

DIMENSIONAMENTO DAS PEÇAS DE UMA PONTE DE MADEIRA LAMELADA COLADA DE ACORDO COM A NBR 7190:2022

Luiz Pedro Araujo de Mello Nunes¹, Lauren Karoline de Sousa Gonçalves²

¹Graduando na Faculdade de Engenharia Civil – FECIV, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Minas Gerais, Brasil – luiz.nunes@ufu.br

²Professora na Faculdade de Engenharia Civil – FECIV, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Minas Gerais, Brasil – laurenkaroline@ufu.br

Resumo: *A utilização da madeira como material estrutural tem se destacado como uma alternativa sustentável e eficiente em diversas aplicações da engenharia civil, especialmente no desenvolvimento de pontes e outras estruturas de grande porte. Este estudo teve como objetivo dimensionar as peças de uma ponte treliçada construída com Madeira Lamelada Colada (MLC), utilizando o método de Engesser-Courbon, em conformidade com as normas ABNT NBR 7190-1:2022, ABNT NBR 7188:2024 e ABNT NBR 8681:2003. O desenvolvimento do trabalho demonstrou que as dimensões e os tipos de madeira empregados atendem aos critérios normativos. Foram utilizadas peças de MLC de Pinus, com dimensões comerciais fornecidas pelo fabricante: 18,5 cm de largura por 33,6 cm de altura para os banzos superiores e inferiores, e 18,5 cm de largura por 12,6 cm de altura para os montantes e diagonais. O estudo leva em consideração as atualizações da norma NBR 7190, apresentando resultados positivos que demonstram a conformidade normativa das peças de MLC, promovendo sustentabilidade e eficiência econômica.*

Palavras chaves: Pontes de madeira. Madeira lamelada colada. Estrutura treliçada. Dimensionamento estrutural. Engesser-Courbon.

1. INTRODUÇÃO

A madeira sempre desempenhou um papel crucial na construção civil, desde as primeiras civilizações até os dias atuais, graças à sua resistência, disponibilidade e versatilidade. Nos últimos anos, tem-se observado um renovado interesse no uso da madeira em estruturas, impulsionado por avanços tecnológicos e pela busca por materiais sustentáveis. Neste sentido, destaca-se a Madeira Lamelada Colada (MLC), um material que combina a resistência da madeira com a capacidade de criar peças de grandes dimensões e formas complexas.

A madeira lamelada colada é composta por várias lâminas de madeira coladas entre si, com as fibras alinhadas na mesma direção, formando um material estrutural homogêneo e com boas propriedades mecânicas. Entre suas principais vantagens estão a alta resistência mecânica, a estabilidade dimensional, a durabilidade e a capacidade de suportar grandes cargas e vãos, superando muitas das limitações da peça de madeira tradicional (PFEIL, 2003). Além disso, a MLC apresenta uma maior resistência ao fogo e melhor desempenho frente a variações climáticas, tornando-a uma opção robusta e segura para a construção de pontes (CAMPOS, 2018).

No contexto brasileiro, o uso da MLC ainda está em fase de expansão, apesar da abundância de recursos florestais. A indústria da construção civil tem demonstrado um crescente interesse em explorar os benefícios desse material, que alia sustentabilidade e eficiência estrutural. No entanto, a aplicação em larga escala enfrenta desafios, como a falta de mão-de-obra especializada e a necessidade de projetos bem elaborados para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas (SHIGUE, 2018; MAURO SÔNEGO, 2020).

Vale destacar que o processo de produção da MLC minimiza a necessidade de grandes cortes em árvores de grande porte, contribuindo para a preservação das florestas nativas. Outro aspecto sustentável é a sua estabilidade dimensional, que reduz a necessidade de manutenção e aumenta a vida útil das estruturas, diminuindo os impactos ambientais relacionados à substituição de materiais. A utilização de adesivos e técnicas que garantem um desempenho superior também possibilita a produção de peças maiores e mais versáteis, permitindo projetos arquitetônicos que maximizam o uso eficiente do material.

