipamento	40

3.4.4	Casos de solicitação	41
3.5	VERIFICAÇÃO QUANTO AO ESCOAMENTO E ESTABILIDADE	42
3.5.1	Propriedades mecânicas do material	42
3.5.2	Verificação quanto ao limite elástico	42
3.5.3	Tensão admissível ao cisalhamento	43
3.6	TENSÕES COMBINADAS	43
3.7	RESISTÊNCIA DA ABA INFERIOR	43
3.8	VERIFICAÇÃO QUANTO À DEFLEXÃO	44
3.9	PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL E VALIDAÇÃO NUMÉRICA	45
4	RESULTADOS	47
4.1	VIGA PRINCIPAL	47
4.2	CABECEIRAS	49
4.3	VIGAS DE ROLAMENTO	53
4.4	DISCUSSÃO	55
5	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

Segundo Lermen *et al.* (2021), a Lei nº 12.977/2014 (Brasil, 2014) define “desmanches legalizados” como empresas atuantes na área de montagem e desmontagem de veículos. Tal medida possui extrema relevância social, uma vez que visa impactar positivamente na redução de crimes contra o patrimônio por meio da legalização deste mercado, diminuindo, portanto, a demanda de compra de peças ilegais. Para que estejam em conformidade com as normas vigentes, estes desmanches devem possuir registro no DETRAN, com responsabilidade no rastreio das peças vendidas e estrutura que se encaixe nos critérios previstos na Lei nº 12.977/2014 (Brasil, 2014). Neste contexto, equipamentos precisos, eficientes e seguros para fins de deslocamento de materiais pesados são capazes de otimizar a logística de produção em empreendimentos deste segmento, diminuindo gastos, garantindo uma melhor gestão do tempo e, portanto, maximizando os lucros.

As pontes rolantes são estruturas metálicas suspensas, dispostas horizontalmente, que se movimentam sobre trilhos. Seu objetivo é elevar e movimentar em geral cargas pesadas, portanto são projetadas para serem bastante resistentes e possuírem amplitude de movimento, de modo a alcançar locais de difícil acesso. Auxiliam na movimentação de matéria-prima, bem como dos mais diversos tipos de materiais durante todos os processos da cadeia produtiva (SAMPAIO, 2022). A Figura 1 exemplifica uma ponte rolante do tipo univiga.

São consideradas equipamentos importantes no âmbito industrial, uma vez que exercem papel fundamental no deslocamento de materiais pesados em ambientes operacionais. As normas técnicas vigentes e o surgimento de softwares de engenharia para fins de análise estrutural viabilizam o desenvolvimento de projetos cada vez mais tecnológicos e seguros, aliando a otimização do desempenho da máquina a um menor custo para sua produção.

Figura 1 – Ponte Rolante



Fonte: Mazzella Companies (2026).

1.1 JUSTIFICATIVA

A desmontagem de caminhões envolve o manuseio recorrente de componentes pesados, como motores, transmissões, eixos diferenciais, cabines e seções de chassis. Realizada de forma manual ou improvisada, essa movimentação expõe os trabalhadores a riscos de acidentes e compromete a produtividade do processo.

O projeto atende à demanda de uma empresa do setor que construirá um novo galpão para armazenar peças automotivas de alto valor comercial. Nesse cenário, a movimentação segura dessas peças é um ponto crítico, pois avarias por manuseio inadequado representam uma perda financeira direta.

Logo, fundamentado nas normas ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019b) e ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2024), o presente trabalho entrega uma metodologia de dimensionamento estrutural validada por simulação numérica, podendo assim conciliar a segurança operacional com economia de material, contribuindo para a viabilidade técnico-econômica de um empreendimento de desmanche legalizado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O trabalho tem como objetivo principal realizar o dimensionamento de uma ponte rolante que servirá no auxílio ao desmonte e armazenagem de peças de um desmanche de caminhões localizado em Teresina - PI. Os componentes estruturais dimensionados serão a viga principal, cabeceiras e viga de rolamento. Os componentes responsáveis pelo içamento e translação da carga não serão dimensionados.

1.2.2 Objetivos específicos

- Fundamentar o dimensionamento com base nos critérios da NBR 8400:2019 e nos estados limites estabelecidos pela NBR 8800:2024;
- Dimensionar a viga principal em perfil caixão, vigas de cabeceira e vigas de rolamento considerando esforços solicitantes e verificações de resistência, compondo o sistema estrutural completo;
- Fazer o pré-dimensionamento das vigas e validar os cálculos analíticos por meio de simulações numéricas utilizando o software ANSYS, garantindo que as tensões equivalentes estejam em conformidade com a norma.
- Apresentar considerações finais acerca da eficiência estrutural, apontando possíveis melhorias no projeto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE DE CARGA

As máquinas de elevação e transporte de cargas desempenham um papel vital na indústria moderna, sendo fundamentais para a logística interna, o armazenamento e os processos de fabricação em diversos segmentos. Segundo Rudenko (1976), a função desses equipamentos não se limita ao deslocamento de materiais de um ponto a outro; eles são essenciais para o alojamento de mercadorias em armazéns e para garantir a transferência constante de cargas entre diferentes etapas de um processo produtivo. A grande diversidade de projetos de máquinas existentes no mercado é uma resposta direta à variedade de propriedades e tipos de cargas que precisam ser movimentadas.

Quanto à sua natureza de operação, os equipamentos de movimentação podem ser classificados em duas categorias principais, conforme sugerido por Tamasauskas (2000):

- a) **Equipamentos de manuseio contínuo:** incluem transportadores de correia, de caneca e transportadores que utilizam fusos, caracterizados pelo fluxo ininterrupto de material;
- b) **Equipamentos de manuseio descontínuo:** englobam talhas, monovias, guindastes e pontes rolantes, que operam em ciclos de carga e descarga.

A seleção do equipamento adequado impacta diretamente na eficiência operacional, na redução do esforço físico dos trabalhadores e no aumento da segurança das operações. Para ambientes com espaços delimitados e processos bem definidos, a utilização de pontes rolantes é considerada a solução mais coerente, pois permite o alcance total da área de trabalho ao transladar em um plano superior ao nível do solo, sem interferir na circulação de pessoas e outros maquinários.

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

As normas regulamentadoras vigentes dos equipamentos de movimentação, que definem os critérios e protocolos a serem observados, são a ABNT NBR 8400:2019, relacionada aos fatores de segurança a serem cumpridos, e a ABNT NBR 8800:2024, que estabelece regras para a fabricação de estruturas mistas ou somente de aço. Ressalta-se ainda, as normas internacionais da mesma área, a utilização das normas EN 1993-6 (Eurocode 3 – Cranes Steel Structures) e ASME B30.2, que estabelecem diretrizes para o dimensionamento, fabricação e inspeção de pontes rolantes.

Sordi (2017) e Lorenzi (2019), em seus respectivos estudos, buscaram dimensionar a viga principal de pontes rolantes, abordando critérios normativos vigentes relacionados à sua estrutura. Em uma análise mais aprofundada, Pereira (2022), em seu projeto, realizou este mesmo

dimensionamento, acrescentando a avaliação via softwares de engenharia em equipamentos de igual natureza, aliando as normas teóricas e ferramentas computacionais disponíveis para este fim.

Semelhantemente, Spinassé (2024) e Sampaio (2022) realizaram estudos mais completos, incluindo, além da viga, estruturas outras que compõem as pontes rolantes tais como cabeceiras e colunas, objetivando reforçar a relevância da compreensão de seu sistema estrutural como um todo.

Outros estudos verificaram a possibilidade de aprimoramento desse tipo de estrutura, como o de Hu *et al.* (2014), no qual se empregou modelagem numérica e análise por elementos finitos (ANSYS) para avaliar tensões e deformações em uma viga caixão de guindaste tipo pórtico sob diferentes condições de trabalho. A partir da identificação de regiões críticas e da formulação de uma função objetivo com restrições de desempenho estrutural, os autores conduziram uma etapa de otimização com apoio computacional (MATLAB), buscando parâmetros geométricos mais eficientes para a viga. Como resultado, o estudo evidencia que alterações controladas de geometria e reforços podem reduzir o consumo de material, desde que mantidos os limites de tensões e deslocamentos adotados, reforçando o FEM como ferramenta de apoio ao refinamento geométrico de vigas principais em equipamentos de movimentação de cargas.

Por sua vez, Pavlović *et al.* (2024) propuseram, em sua pesquisa, analisar os efeitos obtidos por meio do uso de seções assimétricas, realizando um estudo de caráter comparativo com vigas do tipo simétrico. Os resultados demonstraram que foi possível, por meio da assimetria, reduzir custos com material mantendo a eficiência e segurança estrutural, constituindo uma alternativa viável para a execução de projetos mais leves e eficientes.

Outras pesquisas, como as realizadas por Zuberi, Kai & Zhengxing (2008), examinaram também aspectos de flambagem e estabilidade global em vigas caixão, reforçando a teoria para um projeto seguro no longo prazo, onde foram identificados pontos críticos de concentração de tensões, apoiando assim o cálculo de fadiga e a segurança reforçada de estruturas metálicas.

Vale ressaltar que, aspectos inovadores nos sistemas estruturais das pontes rolantes como um todo vêm sendo discutidos. A exemplo do recente estudo de Korendiy, Kachur & Lanets (2024) que consistiu na análise de pontes rolantes sustentadas por seis colunas distintas, evidenciando a influência que a disposição estrutural exerce sobre a segurança e a rigidez da estrutura. Todos estes resultados convergem entre si em destacar a relevância de associar o cálculo das vigas, cabeceiras e colunas, possibilitando uma visão mais ampla e específica da ponte rolante como estrutura integrada.

Portanto, o conjunto de estudos apresentados acima aponta semelhanças na fundamentação baseada nas legislações em vigor, destacando-se as NBR 8400 e NBR 8800, complementadas por normas internacionais (EN 1993-6, ASME B30.2), assim como na junção de metodologias computacionais, dentre as quais se destacam a utilização de softwares específicos, como ANSYS e SolidWorks, aliados a metodologias analíticas, que possibilitam buscar alternativas para otimizar estas estruturas, reduzindo os custos e o peso, por exemplo, sem comprometer sua efetividade

e segurança.

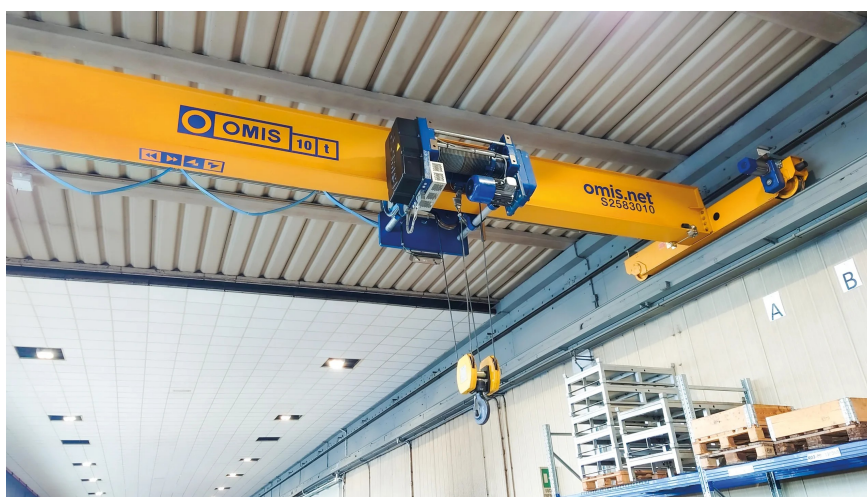
Considerando as evidências científicas relacionadas, a metodologia deste Trabalho de Conclusão de Curso baseia-se em cálculos realizados conforme a legislação vigente no Brasil com validação numérica via FEM para o dimensionamento de uma ponte rolante de 5 toneladas e 10 metros de vão, a ser utilizada em um desmanche legalizado. A teoria, aliada à adequação a normas pré-estabelecidas e prática tecnológica por meio de softwares atuais, conferirá a conformidade com requisitos técnicos em vigor, bem como a modernização, eficácia e efetividade do projeto a ser desenvolvido neste estudo.

2.3 PONTES ROLANTES

2.3.1 Ponte rolante univiga

Esse tipo de estrutura é assim denominado por ser composto somente por uma viga principal. Segundo Sampaio (2022), caracteriza-se por ser mais facilmente desenvolvida, porém traz como principal desvantagem uma capacidade reduzida de carga, geralmente de até 15 toneladas, por esse motivo, é indicada para carregamentos de médio porte. Essa única viga atua como trilho para a talha com trole, que por sua vez suspenderá a carga. A representação gráfica desta modalidade de ponte rolante está exposta na Figura 2:

Figura 2 – Exemplo de ponte rolante univiga.