Este trabalho tem como objetivo projetar uma ponte treliçada de madeira lamelada colada. A intenção é dimensionar a estrutura e suas peças, assim o estudo seguirá as diretrizes das normas ABNT NBR 7190-1:2022, ABNT NBR 7188:2024 e ABNT NBR 8681:2003, aplicando o método de Engesser-Courbon para o dimensionamento das peças. Através desta pesquisa, espera-se promover o uso da madeira lamelada colada como uma alternativa viável e vantajosa para a construção de pontes.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é dimensionar as peças de uma ponte de madeira lamelada colada. Para isso, serão seguidos e adotados os seguintes objetivos específicos:

- Executar a modelagem das dimensões da ponte;
- Determinar as cargas atuantes;
- Dimensionar e verificar as peças do tabuleiro;
- Dimensionar e verificar as peças da estrutura treliçada.

3. METODOLOGIA

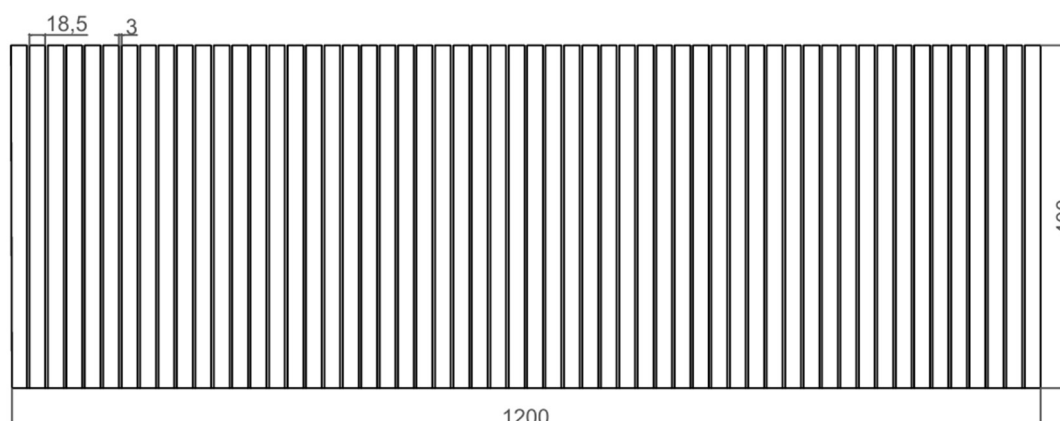
As pontes desempenham a importante função de transpor obstáculos em diversos ambientes e condições, facilitando a circulação de pessoas e cargas. Este trabalho visa dimensionar uma ponte localizada em uma estrada rural que dá acesso a uma fazenda destinada ao plantio e extração de eucalipto, permitindo o transporte eficiente desse material por caminhões. Estruturas similares foram analisadas em estudos realizados por Góis (2022).

Para o dimensionamento das peças da ponte, optou-se por utilizar a MLC, com dimensões comerciais fornecidas pela empresa Rewood. O projeto considerou a adaptação das peças comerciais para que atendam aos critérios estabelecidos pelas normas técnicas, ao mesmo tempo em que se mantêm próximas às dimensões originais da ponte.

Não foi considerado nesse trabalho o dimensionamento do guarda corpo nem das ligações das peças.

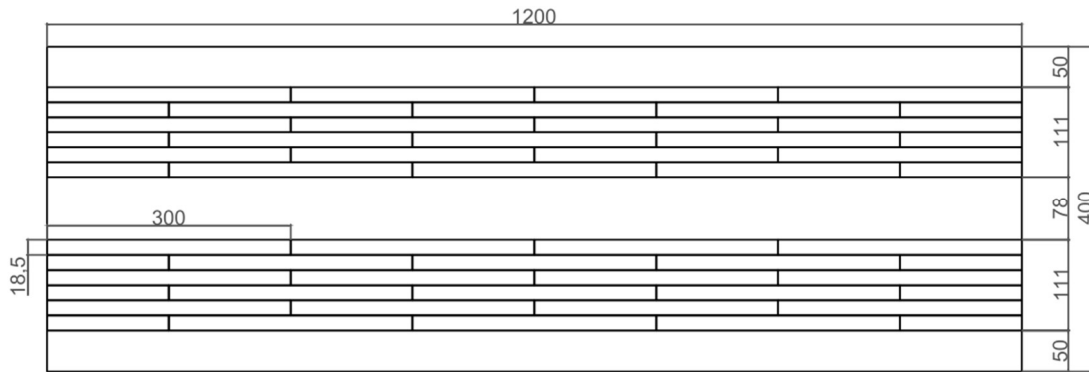
Abaixo são apresentadas as Figuras 1 a 3, que ilustram aspectos importantes da estrutura da ponte de madeira em estudo. A Figura 1 mostra uma vista superior do tabuleiro, destacando a disposição das pranchas e a organização do tráfego sobre a ponte. A Figura 2 apresenta uma vista superior dos rodeiros, evidenciando suas dimensões e posicionamento na estrutura. Por fim, a Figura 3 exhibe uma vista frontal da longarina, permitindo a visualização dos elementos que compõem essa parte essencial da ponte.