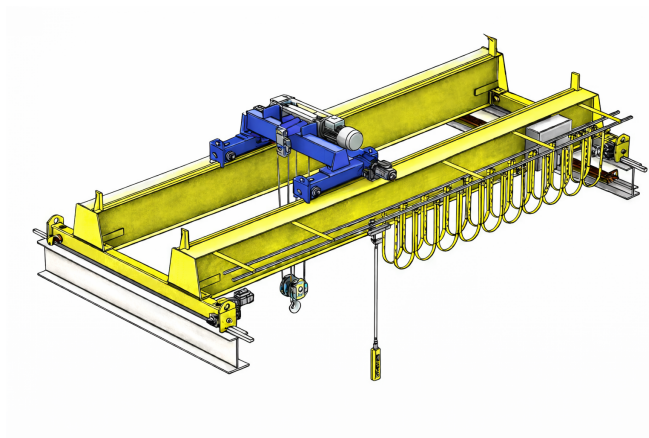
Fonte: OMIS (2026).

2.3.2 Ponte rolante biviga

As pontes rolantes biviga, por sua vez, suportam cargas de peso maior, frequentemente utilizadas em instalações industriais de grande porte, porquanto são constituídas de duas vigas principais. Segundo Sordi (2017), essas vigas possuem função de trilhos para o carro guincho, estrutura com função semelhante à das talhas, viabilizando assim a movimentação da carga. Para

maior capacidade de elevação de carga, o sistema biviga é o ideal, pois faz-se necessário um carro guincho maior e mais resistente, conforme visualiza-se na Figura 3:

Figura 3 – Ponte Rolante Bi-Viga



Fonte: Munck Cranes (2026) adaptada pelo autor (2026).

2.3.3 Ponte rolante suspensa

Nesta modalidade de ponte, a movimentação da viga principal ocorre sob o seu caminho de rolamento, oportunizando sua utilização em espaços com pé direito mais baixo por permitir seu posicionamento o mais próximo possível da cobertura da edificação em que será instalada. Seus trilhos podem ser apoiados nas colunas de concreto do ambiente no qual estão instaladas ou em colunas de aço específicas para esse fim (QUIRINO *et al.*, 2024).

Figura 4 – Ponte rolante suspensa



Fonte: OMIS (2026).

2.3.4 Ponte rolante apoiada

Diferentemente das estruturas do tipo suspensa, as pontes rolantes apoiadas caracterizam-se por sua movimentação, que ocorre acima dos trilhos de seu caminho de rolamento, sendo por este motivo uma opção factível para locais com altura reduzida sob o caminho de rolamento. Apoiam-se nas colunas ou pilares dos prédios e seus trilhos viabilizam o deslocamento horizontal da ponte, conferindo maior autonomia para o deslocamento de cargas. Este tipo de ponte rolante pode possuir vão de até 30 m e adapta-se bem aos locais em que é instalada.

2.3.5 Ponte rolante de parede

Também conhecida como ponte rolante console, a principal característica desta configuração de ponte é seu apoio em apenas uma de suas extremidades. Movimentam-se em nível próprio, o que torna propícia sua instalação em espaços mais restritos do que o necessário para uma ponte rolante de maior porte, por exemplo, e permite a operação conjunta com estruturas semelhantes (SAMPAIO, 2022). Segundo Passos (2011), de modo geral possuem capacidade de elevar até 5 toneladas a uma altura de até 10 metros.

Figura 5 – Ponte rolante de parede

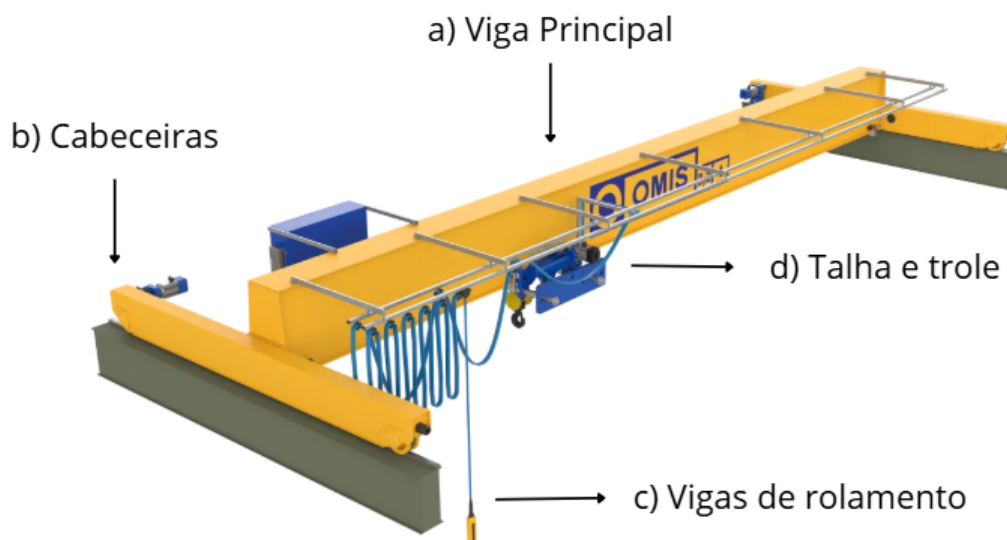


Fonte: Demag Cranes (2026).

2.4 COMPONENTES PRINCIPAIS DA PONTE ROLANTE

As pontes rolantes são compostas por diversos componentes citados dentro da disciplina de elementos de máquinas, como: vigas, colunas, eixos, rolamentos, parafusos e mecanismos de elevação de carga. Porém, serão abordados os componentes principais para o funcionamento da estrutura, como ilustra a figura 6:

Figura 6 – Principais elementos de uma ponte rolante.



Fonte: OMIS (2026) adaptada pelo autor (2026).

- a) **Viga Principal:** Segundo Sordi (2017), é a estrutura elementar da ponte, pois é nela em que ocorre o deslocamento do carro guincho ou talha com trole. É o componente da ponte que demanda maior esforço de carga. A viga principal é composta de chapas soldadas e os tipos comumente utilizados em pontes rolantes são as de perfil “I” ou do tipo caixão.
- b) **Cabeceiras:** Presas às extremidades da viga principal, as cabeceiras possuem rodas acionadas por motores e sistemas de transmissão.
- c) **Vigas de Rolamento:** Componente estrutural que sustenta os trilhos de translação da ponte rolante, recebendo as ações verticais, horizontais e dinâmicas provenientes das rodas da ponte e transmitindo esses esforços à estrutura de sustentação.
- d) **Talha e Trole:** Componente encarregado do içamento da carga, instalado sob a viga principal da estrutura, que, com o auxílio de um trolley — mecanismo de translação responsável por conduzir a talha ao longo da viga principal da ponte rolante —, viabiliza o deslocamento da carga suspensa.

2.5 FUNDAMENTOS DE MECÂNICA DOS SÓLIDOS

2.5.1 Esforços resultantes e equilíbrio

A análise estrutural de qualquer componente mecânico, como as vigas e colunas de uma ponte rolante, inicia-se pela aplicação das equações de equilíbrio de um corpo rígido ($\sum F = 0$, $\sum M_0 = 0$). Segundo Hibbeler (2010), o equilíbrio de um corpo deformável permite determinar as cargas internas resultantes, que consistem em força normal (N), força de cisalha-

mento (V) e momento fletor (M) atuantes em seções transversais específicas. NORTON (2013) ressalta que o uso de diagramas de corpo livre é essencial para definir com precisão a magnitude e a direção dessas solicitações antes do cálculo das tensões.

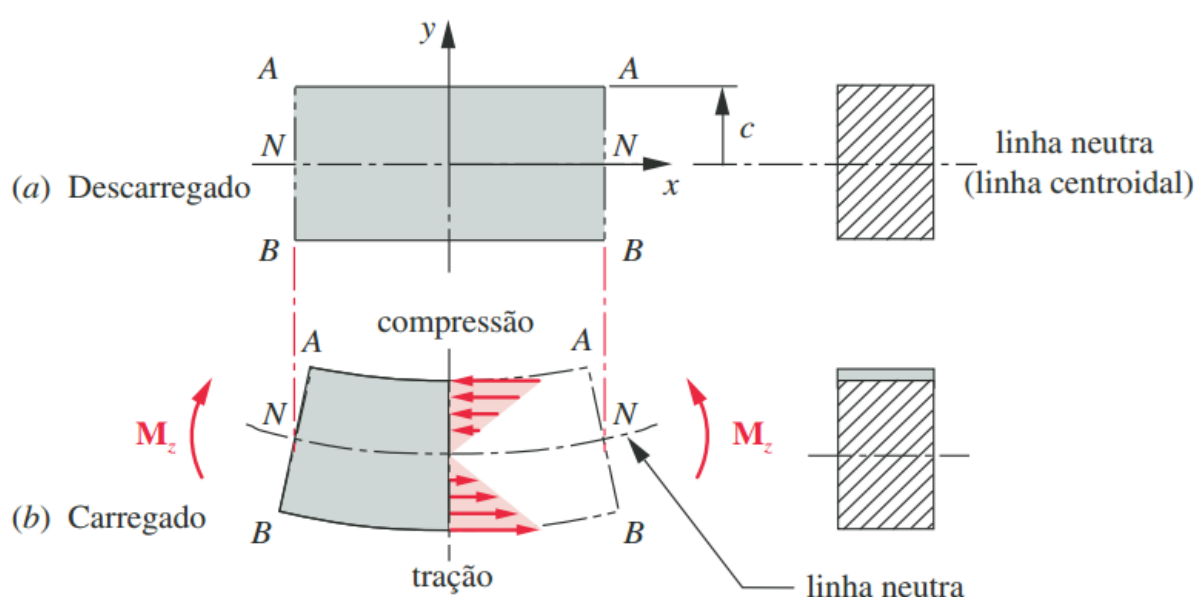
2.5.2 Tensão normal

Quando elementos estruturais como vigas são submetidos a carregamentos transversais, desenvolvem-se tensões normais decorrentes da flexão. Beer & Júnior (1995) citam que o comportamento do material sob carga deve ser avaliado por meio de testes de tração e compressão para medir a resistência e as alterações no corpo de prova. Para Hibbeler (2010), a intensidade da tensão normal varia linearmente em relação à linha neutra da viga, sendo nula nesta e máxima nas fibras mais externas. NORTON (2013) define que, para vigas retas, essa tensão é calculada pela equação 2.1, onde a segurança do projeto depende de manter esse valor abaixo do limite de escoamento do aço utilizado.

A tensão normal de flexão é dada por:

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \quad (2.1)$$

Figura 7 – Distribuição de tensões normais em uma viga submetida à flexão.



Fonte: NORTON (2013).

2.5.3 Tensão de cisalhamento transversal

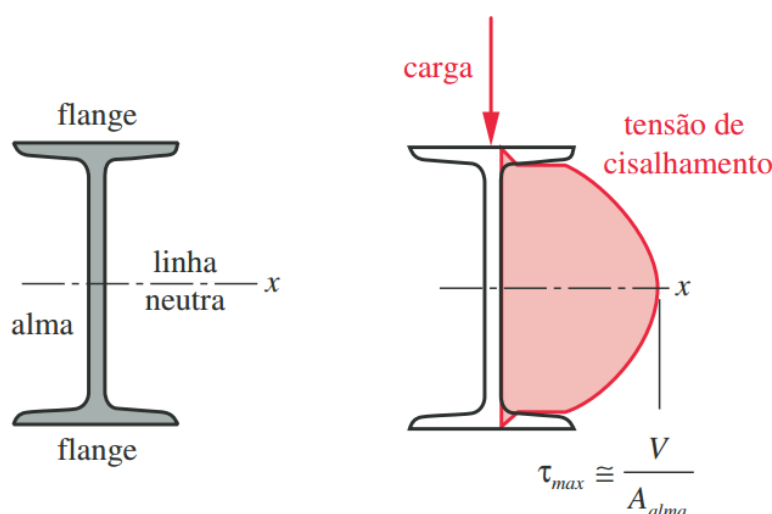
O esforço cortante atuante na viga gera uma distribuição de tensões de cisalhamento que atingem seu valor máximo na linha neutra da seção transversal. Conforme Hibbeler (2010), em seções de paredes finas ou perfis estruturais, a alma é o principal elemento responsável por resistir a essas tensões, calculadas pela equação 2.2.

NORTON (2013) complementa que, para vigas com relação comprimento-altura superior a 10, a flexão tende a ser o esforço predominante, mas a verificação do cisalhamento permanece vital em regiões próximas aos apoios.

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t} \quad (2.2)$$

A tensão de cisalhamento em perfis I pode ser representada a partir da Figura 8:

Figura 8 – Distribuição de tensão de cisalhamento em perfil I.



Fonte: NORTON (2013), adaptado pelo autor (2026).

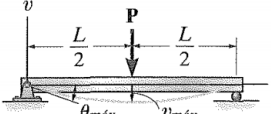
2.5.4 Deflexão e rigidez estrutural

Além da resistência, a rigidez é um critério importante no projeto de equipamentos de movimentação de carga, pois deslocamentos excessivos podem prejudicar o alinhamento e o funcionamento dos componentes móveis. Segundo Hibbeler (2010), a curva da linha elástica descreve a deflexão da viga, podendo ser determinada por métodos de integração, superposição ou por tabelas de deflexão.

NORTON (2013) complementa que, em máquinas, deflexões elásticas mesmo com tensões abaixo do limite de falha podem causar interferências entre partes móveis e desalinhamentos, justificando o controle de deslocamentos no projeto.

Para uma viga bi-apoiada com uma carga concentrada no centro, Hibbeler (2010) fornece a equação para o cálculo de deflexão de acordo com seu anexo C, como está exposto na imagem 9:

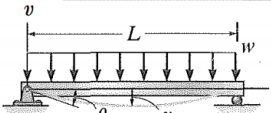
Figura 9 – Inclinação e deslocamento de vigas simplesmente apoiadas.

Viga	Inclinação	Deflexão	Curva da linha elástica
	$\theta_{\text{máx}} = \frac{-PL^2}{16EI}$	$v_{\text{máx}} = \frac{-PL^3}{48EI}$	$v = \frac{-Px}{48EI}(3L^2 - 4x^2)$ $0 \leq x \leq L/2$

Fonte: Hibbeler (2010) adaptado pelo autor (2026).

Pode-se considerar uma carga uniformemente distribuída para efeito do peso próprio de uma viga; a equação referente a esse tipo de carregamento está representada na Figura 10:

Figura 10 – Inclinação e deslocamento de vigas simplesmente apoiadas com carregamento uniformemente distribuído.

Inclinações e deslocamentos de vigas simplesmente apoiadas			
Viga	Inclinação	Deflexão	Curva da linha elástica
	$\theta_{\text{máx}} = \frac{-wL^3}{24EI}$	$v_{\text{máx}} = \frac{-5wL^4}{384EI}$	$v = \frac{-wx}{24EI}(x^3 - 2Lx^2 + L^3)$

Fonte: Hibbeler (2010) adaptado pelo autor (2026).

2.6 NORMAS DE PROJETO

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019b) traz orientações para projetar pontes rolantes e equipamentos de elevação, esta norma é de extrema relevância para nortear a classificação das cargas e verificação das estruturas, subdividindo-se nas 5 partes a seguir:

- Parte 1:** Classificação e cargas sobre as 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.

Como o projeto tem como objetivo o dimensionamento estrutural, será necessário utilizar somente as Partes 1 e 2 no presente trabalho.

Já a NBR 8800:2024 estabelece os critérios de estados-limites últimos e de serviço para elementos e sistemas de aço, contemplando membros tracionados, comprimidos, fletidos e submetidos a esforço combinado. Define também a estabilidade lateral de vigas e a classificação das seções transversais em compacta, semicompacta ou esbelta, critérios fundamentais para garantir a segurança contra fenômenos de instabilidade local e global. Adicionalmente, a norma prescreve os limites de deslocamento em serviço para diferentes aplicações, sendo sua utilização indispensável para validar a rigidez e a resistência da viga principal, das cabeceiras e da viga de rolamento do sistema projetado.

3 METODOLOGIA

De acordo com o item 1.1, esse trabalho tem por objetivo dimensionar os componentes de uma ponte rolante estruturada em aço a ser utilizada no desmonte e organização de peças automotivas e maquinário em um desmanche legalizado localizado em Teresina. Para tal, foram usadas por referência as normas regulamentadoras ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019b) e ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2024).

3.1 PARÂMETROS GERAIS DE PROJETO

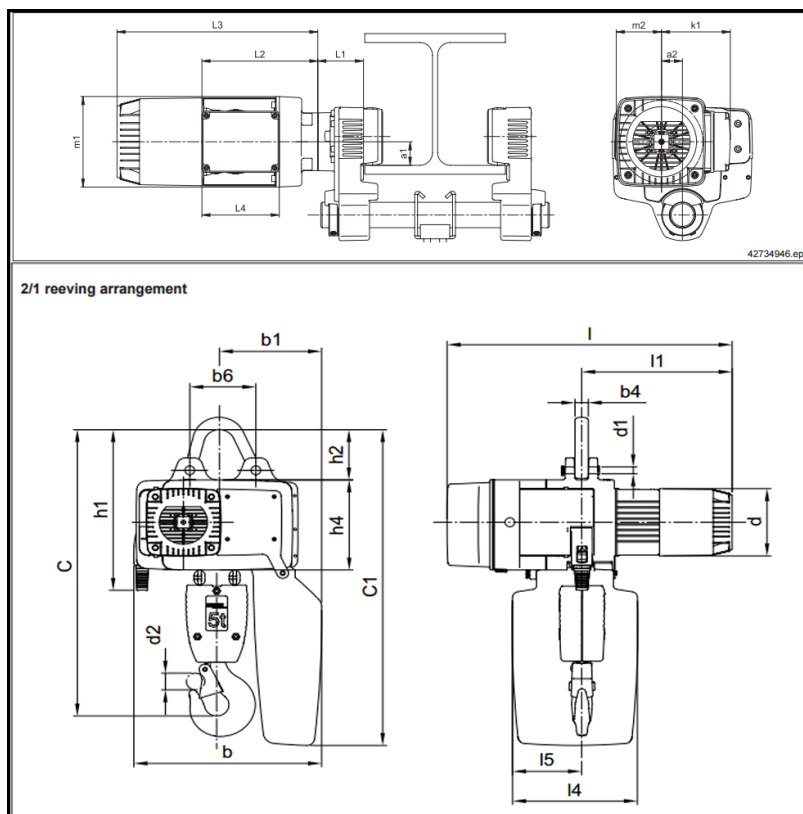
Os parâmetros gerais de projeto da ponte rolante foram definidos a partir de reuniões técnicas com a empresa solicitante, nas quais foram levantados os requisitos operacionais e as características do galpão a ser construído para abrigar o equipamento. A edificação, ainda em fase de projeto, destina-se ao armazenamento de peças automotivas de alto valor comercial, condição que orientou a definição das premissas de dimensionamento apresentadas a seguir:

- a) Ponte rolante univiga,
- b) Será alocada dentro de um galpão com dimensões 10,00 m de largura por 30,00 m de comprimento.
- c) Vão livre da viga principal (L): 10,00 [m];
- d) Carga nominal: a ponte rolante terá capacidade máxima de 5 [ton], porém na maioria das vezes as cargas içadas terão uma média entre 30% e 70% da sua capacidade de trabalho.
- e) Altura de elevação (H): 5 [m];
- f) Velocidade de elevação (V_l): 0,067 m/s;
- g) Velocidade de translação (V_t): 0,40 m/s;
- h) Material para estrutura: ASTM A572 Grau 50.

3.2 SELEÇÃO DO SISTEMA DE ELEVAÇÃO DA CARGA

O mecanismo de elevação e movimentação de carga foi definido de acordo com a necessidade do projeto. Optou-se por utilizar a talha elétrica da marca Demag modelo DC-PRO 25 com dois ramais de corrente que possui capacidade de elevação de até 5000 kg e o trole modelo EU56 que possui capacidade de carga máxima 5600 kg. O mecanismo de elevação é apresentado na Figura 11:

Figura 11 – Conjunto talha e trole



Fonte: Catálogo (Demag Cranes & Components GmbH, 2024).

3.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PONTE ROLANTE

Para a realização de um projeto de equipamento de elevação e movimentação de carga é necessário especificar dois fatores:

- Classe de utilização:** conforme especificado em 6.1.3.2 da NBR 8400-1:2019.
- Espectro de carga:** conforme especificado em 6.1.3.3 da NBR 8400-1:2019.

3.3.1 Classe de utilização

A determinação da classe de utilização de um equipamento de elevação leva em consideração sua duração de uso; realiza-se, então, o levantamento do número de ciclos que o equipamento executa durante sua vida útil. Define-se por ciclo a sequência de operações que o equipamento realiza, desde a elevação da carga até o acoplamento de uma nova carga ao gancho.

Para determinar o número de ciclos de elevação $n_{\text{máx}}$, é necessário estabelecer:

- O número médio de ciclos de elevação que o equipamento terá nos seus dias trabalhados;
- O número médio de dias de utilização por ano;

- c) A quantidade total de anos que o equipamento poderá ser utilizado até a necessidade de sua substituição.

A duração total do uso é calculada a partir do valor guia, que se inicia no momento que o mecanismo de elevação de carga é posto em operação e finaliza no momento que a operação é encerrada ou ocorre sua substituição. Os valores guias são divididos em 10 classes de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1 – Classes de utilização

Símbolo	Duração total do uso (número $n_{\text{máx.}}$ de ciclos de elevação)
U0	$n_{\text{máx.}} < 16\,000$
U1	$16\,000 < n_{\text{máx.}} < 32\,000$
U2	$32\,000 < n_{\text{máx.}} < 63\,000$
U3	$63\,000 < n_{\text{máx.}} < 125\,000$
U4	$125\,000 < n_{\text{máx.}} < 250\,000$
U5	$250\,000 < n_{\text{máx.}} < 500\,000$
U6	$500\,000 < n_{\text{máx.}} < 1\,000\,000$
U7	$1\,000\,000 < n_{\text{máx.}} < 2\,000\,000$
U8	$2\,000\,000 < n_{\text{máx.}} < 4\,000\,000$
U9	$4\,000\,000 < n_{\text{máx.}}$

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019b) adaptada pelo autor (2026).

A partir dos dados fornecidos pela empresa solicitante do projeto, a ponte deve realizar em média 15 ciclos por dia, trabalhando por 280 dias por ano no período de 30 anos. Portanto, $n_{\text{máx.}}$ equivale a 126 000 ciclos, correspondendo à classe U4.

3.3.2 Espectro de carga

O número total de cargas içadas durante a duração total do uso do equipamento é caracterizado pelo espectro de carga. Sendo uma função $y=f(x)$, onde x expressa a fração da duração total do uso, e y a razão da carga içada para a carga nominal de trabalho.

O fator de espectro é encontrado de maneira aproximada com a equação 3.1:

$$\begin{aligned}
 k_p &= \left(\frac{m_{1\ell}}{m_{1\text{máx.}}} \right)^3 \left(\frac{n_1}{n_{\text{máx.}}} \right) + \left(\frac{m_{12}}{m_{1\text{máx.}}} \right)^3 \left(\frac{n_2}{n_{\text{máx.}}} \right) + \dots + \left(\frac{m_{1r}}{m_{1\text{máx.}}} \right)^3 \left(\frac{n_r}{n_{\text{máx.}}} \right) \\
 &= \sum_{i=1}^r \left[\left(\frac{m_{1i}}{m_{1\text{máx.}}} \right)^3 \left(\frac{n_i}{n_{\text{máx.}}} \right) \right].
 \end{aligned} \quad (3.1)$$

A partir dos dados operacionais fornecidos pela empresa, a ponte operará em três níveis de carregamento distintos: durante 60 % do tempo com $\frac{1}{5}$ da carga nominal, durante 20 % do

tempo com $\frac{2}{5}$ da carga nominal e durante 20 % do tempo com toda sua capacidade nominal. Aplicando esses valores à equação:

$$k_p = \left(\frac{1}{5}\right)^3 \times \frac{3}{5} + \left(\frac{2}{5}\right)^3 \times \frac{1}{5} + \left(\frac{5}{5}\right)^3 \times \frac{1}{5} = 0,008 \times 0,6 + 0,064 \times 0,2 + 1,000 \times 0,2 = 0,2176$$

Com o valor encontrado de $k_p = 0,2176$ a partir da equação, foi definido o fator de espectro Q2 de acordo com a tabela 2:

Tabela 2 – Classes de espectro

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

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019b) adaptada pelo autor (2026).

3.3.3 Classificação dos equipamentos de elevação em grupos

A classificação dos equipamentos conforme seu Espectro de Carga e Classe de Utilização estão expressos na Tabela 3:

Tabela 3 – Grupos de equipamentos

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: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019b) adaptada pelo autor (2026).