Figura 1 – Vista superior do tabuleiro da ponte de madeira em estudo (unidades em cm)



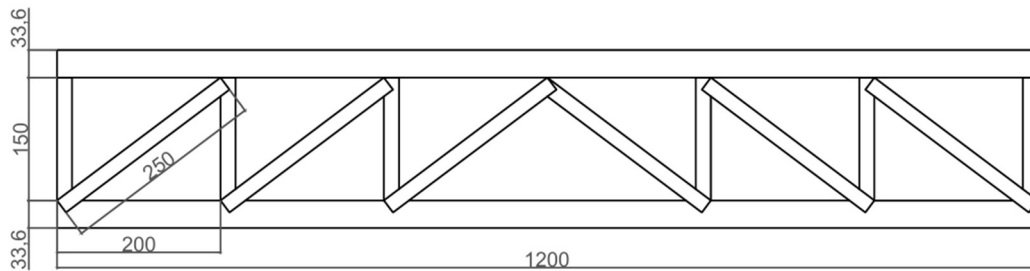
Fonte: Autor (2024).

Figura 2 – Vista superior dos rodeiros da ponte de madeira em estudo (unidades em cm)



Fonte: Autor (2024).

Figura 3 – Vista frontal da longarina da ponte de madeira em estudo (unidades em cm)



Fonte: Autor (2024).

A seguir, são apresentadas as Tabelas 1 a 4, que detalham as características técnicas da ponte de madeira em estudo. A Tabela 1 resume as características gerais da estrutura, incluindo dimensões e especificações de classe. A Tabela 2 descreve as características dos rodeiros, com informações sobre suas dimensões e material. A Tabela 3 apresenta os detalhes técnicos do tabuleiro, destacando a quantidade e as dimensões das pranchas utilizadas. Por fim, a Tabela 4 traz as especificações das longarinas, com ênfase no tipo de treliça e nas dimensões dos elementos estruturais que as compõem. As dimensões das peças nas tabelas estão apresentadas em função do comprimento (L), largura (b) e espessura (h).

Tabela 1 - Características Técnicas da Ponte

Descrição	Valores
Comprimento total (m)	12,00
Largura total (m)	4,00
Classe da ponte	Classe 30
Veículo-tipo	Tipo 30
Quantidade de rodeiros	2
Quantidade de pranchas	56
Quantidade de longarinas	3
Estrutura	Bi-apoiada (cálculos não presentes no trabalho)

Fonte: Autor (2024)

Tabela 2 - Características dos Rodeiros

Descrição	Valores
Comprimento (m)	12,00
Largura (m)	1,11
Espessura (m)	0,126
Classe da madeira	Madeira lamelada colada de Pinus (Rewood)
Tábuas por rodeiro (m)	24 tábuas de 3,00(L)×0,185(b)×0,126(h)

Fonte: Autor (2024)

Tabela 3 - Características do Tabuleiro

Descrição	Valores
Comprimento total (m)	12,00
Largura total (m)	4,00
Pranchas	56 transversais ao fluxo de veículos
Dimensões por prancha (m)	4,00(L)×0,185(b)×0,21(h)
Distância entre pranchas (m)	0,03
Classe da madeira	Madeira lamelada colada de Pinus (Rewood)

Fonte: Autor (2024)

Tabela 4 - Características das Longarinas

Descrição	Valores
Tipo	Treliças Howe
Comprimento (m)	12,00
Distância longarinas (m)	2,00
Classe da madeira	Madeira lamelada colada de Pinus (Rewood)
Banzo superior e inferior (m)	12,00(L)×0,185(b), 0,336(h)
Montantes (m)	6 barras de 1,50(L)×0,185(b)×0,126(h)
Diagonais (m)	6 barras de 2,50(L)×0,185(b)×0,126(h)

Fonte: Autor (2024)

Para o projeto da ponte abordado neste trabalho, que restringe o tráfego na via rural a caminhões de até 30 toneladas, a limitação aplica-se a caminhões bitruck de 4 eixos, com capacidade máxima de carga de 22 toneladas e peso bruto total de 29 toneladas (GÓIS, 2022). Em relação aos esforços, são considerados nos cálculos apenas o peso próprio das peças, como carga permanente, e as cargas dinâmicas do tráfego de veículos, como carga variável. No que se refere a verificação (VS) para atender aos critérios de segurança normativos das peças, para as estruturas treliçadas das longarinas são verificados os esforços de tração e compressão, enquanto que para o tabuleiro são verificadas as tensões geradas pelos momentos fletores.