Com a classe de utilização do equipamento U4 e o espectro de carga Q2 é possível determinar o grupo do equipamento como **A4** após a análise da tabela 3.

Conforme o exposto na tabela 4, a mesma estrutura pode ser utilizada de múltiplas formas, porém, quando vários grupos são indicados como apropriados para um determinado tipo de equipamento, é necessário verificar em quais classes a duração total do uso calculada do equipamento e o espectro de carga estão classificados e, conseqüentemente, em qual grupo se enquadram.

Tabela 4 – Exemplos de classificação de equipamentos em grupo

Ref.	Tipo de equipamento	Detalhes relacionados à natureza do uso	Grupo do equipamento	Classe da elevação
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; equipamentos industriais em geral	Gancho	A3–A5	HC2/HC3
5	Equipamentos para carregamento de fundição	Garra ou eletroímã	A6–A8	HC3/HC4
6	Equipamentos para manuseio de panela de metal líquido	–	A6–A8	HC2/HC3
7	Ponte rolante estripadora	–	A8	HC3/HC4
8	Equipamentos para decapagem; equipamentos para carregamento de forno elétrico	–	A8	HC4
9	Equipamentos para forjaria	–	A6–A8	HC4
10	Equipamentos para contêineres (pontes e pórticos rolantes)	Gancho ou “spreader” (barra de carga)	A5–A6	HC2
11	Equipamentos com dispositivo de içamento; equipamento para descarregamento de navio com dispositivo de içamento	Garra, caçamba, tenaz ou eletroímã	A6–A8	HC3/HC4
12	Equipamentos para doca seca; equipamentos para estaleiro naval	Gancho	A3–A5	HC2
13	Equipamentos portuários	Gancho	A5–A6	HC2
14	Equipamentos portuários com dispositivo de içamento	Garra, caçamba, tenaz ou eletroímã	A6–A8	HC3/HC4
15	Guindaste giratório	Gancho	A2–A3	HC1/HC2

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019b) adaptado pelo autor (2026).

3.4 CARREGAMENTOS CONSIDERADOS NO PROJETO DE ESTRUTURAS

A norma 8400:2019 afirma que os cálculos estruturais são determinados de acordo com as tensões desenvolvidas em um equipamento durante a sua operação, portanto, as seguintes cargas são utilizadas para calcular as tensões:

- a) Cargas principais, nas suas condições mais desfavoráveis, atuantes na estrutura do equipamento;
- b) Cargas resultantes de movimentos verticais;

- c) Cargas resultantes de movimentos horizontais;
- d) Cargas em razão de efeitos climáticos.

3.4.1 Cargas principais

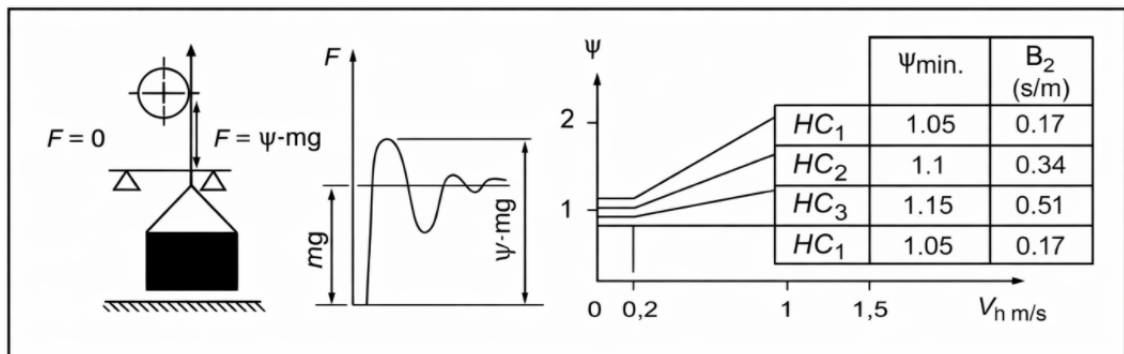
- a) As cargas em razão do peso morto dos componentes: S_G ;
- b) As cargas em razão da carga nominal do equipamento: S_L ;
- c) Todas as partes móveis em sua posição mais desfavorável.

3.4.2 Carga devido ao movimento vertical

Com o objetivo de considerar as oscilações causadas pela elevação da carga, é necessário multiplicá-las por um fator chamado de coeficiente dinâmico Ψ .

No içamento das cargas, deve-se levar em consideração os efeitos dinâmicos de transferência da carga do solo para o equipamento, multiplicando o coeficiente gravitacional pela massa e pelo coeficiente dinâmico Ψ , de acordo com a figura 12:

Figura 12 – Fator Ψ



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019b) adaptada pelo autor (2026).

O fator Ψ pode ser obtido através da equação abaixo:

$$\Psi = \Psi_{min} + \beta_2 V_h \quad (3.2)$$

Onde os valores de Ψ_{min} e β_2 são fornecidos na tabela presente na figura 12 que classifica seus equipamentos segundo as classes de elevação HC1 a HC4. Os valores de V_h , expressos em (m/s), são obtidos em função da velocidade máxima de elevação da carga $V_{h,max}$, que pode ser encontrada no catálogo da talha elétrica Demag.

Levando em consideração a classe de elevação do equipamento em estudo HC2 e o valor de $V_h = 0,067$ (m/s) fornecido no catálogo técnico do conjunto talha e trole, é possível encontrar o valor de 1,12 para o coeficiente dinâmico Ψ .

3.4.3 Cargas devido aos movimentos horizontais

A norma NBR 8400-1:2019 traz as cargas devido aos movimentos horizontais, efeitos de inércia relacionados à aceleração ou desaceleração transversal, efeitos da força centrífuga, as reações transversais que são resultadas da ação de enviesamento ou rolagem e os efeitos de amortecimentos. Porém, para o presente caso é necessário utilizar as duas cargas horizontais mais relevantes excluindo os efeitos de choque.

3.4.3.1 Efeitos de inércia devido a aceleração e frenagem

No que tange ao dimensionamento estrutural frente aos deslocamentos longitudinais e transversais, a análise deve considerar as forças horizontais que atuam de forma paralela aos trilhos, aplicadas diretamente no ponto de contato das rodas motoras.

A determinação desses esforços baseia-se nos intervalos de tempo requeridos para os processos de aceleração ou frenagem, os quais variam conforme as particularidades operacionais e as velocidades nominais de projeto.

A partir da definição desses tempos, obtém-se o valor da aceleração média (expressa em m/s^2), parâmetro essencial para o cálculo da força de inércia em função das massas totais mobilizadas durante o movimento.

Caso os parâmetros de velocidade e aceleração não sejam fornecidos previamente pelo usuário, a norma orienta a seleção de tempos de aceleração condizentes com a natureza da aplicação, distinguindo por exemplo, equipamentos de velocidades baixas em percursos longos daqueles de velocidades moderadas a altas para operações convencionais, segundo a tabela 5.

Tabela 5 – Tempos de aceleração e valores da aceleração

Velocidade a ser atingida (m/s)	Velocidade baixa e moderada com deslocamento longo		Velocidade moderada e alta (aplicações normais)		Alta velocidade com acelerações altas	
	Tempo de aceleração (s)	Aceleração (m/s ²)	Tempo de aceleração (s)	Aceleração (m/s ²)	Tempo de aceleração (s)	Aceleração (m/s ²)
4,00	–	–	8,0	0,50	6,0	0,67
3,15	–	–	7,1	0,44	5,4	0,58
2,50	–	–	6,3	0,39	4,8	0,52
2,00	9,1	0,22	5,6	0,35	4,2	0,47
1,60	8,3	0,19	5,0	0,32	3,7	0,43
1,00	6,6	0,15	4,0	0,25	3,0	0,33
0,63	5,2	0,12	3,2	0,19	–	–
0,40	4,1	0,098	2,5	0,16	–	–
0,25	3,2	0,078	–	–	–	–
0,16	2,5	0,064	–	–	–	–

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019b) adaptada pelo autor (2026).

É fundamental observar, contudo, que a força horizontal calculada deve respeitar limites normativos de segurança: o valor adotado não pode ser inferior a $\frac{1}{30}$ nem exceder $\frac{1}{4}$ da carga total que incide sobre as rodas responsáveis pelo acionamento ou pela frenagem do equipamento.

Com base nos requisitos operacionais estabelecidos, definiu-se que a ponte rolante operará com uma velocidade de translação de 0,40 m/s. Ademais, sua operação será em condições normais para velocidades moderadas e altas, que segundo a tabela 5, determina um tempo de aceleração (T_m) de 2,5 s e uma aceleração média (J_m) de 0,16 m/s².

A NBR 8400 (2019), em seu Anexo B, aborda os procedimentos a serem adotados sequencialmente a fim de calcular os requerimentos impostos pela aceleração dos movimentos horizontais. Inicialmente, obtém-se o peso total de todos os elementos constituintes da ponte rolante, excluindo a carga, o que resulta na massa equivalente m , conforme o modelo estrutural apresentado na Seção 4.1, sendo que, neste estudo, obteve-se um peso total da estrutura da ponte de 1356,4 kg. Considerando que o peso do conjunto talha-trole é de 280 kg, a massa equivalente totaliza 1636,4 kg.

Posteriormente, conforme o Anexo B.1.2 da NBR 8400-1:2019, a força de inércia média relativa à própria carga (F_{cm}) é obtida multiplicando a massa da carga m_1 pela aceleração média J_m , conforme a Equação 3.3. Para este projeto, obtém-se $F_{cm} = 5000 \times 0,16 = 800 \text{ N} = 0,80 \text{ kN}$.

$$F_{cm} = m_1 J_m \quad (3.3)$$

Em sequência, calcula-se o período de oscilação T_1 , conforme demonstrado na Equação 3.4, na qual a variável g corresponde à aceleração da gravidade em metros por segundo ao quadrado (m/s^2) e a variável l representa o comprimento de suspensão da carga em sua altura mais elevada, expresso em metros. Neste projeto, conforme especificado na Seção 3.1, utilizou-se comprimento de suspensão de carga de 5 m, obtendo-se, assim, um resultado de 4,49 s para o período de oscilação.

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (3.4)$$

Subsequentemente, determina-se o coeficiente dinâmico relacionado à aceleração de movimentos horizontais Ψ_H . Para tal, é necessário obter os valores de μ e de β , definidos pelas equações 3.5 e 3.6, respectivamente:

$$\mu = \frac{m_1}{m} \quad (3.5)$$

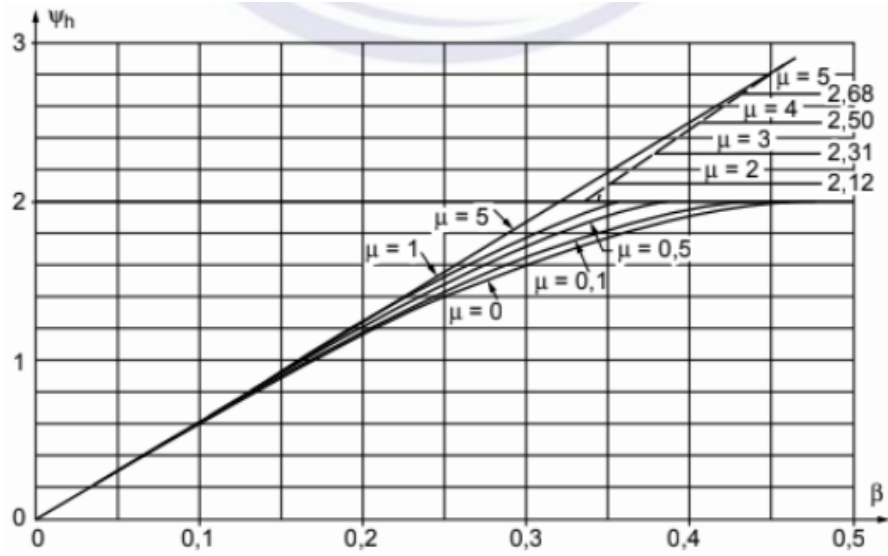
$$\beta = \frac{T_m}{T_1} \quad (3.6)$$

Aplicando os dados do projeto:

$$\mu = \frac{5000}{1636,4} \approx 3,06 \quad \beta = \frac{2,5}{4,49} \approx 0,56$$

Como $\mu > 1$ e β supera o valor crítico β_{crit} correspondente, o coeficiente Ψ_H atinge seu valor máximo, determinado pela equação B.34 do Anexo B da NBR 8400-1:2019 e confirmado pela figura 13:

$$\Psi_{H,max} = \sqrt{2 + \mu + \frac{1}{\mu}} = \sqrt{2 + 3,06 + \frac{1}{3,06}} = \sqrt{5,39} \approx 2,32$$

Figura 13 – Fator Ψ_H 

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019b) adaptada pelo autor (2026).