Neste projeto, o tabuleiro da ponte está apoiado diretamente sobre as vigas treliçadas. Assim, os veículos transferem os esforços para as pranchas do tabuleiro, que redistribuem essas cargas para as longarinas, e, em seguida, para os apoios e fundações. Cabe destacar que o dimensionamento das fundações e das conexões entre as peças não está incluído no escopo deste trabalho.

Os cálculos seguem as diretrizes estabelecidas nas obras de Calil Junior (2006) e Castro (2017), que discutem o dimensionamento de sistemas estruturais de madeira. Esses autores apresentam uma síntese das informações da norma ABNT NBR 7190:2022, oferecendo uma base para a aplicação da norma no cálculo de sistemas estruturais, especialmente para pontes de madeira com estrutura treliçada.

Conforme descrito por Calil (2006), as pontes rodoviárias são classificadas nas classes 12, 30 e 45. Em alinhamento com a norma ABNT NBR 7188:2024, o autor especifica as cargas móveis para cada classe. A Tabela 5, a seguir, apresenta os esforços considerados para um veículo-tipo que trafega em uma ponte rodoviária de classe 30, que é utilizada no dimensionamento da ponte deste projeto.

Tabela 5 – Cargas móveis para ponte classe 30.

Descrição	Valores
Tipo do veículo	30
Peso total (kN)	300
Peso para pneu (kN)	50
Carga uniformemente distribuída (kN/m ²)	5

Fonte: Autor (2024).

3.1. Combinação das ações

Os cálculos para determinar o peso próprio do rodeiro, do tabuleiro e das vigas treliçadas consistem em multiplicar a densidade da madeira escolhida pelo volume total de cada peça. No caso do tabuleiro, o resultado dessa multiplicação é dividido pela área do tabuleiro e depois multiplicado pela largura da faixa de influência de cada longarina. Essa metodologia permite obter os valores a serem utilizados no dimensionamento e análise estrutural de cada componente da ponte. As ações referentes as forças do vento não foram consideradas nesse trabalho.

No Estado Limite Último (ELU), a ponte será submetida às combinações normais de cargas. O ELU corresponde à condição em que a estrutura atinge sua capacidade máxima de suportar cargas sem colapsar, considerando a resistência dos materiais, fatores de segurança e comportamento estrutural. Essas combinações são essenciais para garantir a segurança e estabilidade da estrutura ao longo do tempo de acordo com Calil (2006).

As combinações últimas normais são calculadas de acordo com a Eq. (1) da ABNT NBR 8681:2004.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_q (F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{0j} F_{Qj,k}) \quad (1)$$

A norma também estabelece os coeficientes de ponderação e os fatores de combinação a serem aplicados na combinação última normal. Nessa definição, γ_{gi} é o coeficiente de ponderação para as ações permanentes, γ_q é o coeficiente para as ações acidentais, e Ψ_0 é o coeficiente de ponderação para as cargas variáveis. $F_{Gi,k}$ representa a carga permanente, $F_{Q1,k}$ é a carga variável principal, e $F_{Qj,k}$ refere-se às outras ações variáveis.

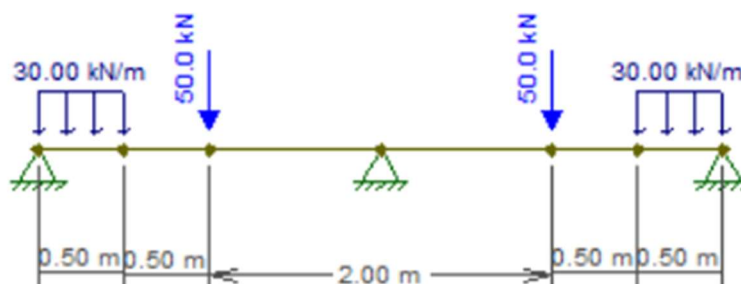
O Estado Limite de Serviço (ELS) trata das condições normais de funcionamento da estrutura, levando em conta deformações aceitáveis, vibrações, durabilidade e estabilidade, a fim de garantir a segurança, funcionalidade e conforto dos usuários ao longo da vida útil da construção segundo Calil (2006). As combinações de cargas no ELS serão calculadas com base na combinação rara, conforme as diretrizes da ABNT NBR 7190-1:2022.