A força horizontal que considera os efeitos dinâmicos da carga é calculada pela equação 3.7:

$$S_{H1} = \Psi_H \times F_{cm} = 2,32 \times 0,80 = 1,86 \text{ kN} \quad (3.7)$$

Entretanto, a NBR 8400-1:2019 (Seção 6.2.3.1.1) impõe que a força horizontal não pode ser inferior a $\frac{1}{30}$ da carga total sobre as rodas acionadas. Considerando a carga vertical total no Caso I:

$$S_{H1, \min} = \frac{M_x (S_G + \Psi S_L)}{30} = \frac{1,08 \times 58,07}{30} = \frac{62,72}{30} = 2,09 \text{ kN}$$

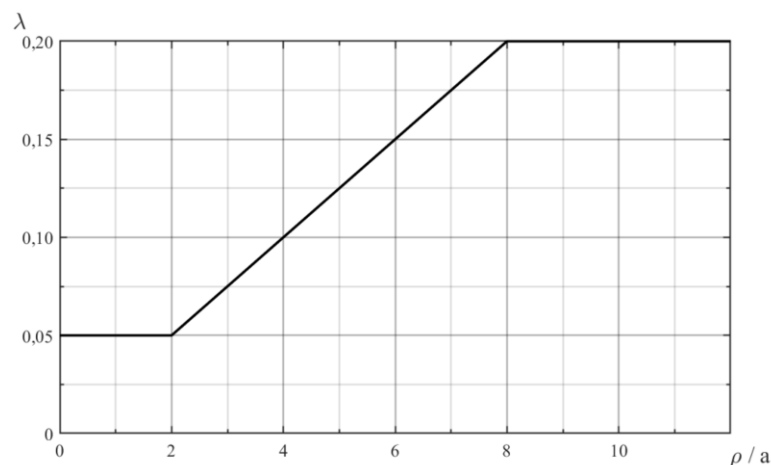
Como $1,86 \text{ kN} < 2,09 \text{ kN}$, adota-se o limite mínimo normativo:

$$S_{H1} = 2,09 \text{ kN}$$

O valor adotado está dentro do intervalo normativo $\left[\frac{1}{30}; \frac{1}{4} \right]$ da carga nas rodas, correspondente a $[2,09 \text{ kN}; 15,68 \text{ kN}]$.

3.4.3.2 Cargas transversais resultantes do movimento do equipamento

A norma NBR 8400-1:2019 orienta que quando duas rodas ou dois truques rolam ao longo de um trilho, deve-se levar em consideração o binário formado pelas forças horizontais perpendiculares ao mesmo. As forças resultantes desse binário são encontradas através da multiplicação da carga vertical exercida sobre as rodas pelo coeficiente λ , que está relacionado a proporção do vão p para a distância entre eixos como está exposto na figura 14.

Figura 14 – Coeficiente λ 

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019b) adaptada pelo autor (2026).

Como o presente mecanismo possui somente duas rodas por trilho, a distância (a) considerada é de 1,2 metros e o vão da ponte rolante é de 10,0 metros de acordo com a seção 3.1. Logo a relação $\frac{\rho}{a}$ é igual a $\approx 8,33$ e consequentemente λ terá o valor de 0,20, conforme leitura da figura 14. A carga vertical exercida sobre as rodas, conforme a Seção 6.2.3.3 da NBR 8400-1:2019, corresponde à soma das cargas principais com o coeficiente dinâmico, sem aplicação de M_x :

$$S_G + \Psi \cdot S_L = 3,13 + 1,12 \times 49,05 = 58,07 \text{ kN}$$

Portanto, a força resultante dos efeitos transversais é:

$$S_{H2} = \lambda \times (S_G + \Psi \cdot S_L) = 0,20 \times 58,07 = \mathbf{11,61 \text{ kN}}$$

3.4.4 Casos de solicitação

A norma NBR 8400-1 expõe que existem três casos diferentes a serem considerados para efeito de dimensionamento das cargas:

1. Caso I: serviço normal sem vento;
2. Caso II: serviço normal com vento limite de serviço;
3. Caso III: Solicitações excepcionais.

Por se tratar do projeto de um mecanismo a ser utilizado dentro de um galpão fechado sem ação direta do vento, será considerado o caso I, (serviço normal sem vento). Serão aplicadas as cargas estáticas devido ao peso próprio S_G que é de 3,13 kN — valor correspondente ao

peso concentrado do conjunto talha-trole (280 kg), cuja parcela distribuída do peso da viga principal é modelada separadamente como carga uniformemente distribuída de 110 kg/m no software SkyCiv —, as cargas de serviços S_L no valor de 49,05 kN multiplicada pelo coeficiente dinâmico Ψ encontrado na seção 3.4.2 de 1,12 e as duas cargas horizontais mais desfavoráveis, S_{H1} correspondendo a 2,09 kN e S_{H2} a 11,61 kN. O cálculo para o dimensionamento é exposto na equação 3.8:

$$M_x(S_G + \Psi S_L + S_H) \quad (3.8)$$

Todas as cargas necessárias para o dimensionamento do caso I são multiplicadas por um coeficiente de amplificação M_x , que depende do grupo do equipamento encontrado na seção 3.3.3. Para o grupo A4 o coeficiente de amplificação será de 1,08 de acordo com a tabela 6.

Tabela 6 – Valores do coeficiente de amplificação M_x

Grupo do equipamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
M_x	1,00	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17	1,20

Fonte: ABNT NBR 8400-1:2019.

3.5 VERIFICAÇÃO QUANTO AO ESCOAMENTO E ESTABILIDADE

3.5.1 Propriedades mecânicas do material

Como citado na Seção 3.1, o aço escolhido para fabricação da estrutura é o ASTM A572 Grau 50. A Figura 15 apresenta o limite de escoamento e o limite de resistência do material garantido pelo fabricante:

Figura 15 – Propriedades mecânicas de chapas para fabricação da estrutura.

PROPRIEDADES MECÂNICAS

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

Fonte: Catálogo Gerdau (2018).

3.5.2 Verificação quanto ao limite elástico

Na verificação quanto à tensão admissível σ_a , a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019a) apresenta dois procedimentos de cálculo. Porém, para o projeto em questão será utilizado o caso onde o aço não ultrapasse 70% tanto da sua tensão de escoamento σ_E quanto da sua tensão de ruptura σ_R . O coeficiente v_E é definido de acordo com o caso de

solicitação da estrutura; para o caso I, terá v_E correspondente a 1,5 e tensão admissível igual a 230 MPa, de acordo com a tabela 7:

Tabela 7 – Coeficiente de segurança em relação ao limite elástico do material

	Caso I	Caso II	Caso III
Valores de v_E	1,5	1,33	1,1
Tensão admissível σ_a	$\sigma_E/1,5$	$\sigma_E/1,33$	$\sigma_E/1,1$

Fonte: ABNT NBR 8400-2:2019, adaptado pelo autor (2026).

3.5.3 Tensão admissível ao cisalhamento

A tensão admissível ao cisalhamento τ_a é definida de acordo com a equação 3.9:

$$\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}} \quad (3.9)$$

Com $\sigma_a = 230$ MPa, aplicando a equação 3.9:

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

3.6 TENSÕES COMBINADAS

Conforme recomenda a ABNT NBR 8400-2:2019 em sua seção 5.2.1.3, pontos estruturais submetidos a estados combinados de tensão devem ser validados em duas etapas. Inicialmente, as tensões normais (σ_x , σ_y) e a tensão de cisalhamento (τ_{xy}) devem ser individualmente inferiores às tensões admissíveis correspondentes (σ_a e τ_a). Posteriormente, deve-se verificar a tensão equivalente (σ_{cp}) baseada na Teoria da Elasticidade, garantindo que:

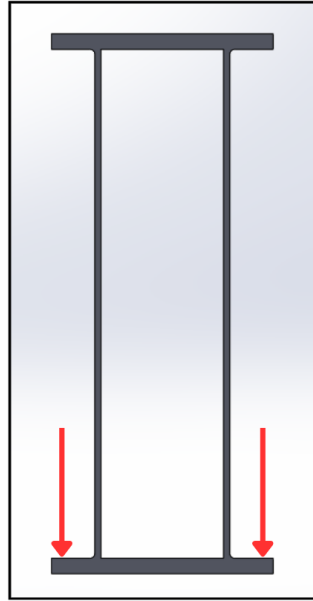
$$\sigma_{cp} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leq \sigma_a \quad (3.10)$$

De acordo com a normativa, a adoção dos valores máximos de cada componente de tensão, mesmo que não ocorram simultaneamente, é considerada um método de cálculo simples e aceitável por ser conservador.

3.7 RESISTÊNCIA DA ABA INFERIOR

No dimensionamento da viga principal de uma ponte rolante é necessário verificar a tensão principal resultante do esforço vertical proveniente das rodas do trole em operação na sua aba inferior. Devido a isso, Rudenko (1976) orienta que essa tensão pode ser obtida pela equação 3.11, onde P é a carga vertical máxima no ponto de contato da roda do trole dividido pelo número de rodas. Como a tensão admissível σ_a já foi determinada, é possível encontrar a espessura mínima t isolando essa variável na equação 3.11.

Figura 16 – Representação da pressão local na aba do perfil.



Fonte: Feito pelo autor (2026).

$$\sigma_L = 3,05P/t^2 \quad (3.11)$$

Isolando t na equação 3.11, obtém-se:

$$t = \sqrt{\frac{3,05P}{\sigma_L}} \quad (3.12)$$

A carga vertical majorada do Caso I, calculada na Seção 3.4.3.1, é de $M_x(S_G + \Psi S_L) = 62,72$ kN. Dividindo esse valor pelo número de rodas do trole (4), obtém-se a carga vertical máxima por roda:

$$P = \frac{62,72}{4} = 15,68 \text{ kN} = 15\,680 \text{ N}$$

Com $\sigma_L = \sigma_a = 230$ MPa e $P = 15\,680$ N, aplicando a equação 3.12:

$$t = \sqrt{\frac{3,05 \times 15\,680}{230}} = \sqrt{207,93} \approx 14,42 \text{ mm}$$

Portanto, a espessura mínima da aba inferior do perfil para resistir à pressão local da roda do trole deve ser de, no mínimo, **14,42 mm**.

3.8 VERIFICAÇÃO QUANTO À DEFLEXÃO

A ABNT NBR 8800:2024 orienta na seção de estado limite de serviço a respeito do deslocamento máximo permitido para uma viga principal de ponte rolante simplesmente apoiada.

No dimensionamento em questão será considerada uma viga de uso moderado, devido à sua utilização ser em momentos pontuais do dia e em 75% das vezes com a carga bem abaixo da nominal, onde o deslocamento vertical máximo permitido será de $L/750$, sendo L o valor do vão livre da viga, de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8 – Deslocamentos máximos

Descrição	δ^a
Travessas de fechamento	$L/250^b$
Terças de cobertura ^d	$L/250^c$
Vigas de cobertura ^d	$L/250$
Vigas de piso	$L/350^e$
Vigas que suportam pilares	$L/500^e$
Pilares de fechamento em relação à base	$H/250$
Pilares de fechamento entre os apoios	$L/250$
Vigas de rolamento (para pontes rolantes classificadas conforme o regime de trabalho) ^j :	
— Deslocamento vertical:	
— Leve ou de uso eventual e moderado	$L/750^f$
— Pesado	$L/1000^f$
— Severo	$L/1250^f$
— Deslocamento horizontal:	
— Todos os regimes de trabalho, exceto o severo	$L/500$
— Severo	$L/750$
Galpões em geral e edificações de um pavimento:	
— Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/300$
— Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	$H/500^{g,h}$
Edificações de dois ou mais pavimentos:	
— Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/400$
— Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$h/500^i$

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2024) adaptado pelo autor (2026).

3.9 PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL E VALIDAÇÃO NUMÉRICA

Após a majoração das ações e a definição das propriedades mecânicas do material (aço ASTM A572 Grau 50) descritas nas Seções 3.4 e 3.5, procedeu-se à análise das solicitações internas. A determinação dos esforços de força cortante ($V_{\max}$) e momento fletor ($M_{\max}$) foi realizada com auxílio do software Ftool, simulando-se as posições de carregamento mais desfavoráveis para cada componente estrutural.

O pré-dimensionamento das vigas fundamentou-se em dois critérios normativos essenciais:

Resistência ao escoamento: Determinou-se o módulo de resistência elástico mínimo ($W_{x,nec}$) necessário para assegurar que as tensões normais de flexão não ultrapassassem a tensão admissível do material ($\sigma_a = 230$ MPa), evitando o surgimento de deformações plásticas.

Critério de rigidez (serviço): Calculou-se o momento de inércia (I_x) requerido para manter as deflexões máximas dentro dos limites impostos pela NBR 8800:2024, especificamente o limite de $L/750$ para deflexões verticais em regime de uso moderado.

A seleção das bitolas foi realizada mediante consulta ao catálogo de perfis estruturais da Gerdau, confrontando-se os valores de W_x e I_x calculados analiticamente com as propriedades geométricas dos perfis comerciais disponíveis.

Na sequência, a estrutura foi submetida a uma validação numérica via Método dos Elementos Finitos (MEF) no software ANSYS. No pré-processamento, a geometria foi discretizada em uma malha predominantemente hexaédrica de 8 nós, visando uma melhor estimativa das tensões de flexão e evitando a rigidez excessiva de elementos lineares simples. As condições de contorno estabeleceram vínculos de apoio simples (biapoiada) para a viga principal. O carregamento incluiu a ação do peso próprio (S_G) por meio da aceleração gravitacional, além das cargas nodais equivalentes que representam a carga de serviço majorada pelo coeficiente dinâmico ($\Psi \cdot S_L$). Realizou-se um teste de convergência de malha com refinamento localizado nas zonas de descarga, garantindo que a diferença entre os resultados numéricos e analíticos fosse inferior a 3%. Por fim, no pós-processamento, foram extraídos os mapas de tensão normal, tensão cisalhante, tensão equivalente de Von Mises e os deslocamentos verticais e laterais, para a validação dos Estados-Limites de Serviço.

4 RESULTADOS

Nesta etapa, são definidos os perfis estruturais que irão compor a viga principal, cabeceiras e vigas de rolamento da ponte rolante, buscando garantir que a estrutura apresente resistência, estabilidade e segurança compatíveis com as condições de operação previstas.

Levando em consideração a metodologia apresentada, os elementos estruturais terão os seguintes comprimentos destravados, conforme apresentado na Tabela 9:

Tabela 9 – Comprimento destravado dos elementos estruturais

Elementos Estruturais	Comprimentos destravados (m)
Viga Principal	10
Cabeceiras	1,2
Viga de Rolamento	5

Fonte: Feito pelo autor (2026).

4.1 VIGA PRINCIPAL

Para o pré-dimensionamento da viga principal foi utilizado o software SkyCiv, devido ao perfil caixão ser fabricado sob medida, já que os catálogos dos fabricantes não possuem os dados necessários para o dimensionamento do perfil. O uso do software possibilita tanto o dimensionamento otimizado da área de seção transversal quanto a obtenção dos dados necessários, conforme exposto na Tabela 10:

Tabela 10 – Propriedades da seção transversal da viga principal

Propriedade	Valor
Tipo de perfil	Perfil caixão
Altura (h)	520 mm
Área (A)	14 872,59 mm ²
Centroide (C_y)	260 mm
Mom. de inércia (I_x)	669,691 × 10 ⁶ mm ⁴
Mod. de elasticidade (E)	200 000 MPa
Material	ASTM 572 Grau 50

Fonte: SkyCiv, adaptado pelo autor (2026).

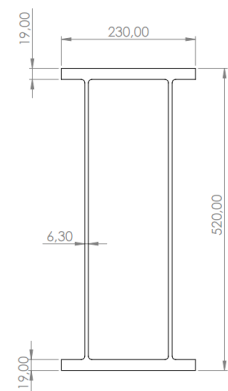


Figura 17 – Esboço da seção transversal da viga principal

O perfil pré-dimensionado tem as seguintes características geométricas como ilustra a figura 17: mesa com 230 mm de largura e 19 mm de espessura, alma com largura de 482 mm e

espessura de 6,3 mm. Para a espessura tanto da alma quanto da mesa, foram considerados os valores oferecidos pelo catálogo do fabricante.

Para a análise dos momentos da viga principal, foi considerada a carga nas duas posições mais críticas. A primeira posição foi a carga no centro do vão, na qual tanto a tensão normal quanto a deflexão são máximas, e a segunda posição será próxima das cabeceiras, onde a reação em um dos apoios será a máxima possível. A segunda posição servirá para determinar a carga máxima de serviço solicitada nas cabeceiras. Os resultados obtidos no software podem ser observados na Tabela 11:

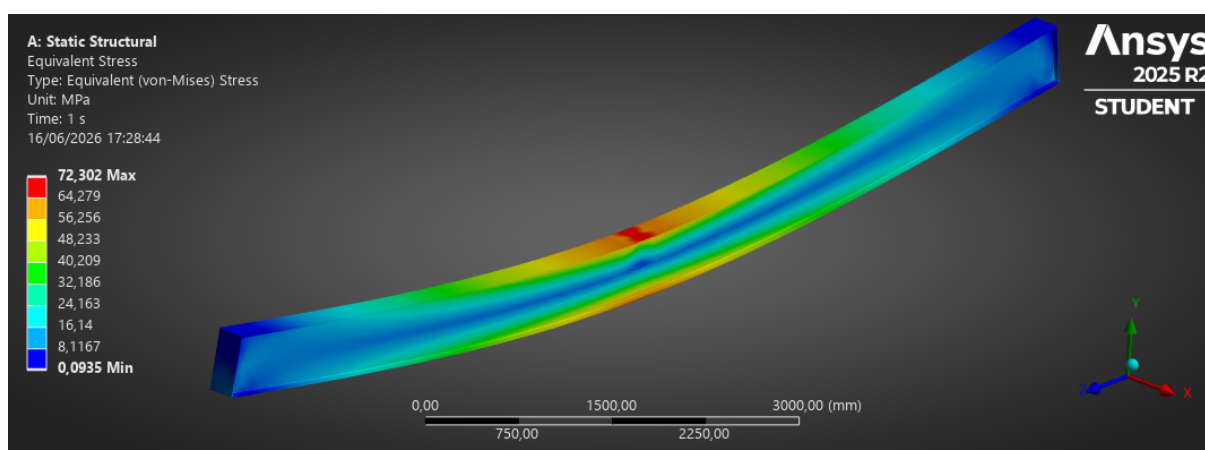
Tabela 11 – Reações da viga principal nas posições críticas de carregamento

Posição 01 — carga no centro do vão			Posição 02 — carga próx. à cabeceira		
Esforço	Valor	SI	Esforço	Valor	SI
Esforço cisalhante apoio 1 (R_{a1})	37,18	kN	Esforço cisalhante apoio 1 (R_{a2})	66,03	kN
Esforço cisalhante apoio 2 (R_{b1})	37,18	kN	Esforço cisalhante apoio 2 (R_{b2})	8,33	kN
Mom. fletor máx. ($M_{1,max}$)	185,91	kN·m	Mom. fletor máx. ($M_{2,max}$)	73,96	kN·m

Fonte: Ansys, feito pelo autor (2026).

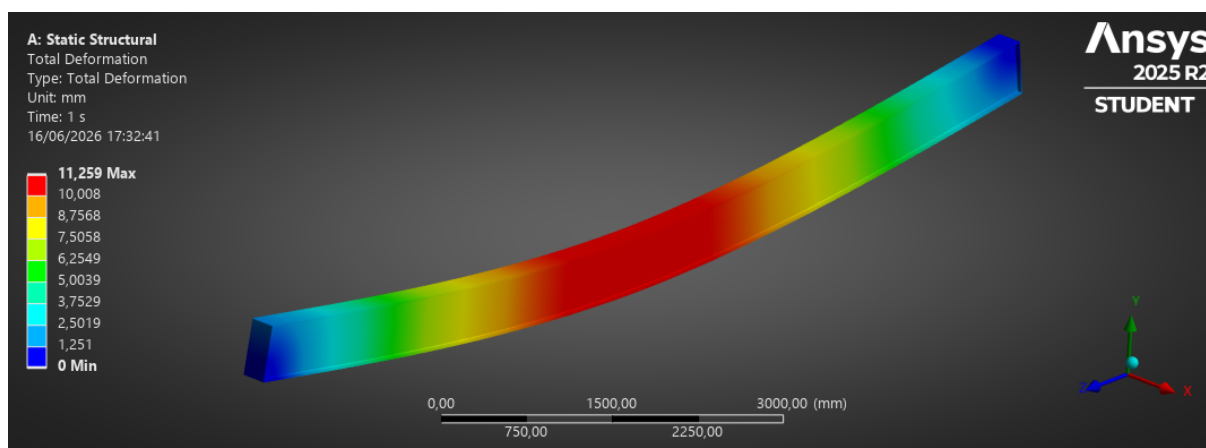
A partir da aplicação das cargas verticais obtidas na metodologia, é possível validar as tensões solicitantes na viga. As Figuras 18 e 19 ilustram, respectivamente, a tensão equivalente de von Mises e a deflexão máxima na posição mais desfavorável.

Figura 18 – Tensão equivalente de von Mises na viga principal



Fonte: ANSYS 2025 R2, feito pelo autor (2026).

Figura 19 – Deformação total da viga principal



Fonte: ANSYS 2025 R2, feito pelo autor (2026).

A Tabela 12 resume as verificações resistentes obtidas na análise da viga principal nas duas posições mais desfavoráveis, comparando com os valores admissíveis definidos na metodologia:

Tabela 12 – Resumo das verificações resistentes da viga principal nas posições críticas

Verificação	Resultado	Admissível	C. Segurança
Posição 01 — carga no centro do vão			
Tensão de flexão (σ_{flex})	65,86 MPa	230,00 MPa	3,49
Tensão de cisalhamento (τ_{cis})	6,87 MPa	132,79 MPa	19,33
Tensão combinada (σ_{comb})	72,30 MPa	230,00 MPa	3,18
Tensão na aba (σ_{aba})	132,47 MPa	230,00 MPa	1,74
Deflexão máxima (δ_{max})	11,26 mm	13,34 mm	1,18
Posição 02 — carga próxima à cabeceira			
Tensão de flexão (σ_{flex})	11,50 MPa	230,00 MPa	20,00
Tensão de cisalhamento (τ_{cis})	15,98 MPa	132,79 MPa	8,31
Tensão combinada (σ_{comb})	29,56 MPa	230,00 MPa	7,78
Deflexão máxima (δ_{max})	2,37 mm	13,34 mm	5,63

Fonte: ANSYS 2025 R2, adaptado pelo autor (2026).

4.2 CABECEIRAS

No dimensionamento das vigas de cabeceira será necessário utilizar a reação de apoio 01 da viga principal na segunda posição ensaiada, pois será a posição onde a viga de cabeceira estará na sua solicitação máxima. A Tabela 13 apresenta o esforço cortante e o momento fletor solicitante de cálculo para a viga:

Tabela 13 – Reações da viga de cabeceira

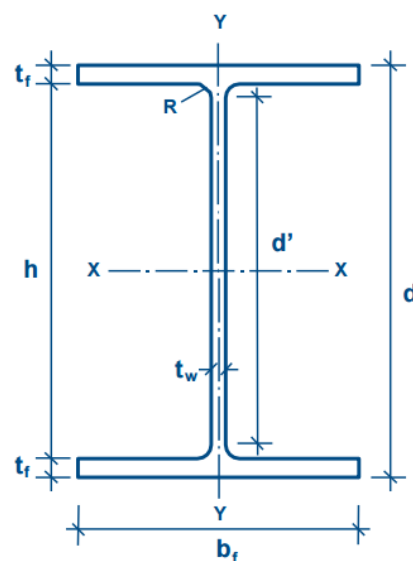
Esforço	Valor	SI
Esforço cisalhante apoio 1 (R_{a1})	33,41	kN
Esforço cisalhante apoio 2 (R_{b1})	33,41	kN
Mom. fletor máx. ($M_{1,max}$)	20,01	kN·m

Fonte: Feito pelo autor (2026).

A partir desses resultados é possível fazer o pré-dimensionamento das vigas de cabeceiras. Diferentemente da viga principal, para a qual se optou por um perfil caixão, na cabeceira será utilizado um perfil W200x19,3 com propriedades já definidas no catálogo da Gerdau, como se pode observar na Tabela 14.