3.2. Dimensionamento do tabuleiro

O tabuleiro é composto por pranchas com as características apresentadas na Tabela 3. De acordo com Calil Junior (2006), o tabuleiro deve ser dimensionado levando em conta apenas os momentos fletores, não sendo necessária a verificação quanto às reações de apoio, flecha e esforços cortantes. No entanto, mesmo com essa recomendação da literatura, verificou-se a flecha para garantir que os deslocamentos verticais estejam dentro dos limites da norma e os esforços cortantes que são relevantes dependendo da disposição das cargas móveis.

Devido ao seu pequeno peso próprio em comparação com a carga acidental, pode-se considerar, para efeito de cálculos, apenas as ações decorrentes das cargas móveis e seus efeitos dinâmicos. A Figura 4 apresenta a disposição das cargas solicitantes sobre uma prancha do tabuleiro, para a situação mais crítica.

Figura 4 – Disposição do carregamento no tabuleiro



Fonte: Autor (2024).

Os valores de cálculo (X_d) serão obtidos conforme o item 5.8.3 da ABNT NBR7190-1:2022, utilizando a seguinte expressão:

$$X_d = K_{mod} \frac{X_k}{\gamma_w} \quad (2)$$

sendo X_k o valor característico de uma propriedade da madeira; K_{mod} o coeficiente de modificação; γ_w o coeficiente de minoração das propriedades.

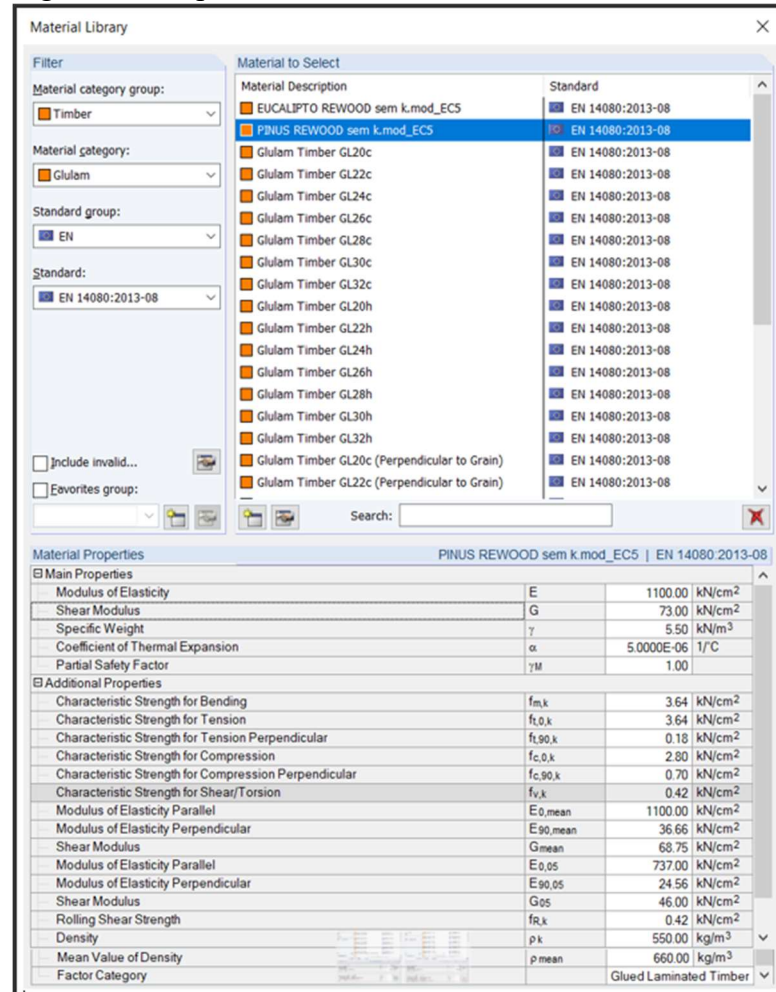
Os valores característicos para as propriedades da madeira foram fornecidos pela empresa Rewood, e podem ser visualizados na Tabela 6 e na Figura 5. Na Tabela 6 são apresentados os valores característicos de resistência à flexão ($f_{b,k}$), à tração paralela as fibras ($f_{t,0,k}$), à tração perpendicular ($f_{t,90,k}$), à compressão paralela ($f_{c,0,k}$), à compressão perpendicular as fibras ($f_{c,90,k}$) e ao cisalhamento ($f_{v,k}$). Além das resistências, apresenta-se ainda o módulo de elasticidade a 0° médio ($E_{0,m}$) e da densidade média (ρ_k).

Tabela 6 – Propriedades da madeira de Pinus da Rewood.

$f_{b,k}$ [MPa]	$f_{t,0,k}$ [MPa]	$f_{t,90,k}$ [MPa]	$f_{c,0,k}$ [MPa]	$f_{c,90,k}$ [MPa]	$f_{v,k}$ [MPa]	$E_{0,m}$ [GPa]	ρ_k [kg/m ³]
36,4	36,4	1,8	28,0	7,0	4,2	11,0	550,0

Fonte: Autor (2024).

Figura 5 – Propriedades da madeira de Pinus da Rewood.



Fonte: Rewood (2024).

O coeficiente de modificação K_{mod} é obtido pelo produto entre K_{mod1} e K_{mod2} , que são coeficientes que consideram a classe de carregamento da estrutura e a classe de umidade permitida. De acordo com a ABNT NBR 7190-1:2022, os coeficientes de redução das propriedades são 1,4 para estados-limites últimos devido a esforços normais ou 1,8 para estados-limites últimos resultantes de esforços cisalhantes.

Os valores característicos fornecidos pela norma são obtidos considerando a umidade de equilíbrio da madeira em 12%. Em casos de umidade diferente da umidade padrão, é necessário realizar correções conforme as orientações da ABNT NBR 7190-1:2022. As equações para essas correções estão descritas no item 5.6.1 da norma e são apresentadas pelas equações 3 e 4.

$$f_{12} = f_u \left(1 + \frac{3(U-12)}{100} \right) \quad (3)$$

$$E_{12} = E_u \left(1 + \frac{2(U-12)}{100} \right) \quad (4)$$

sendo f_{12} a resistência corrigida em relação a umidade de 12%; f_u a resistência em relação a umidade da madeira; U a umidade em análise em %; E_{12} a rigidez corrigida para umidade de 12%; E_u a rigidez em relação a umidade da madeira.

Na verificação do tabuleiro, os valores de momentos fletores máximos são obtidos pelo *software* Ftool. E a formulação utilizada encontra-se no item 6.3.4 da ABNT NBR7190-1:2022, que estabelece os critérios de verificação para flexão simples reta, conforme equação a 5.

$$\frac{M_d/w}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (5)$$

sendo $f_{m,d}$ o valor de cálculo da resistência à flexão; W o módulo de resistência da seção transversal à direção paralela às fibras; M_d o valor de cálculo do momento fletor.

Na verificação do tabuleiro, os valores máximos da força cortante serão obtidos pelo *software* Ftool. E a formulação utilizada encontra-se no item 6.4.2 da ABNT NBR7190-1:2022, que estabelece os critérios de verificação para o cisalhamento longitudinal, conforme equação 6.

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_d}{A} \leq f_{v0,d} \quad (6)$$

sendo τ_d tensão de cisalhamento; A é a área da seção transversal à direção paralela às fibras; V_d o valor de cálculo da força cortante.

3.3. Dimensionamento da longarina

Para dimensionar as longarinas, é preciso determinar a condição mais crítica para o veículo-tipo na seção transversal da ponte em estrutura treliçada. O primeiro passo é definir a rigidez da ponte utilizando o método de distribuição de carga na seção transversal de pontes, conhecido como Engesser-Courbon. A rigidez é calculada com base na Eq. (7) (Alves, 2004).

$$\lambda = \frac{l}{2L} \sqrt[4]{\frac{L \cdot n \cdot \rho_L}{l \cdot t \cdot \rho_T}} \quad (7)$$

sendo L e l o comprimento e largura do tabuleiro em metros, respectivamente, n o número de longarinas, t o número de transversinas intermediárias (peças do tabuleiro) e ρ_T e ρ_L são as rigidezes média das transversinas e longarinas em m^4 , respectivamente.