Tabela 14 – Propriedades do perfil W200x19,3

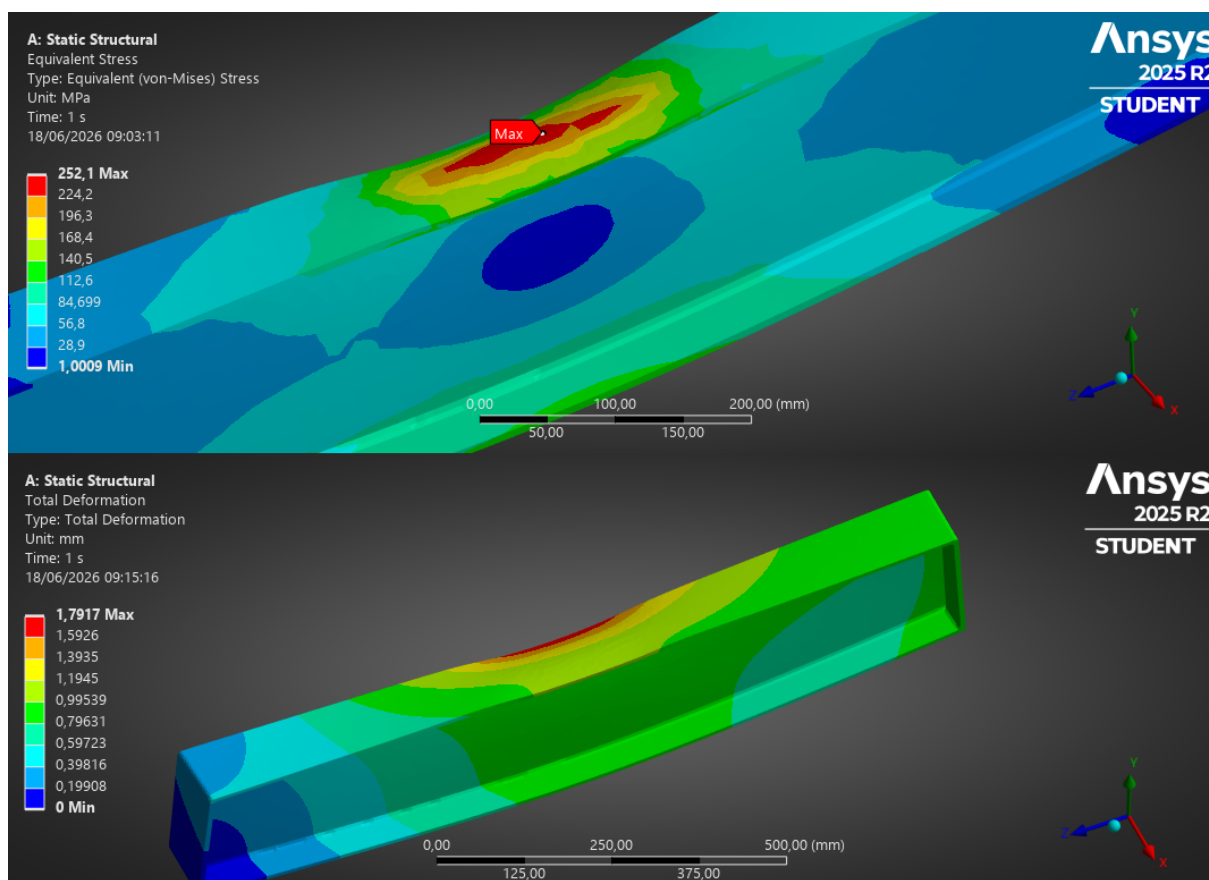
Propriedade	Valor
Altura (d)	203 mm
Largura da mesa (b_f)	102 mm
Espessura da alma (t_w)	5,8 mm
Espessura da mesa (t_f)	6,5 mm
Massa linear	19,3 kg/m
Área (A)	25,1 cm ²
Mom. de inércia (I_x)	1 686 cm ⁴
Mód. de resistência (W_x)	166,1 cm ³



Fonte: Gerdau, adaptado pelo autor (2026).

A partir dos dados do perfil é possível realizar a simulação numérica, como pode ser observado na Figura 20:

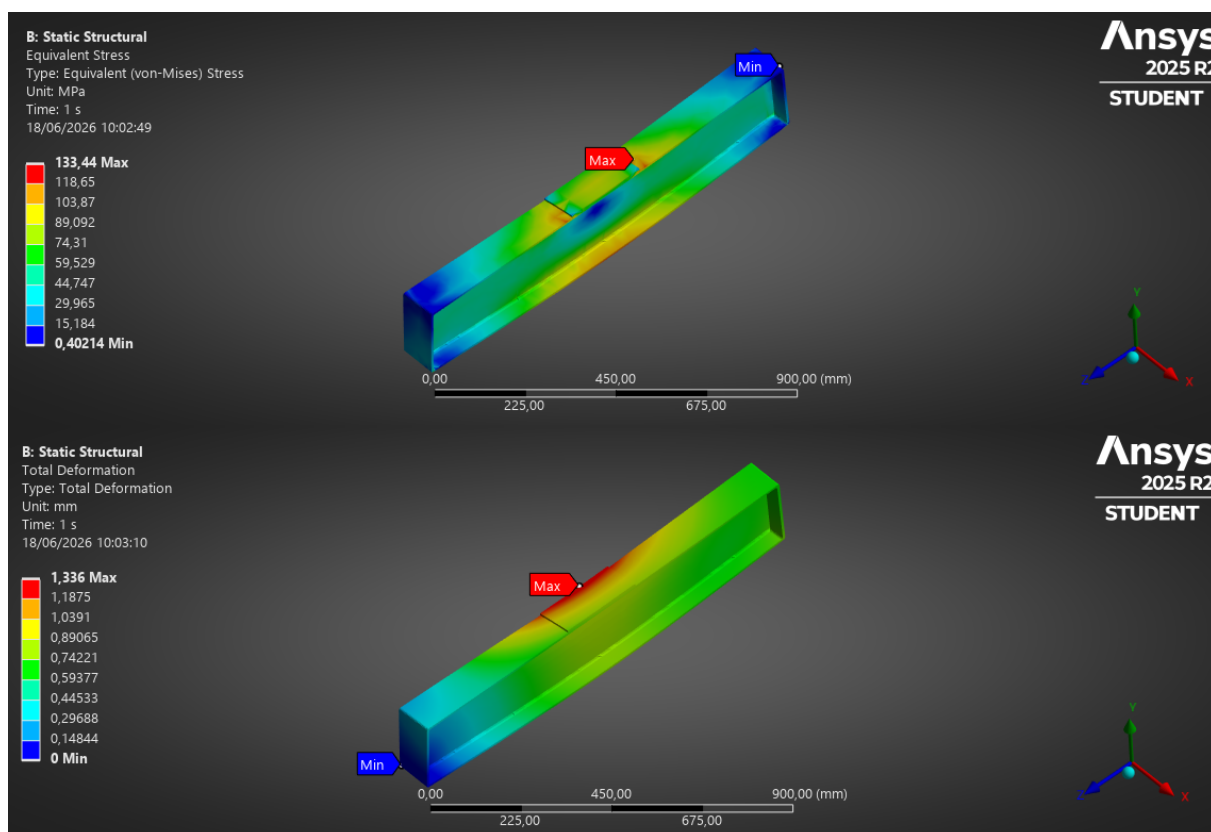
Figura 20 – Deformação total e deslocamento máximo da viga de cabeceira



Fonte: ANSYS 2025 R2, feito pelo autor (2026).

Diante do cenário em que a viga de cabeceira apresenta uma tensão de 252,1 MPa e um deslocamento de 1,79 mm, valores que excedem a tensão admissível de 230 MPa (conforme a NBR 8400:2019 para o Caso I) e o limite de serviço de 1,6 mm ($L/750$), a solução proposta consiste em uma segunda análise estrutural incorporando uma chapa de reforço de 6,3 mm na região de descarga da viga principal. A segunda análise com chapa de reforço objetiva redistribuir a carga concentrada e elevar a rigidez local, mitigando os picos de tensão e o deslocamento vertical excedente, conforme se observa na Figura 21:

Figura 21 – Deformação total da viga de cabeceira com chapa de reforço



Fonte: ANSYS 2025 R2, feito pelo autor (2026).

Os resultados obtidos através das duas análises podem ser observados na Tabela 15:

Tabela 15 – Verificações resistentes da viga de cabeceira

Verificação	Resultado	Admissível	C. Segurança
Análise 1 — sem reforço			
Tensão de flexão (σ_{flex})	188,17 MPa	230,00 MPa	1,22
Tensão de cisalhamento (τ_{cis})	88,43 MPa	132,79 MPa	1,50
Tensão combinada (σ_{comb})	252,10 MPa	230,00 MPa	0,91
Deflexão máxima (δ_{max})	1,79 mm	1,60 mm	0,89
Análise 2 — com chapa de reforço			
Tensão de flexão (σ_{flex})	119,27 MPa	230,00 MPa	1,93
Tensão de cisalhamento (τ_{cis})	25,34 MPa	132,79 MPa	5,24
Tensão combinada (σ_{comb})	133,44 MPa	230,00 MPa	1,72
Deflexão máxima (δ_{max})	1,34 mm	1,60 mm	1,19

Fonte: ANSYS 2025 R2, adaptado pelo autor (2026).

Portanto, a partir das análises dos resultados obtidos na Tabela 15, é possível concluir

que o perfil W200x19,3 atende plenamente à necessidade de projeto. Porém, vale destacar a necessidade de inserir uma chapa de reforço entre a viga principal e as cabeceiras para que não haja tensões combinadas e deslocamentos excessivos na mesa superior das cabeceiras.

4.3 VIGAS DE ROLAMENTO

Na análise da viga de rolamento, priorizou-se a estabilidade lateral contra os esforços de enviesamento e inércia. Para atender aos limites de rigidez estabelecidos pela NBR 8800:2024, adotou-se o travamento da mesa superior nos apoios e no meio do vão da viga de rolamento, diminuindo o comprimento destravado do vão para 2,5 metros. Ademais, para validar a análise estrutural, foram realizadas três simulações, posicionando as rodas das cabeceiras em três pontos estratégicos para extrair os valores máximos de tensões de flexão, cisalhante, Von Mises e deslocamentos. A validação consistiu em três ensaios simulados de posicionamento de carga, conforme enumerado a seguir:

1. **Posição 1 (P1):** Rodas posicionadas simetricamente a 1,9 m e 3,1 m de cada apoio.

Objetivo: Determinar as flechas máximas vertical e lateral.

2. **Posição 2 (P2):** Rodas posicionadas a 2,2 m e 3,4 m de um dos apoios.

Objetivo: Verificar o momento fletor máximo e a tensão combinada de Von Mises.

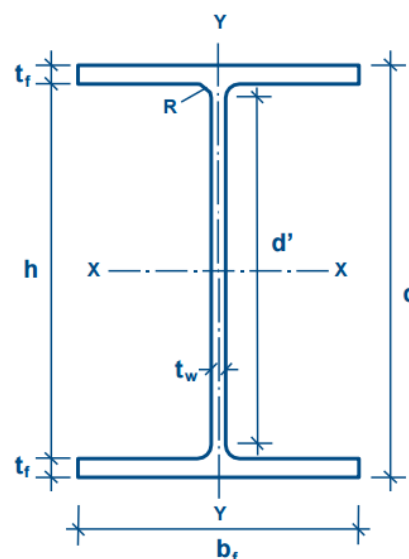
3. **Posição 3 (P3):** Uma roda posicionada diretamente sobre o apoio (0 m e 1,2 m).

Objetivo: Analisar o esforço cortante máximo.