$$\rho_t = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (8)$$

$$\rho_L = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (9)$$

De acordo com Alves (2004), pode-se considerar que as longarinas são paralelas e conectadas perpendicularmente por transversinas, com momento de inércia constante. As transversinas são tratadas como simplesmente apoiadas sobre as longarinas, assumindo-se que estas têm rigidez infinita à flexão, o que implica que suas deformações são desprezíveis em comparação às das transversinas. Além disso, os efeitos de torção foram desconsiderados nesse estudo. Com essas suposições, as transversinas são tratadas como barras rígidas, mantendo seus eixos alinhados mesmo após a deformação do conjunto. Essas premissas são essenciais para a análise estrutural da ponte a ser dimensionada.

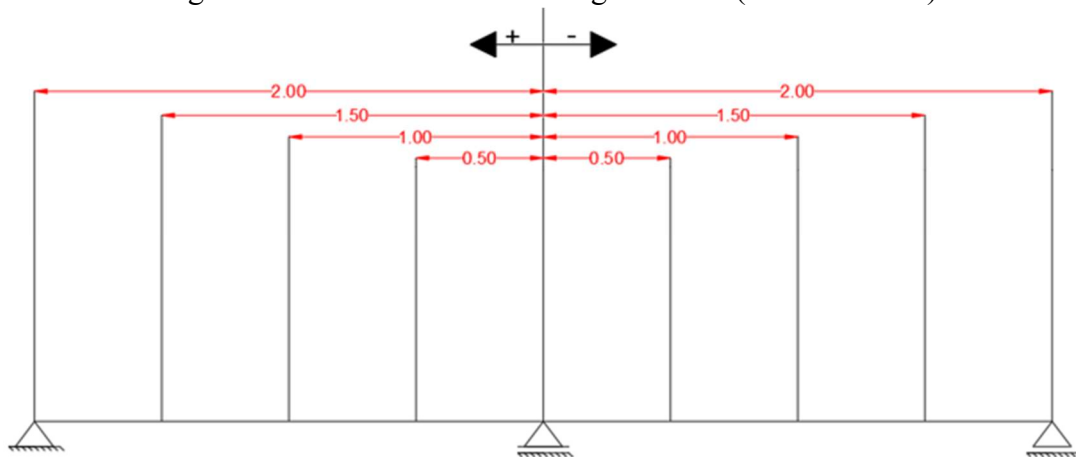
Em seguida, o coeficiente de distribuição transversal é determinado por meio da Eq. (10), conforme apresentado por Alves (2004).

$$R_i = \frac{P}{n} \left(1 + 6 \frac{2 \cdot i - (n+1)}{n^2 - 1} \cdot \frac{e}{\varepsilon} \right) \quad (10)$$

sendo R_i o coeficiente de distribuição transversal de carga para uma longarina i considerada, P é a carga em kN, n o número de longarinas, e é a excentricidade da carga em metros e ε é o espaçamento entre as longarinas em metros.

Assim, os coeficientes de repartição serão obtidos a partir de uma carga unitária P de 1 em função da excentricidade de aplicação desta carga. Na Figura 6 é possível visualizar as posições da carga unitária em relação a seção transversal da ponte, onde foi considerado a aplicação desta força a cada 50cm.

Figura 6 – Posicionamento da carga unitária (unidade em m)



Fonte: Moura (2024).

O método contempla a distribuição das cargas móveis ao longo da longarina a partir dos valores obtidos das seguintes expressões:

$$Q_1 = \varphi Q (r_1 + r_2) \quad (11)$$

$$q_1 = \varphi q (A_1 + A_2) \quad (12)$$

$$q_2 = \varphi q (A_2) \quad (13)$$

Os coeficientes são definidos da seguinte maneira: Q_1 representa a carga concentrada do veículo-tipo em kN, q_1 é a carga externa (ou multidão) em kN/m, q_2 é a carga interna em kN/m, φQ corresponde ao valor majorado da carga estática concentrada em kN, e φq ao valor majorado da carga distribuída em kN/m. O parâmetro A_1 refere-se à área positiva do gráfico da linha de influência limitada pela largura do veículo, enquanto A_2 representa a área positiva do gráfico da linha de influência limitada pela largura da carga externa. Os coeficientes r_1 e r_2 correspondem à distribuição transversal associada à posição das rodas dianteira e traseira do veículo-tipo, respectivamente. A combinação dessas cargas majoradas na seção transversal da ponte determina a situação mais crítica de solicitação.