A partir dos resultados das equações de equilíbrio, foi possível pré-dimensionar o perfil que será utilizado para a simulação numérica. O perfil escolhido foi o Gerdau W360x58, com suas propriedades de acordo com a Tabela 16:

Tabela 16 – Propriedades do perfil W360x58

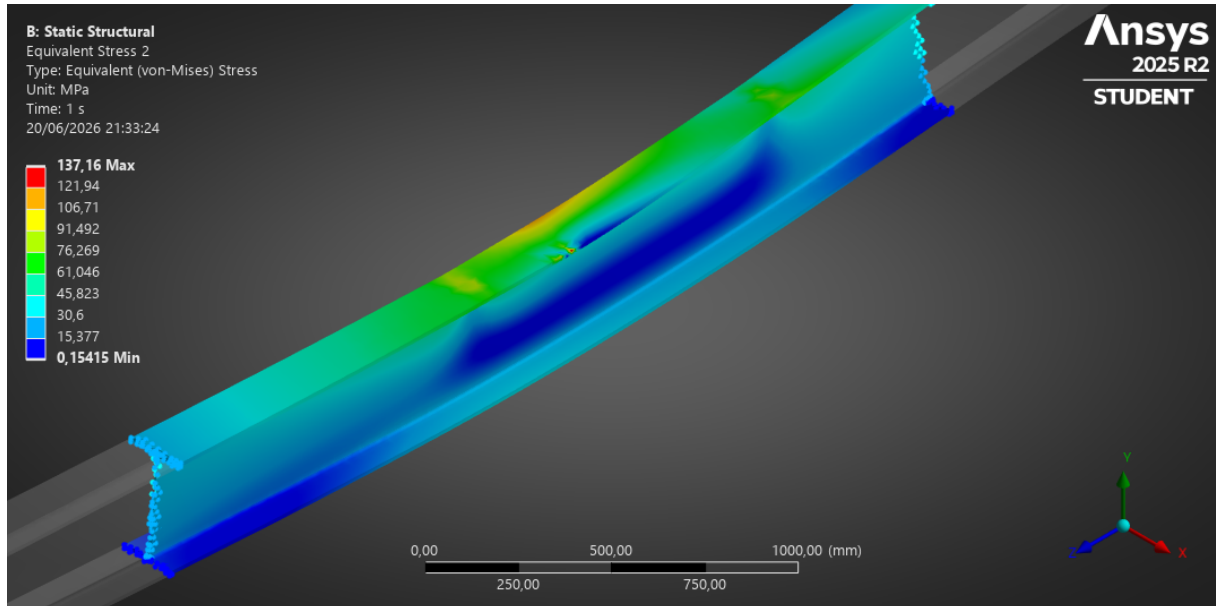
Propriedade	Valor
Altura (d)	358 mm
Largura da mesa (b_f)	172 mm
Espessura da alma (t_w)	7,9 mm
Espessura da mesa (t_f)	13,1 mm
Massa linear	58,0 kg/m
Área (A)	72,5 cm ²
Mom. de inércia (I_x)	16 143 cm ⁴
Mód. de resistência (W_x)	901,8 cm ³



Fonte: Gerdau, adaptado pelo autor (2026).

A Figura 22 representa a tensão equivalente de Von Mises da viga com a carga na posição de momento fletor máximo:

Figura 22 – Tensão equivalente de von Mises na viga de rolamento



Fonte: ANSYS 2025 R2, feito pelo autor (2026).

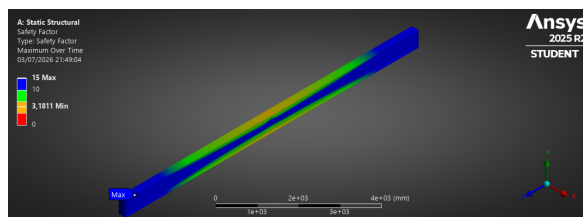
Os resultados obtidos a partir das análises numéricas podem ser observados a partir da Tabela 17:

Tabela 17 – Verificações resistentes da viga de rolamento

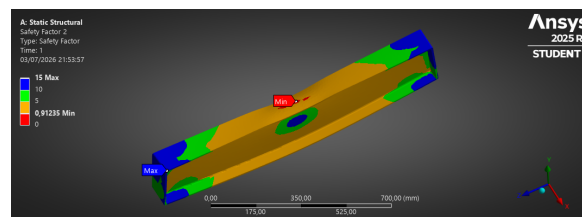
Verificação	Resultado	Admissível	C. Segurança
Posição 01			
Deflexão vertical ($\delta_{v,P1}$)	4,87 mm	6,67 mm	1,37
Deflexão lateral ($\delta_{l,P1}$)	1,83 mm	10,00 mm	5,46
Posição 02			
Tensão de flexão vertical ($\sigma_{flex,v}$)	71,8 MPa	230,00 MPa	3,20
Tensão de flexão lateral da mesa ($\sigma_{flex,l}$)	58,7 MPa	230,00 MPa	3,92
Tensão combinada (σ_{comb})	137,16 MPa	230,00 MPa	1,68
Posição 03			
Tensão de cisalhamento (τ_{cis})	20,01 MPa	132,79 MPa	6,64

Fonte: ANSYS 2025 R2, adaptado pelo autor (2026).

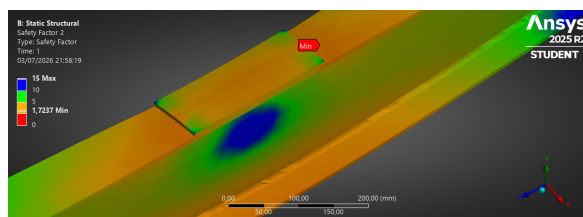
Figura 23 – Gráficos de fatores de segurança em relação à tensão de Von Mises nas regiões críticas das vigas (Principal, Cabeceiras e Rolamento)



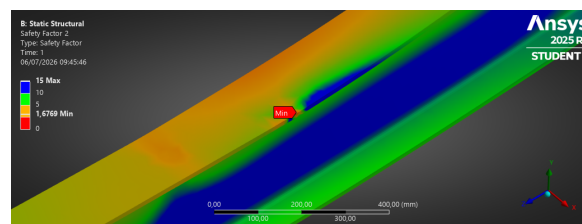
(a) Viga principal



(b) Viga de cabeceira — Análise 1 (sem reforço)



(c) Viga de cabeceira — Análise 2 (com reforço)



(d) Viga de rolamento

Fonte: ANSYS 2025 R2, adaptado pelo autor (2026).

4.4 DISCUSSÃO

A confiabilidade do método utilizado fundamenta-se na convergência entre os resultados obtidos pelos métodos numérico e analítico, cujas diferenças permaneceram inferiores a 3%. O emprego da tensão equivalente de von Mises σ_{comb} possibilitou avaliar a integridade dos perfis com base na Teoria da Energia de Distorção Máxima, reconhecida como adequada à análise de materiais dúcteis, como o aço ASTM A572 Grau 50.

Os resultados mostram que a rigidez, verificada pelo Estado Limite de Serviço, foi o critério governante do projeto, com flechas limitadas a $L/750$, conforme a NBR 8800:2024. Após a inclusão da chapa de reforço na viga de cabeceira, as tensões normais, de cisalhamento e combinadas permaneceram abaixo dos limites estabelecidos pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019a), evitando que a estrutura excedesse o limite de escoamento do material. Dessa forma, os perfis selecionados atenderam aos critérios de resistência e rigidez considerados no dimensionamento.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho realizou o dimensionamento estrutural de uma ponte rolante univiga de 5 toneladas de capacidade e 10 metros de vão livre, destinada a um desmanche legalizado. A metodologia integrou o cálculo analítico fundamentado nas normas ABNT NBR 8400:2019 e NBR 8800:2024 à validação numérica por elementos finitos (ANSYS Workbench), permitindo confrontar, para cada componente, os esforços resistentes e os deslocamentos obtidos pelos dois métodos. A convergência entre os resultados analíticos e numéricos confirmou a confiabilidade do modelo, com diferenças inferiores a 3% nas tensões governantes.

Para a viga principal, o perfil caixão em aço A572 Gr50 com mesa de 19 mm atendeu aos estados-limites de escoamento e de deflexão, com flecha vertical de 11,26 mm inferior ao limite $L/750$ (13,34 mm) imposto pela NBR 8800:2024. Na viga de cabeceira, a simulação numérica foi determinante para identificar que o perfil W200x19,3 isolado excederia a tensão admissível, sendo a solução a inclusão de uma chapa de reforço de 6,3 mm na região de descarga, que reduziu a tensão combinada de 252,1 para 133,44 MPa, correspondente a um coeficiente de segurança de 1,72 e à eliminação do pico local de introdução de carga. Já a viga de rolamento, executada com o perfil W360x58, teve a estabilidade lateral como critério governante: o travamento da mesa superior nos apoios e no meio do vão reduziu o comprimento destravado para 2,5 m, conduzindo à tensão combinada de 137,16 MPa — valor coincidente com o resultado numérico — e à deflexão lateral de 1,83 mm, inferior ao limite normativo.

Em suma, todos os componentes atenderam aos estados-limites últimos de escoamento e aos estados-limites de serviço relativos às deflexões, resultando em uma estrutura segura e otimizada quanto ao consumo de material. Conclui-se que o projeto é tecnicamente viável e apto à implementação, oferecendo uma solução de movimentação de carga que prioriza a segurança operacional e a integridade física dos colaboradores no ambiente de desmanche legalizado. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se o detalhamento das ligações parafusadas e soldadas entre os componentes, a análise à fadiga da estrutura e de seus acessórios sujeitos a altos ciclos de carga, e a análise dinâmica do conjunto sob operação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8400-2:2019: Equipamentos de elevação e movimentação de carga — Regras para projeto — Parte 2: Verificação das estruturas ao escoamento, fadiga e estabilidade.** Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8400-1: Equipamentos de elevação e movimentação de cargas – Cálculo de estruturas – Parte 1: Pontes rolantes.** Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.** Rio de Janeiro, 2024.

BEER, F. P.; JÚNIOR, E. R. J. **Resistência dos materiais.** 3. ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 1995.

Brasil. **Lei nº 12.977, de 20 de maio de 2014.** 2014. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Dispõe sobre o exercício da atividade de desmontagem de veículos automotores terrestres e dá outras providências. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l12977.htm>.

Demag Cranes. **Crane sets para pontes rolantes universais.** 2026. Acesso em: 19 fev. 2026. Disponível em: <<https://www.demagcranes.com/pt-br/produtos/pontes-rolantes-e-crane-sets/crane-sets-para-pontes-rolantes-universais/crane-sets-para-1>>.

Demag Cranes & Components GmbH. **Demag DC chain hoists: Technical data, Project-drafting manual, Accessories.** Düsseldorf, Germany, 2024. Documento técnico. Nº 203 525 44. Data: 2024-07-26.

Gerdau. **Perfis Estruturais Gerdau: informações técnicas.** 2018. Catálogo técnico. Disponível em: <<https://mais.gerdau.com.br/catalogos-e-manuais>>.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais.** 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. ISBN 978-85-7605-373-6.

HU, S. C. *et al.* Research on mechanical mechanics with the finite element analysis and structure optimization of large span gantry crane box beam. **Advanced Materials Research**, v. 910, p. 370–374, 2014. Disponível em: <<https://www.scientific.net/AMR.910.370>>.

KORENDIY, V.; KACHUR, O.; LANETS, O. Design and analysis of the overhead crane with six vertical columns. **Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science**, v. 10, n. 1, p. 1–17, 2024.

LERMEN, F. H. *et al.* Economia circular aplicada à desmontagem de veículos em fim de vida. In: **Blucher Design Proceedings — 13º Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto.** São Carlos: [s.n.], 2021.

LORENZI, R. T. Dimensionamento estrutural de um pórtico rolante para levantamento de cargas de até 10 toneladas. 2019.

Mazzella Companies. **Designing an Overhead Crane (tag page)**. 2026. Acesso em: 19 fev. 2026. Disponível em: <<https://www.mazzellacompanies.com/learning-center/tag/designing-an-overhead-crane/>>.

Munck Cranes. **Bridge crane components**. 2026. Acesso em: 19 fev. 2026. Disponível em: <<https://www.munckcranes.com/guides/bridge-crane-components/>>.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OMIS. **Pont roulant monopoutre: robustesse maximale et simplicité d'utilisation en tout lieu**. 2026. Acesso em: 19 fev. 2026. Disponível em: <<https://www.omis.net/fr-fr/pont-roulant-monopoutre-robustesse-maximale-et-simplicite-dutilisation-en-tout-lieu/>>.

PASSOS, L. d. C. d. **Técnicas de instalação, operação, manutenção, testes e inspeção: pontes rolantes, guindastes giratórios e acessórios de movimentação de cargas**. S.l.: Make Engenharia, Assessoria e Desenvolvimento, 2011.

PAVLOVIĆ, G. V. *et al.* Optimization of welded i-girder of the single-beam bridge cranes. **International Journal of Steel Structures**, v. 24, n. 4, p. 969–985, 2024.

PEREIRA, A. S. **Estudo de comparação de modelos de elementos finitos de uma ponte rolante**. 2022. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/11449/260080>>.

QUIRINO, A. O. Z. *et al.* **Ponte rolante em escala reduzida**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Mecânica)) — ETEC Sylvio de Mattos Carvalho, Matão, 2024.

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

SAMPAIO, R. C. d. R. Dimensionamento da viga principal e cabeceiras de uma ponte rolante. 2022.

SORDI, G. Dimensionamento da viga principal de uma ponte rolante. 2017.

SPINASSÉ, J. C. d. C. Dimensionamento de um pórtico rolante para uma empresa de equipamentos ferroviários. Vitória, 2024.

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.

ZUBERI, R. H.; KAI, L.; ZHENGXING, Z. Design optimization of eot crane bridge. In: **Proceedings of the International Conference on Engineering Optimization – ENGOPT 2008**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2008.