Segundo a ABNT NBR 7188:2024, as cargas majoradas mencionadas (φq e φQ) são obtidas a partir dos coeficientes de impacto vertical ($CI V$), coeficiente de número de faixas (CNF) e coeficiente de impacto adicional ($CI A$). O $CI V$ simula o efeito dinâmico de uma carga em movimento e, para um vão de 12 metros, é calculado pela Eq. (14). O CNF ajusta as cargas considerando a probabilidade de ocorrência da carga móvel em um determinado número de faixas, conforme a Eq. (15). Já o $CI A$ aumenta a carga móvel devido às imperfeições da estrutura, sendo seus valores típicos de 1,25 para estruturas de concreto ou mistas, e 1 para outros tipos de elementos estruturais.

$$CI V = 1 + 1,06 \left(\frac{20}{LIV+50} \right) \quad (14)$$

$$CNF = 1 - 0,05(n - 2) \quad (15)$$

sendo LIV o vão da estrutura e n o número de faixas.

Embora a estrutura da ponte analisada seja de madeira, Góis (2022) utilizou um coeficiente de impacto adicional de 1,25. Dessa forma, a majoração das cargas concentradas e de multidão será realizada conforme estabelecido pela ABNT NBR 7188:2024, utilizando as Eqs. (16) e (17).

$$\varphi Q = P * CI V * CNF * CI A \quad (16)$$

$$\varphi q = p * CI V * CNF * CI A \quad (17)$$

sendo P é carga por pneu kN e p se refere a carga distribuída em kN/m².

Em relação às verificações da estrutura treliçada, considerando que a mesma estará sujeita à esforços axiais, tanto de compressão quanto de tração, as verificações desses esforços serão

realizadas de acordo com os itens 6.3.2 e 6.3.3 da ABNT NBR 7190-1:2022. A norma determina que as tensões atuantes devem ser inferiores à resistência do material. Para compressão, aplica-se a relação $\sigma N_{c,d} \leq f_{c,0,d}$, enquanto para tração, deve-se atender a $\sigma N_{t,d} \leq f_{t,0,d}$.

No caso das peças submetidas à compressão, é necessário verificar sua estabilidade, conforme estipulado pela norma vigente. A verificação depende da esbeltez da peça, que deve ser calculada seguindo a Eq. (18).

$$\lambda = \frac{L_0}{\sqrt{\frac{I}{A}}} \quad (18)$$

sendo L_0 o comprimento de flambagem, I é o momento de inércia nas direções analisadas e A é a área da seção transversal.

Além disso é necessário calcular a esbeltez relativa correspondentes à flexão em relação aos eixos x e y, conforme as equações a seguir:

$$\lambda_{rel,x} = \frac{\lambda x}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} \quad (19)$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} \quad (20)$$

Para valores de esbeltez relativa maiores que 0,3 devem ser atendido as condições de estabilidades proposto pela ABNT NBR7190-1:2022, conforme equações a seguir:

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{K_{cx} f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (21)$$

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{K_{cy} f_{c0,d}} + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (22)$$

sendo k_M é um coeficiente de correção em relação a seção transversal da peça e k_{cx} e k_{cy} são calculados através das seguintes equações:

$$k_{cx} = \frac{1}{K_x + \sqrt{(K_x)^2 - (\lambda_{rel,x})^2}} \quad (23)$$

$$k_{cy} = \frac{1}{K_y + \sqrt{(K_y)^2 - (\lambda_{rel,y})^2}} \quad (24)$$

$$K_x = 0,5 * [1 + \beta_c(\lambda_{rel,x} - 0,3) + (\lambda_{rel,x})^2] \quad (25)$$

$$K_y = 0,5 * [1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + (\lambda_{rel,y})^2] \quad (26)$$

sendo β_c o elemento considerado nas partes da estrutura que cumprem os requisitos de desvio de alinhamento, que para madeira lamelada (MLC) equivale a 0,1.

Além das verificações dos critérios de solicitações normais e estabilidade, é necessário fazer a verificação das flechas instantâneas e finais. O cálculo das flechas instantâneas é realizado de acordo com a Eq. (27) e foi realizado para a longarina e para o tabuleiro.

$$\delta_{inst} = \sum_{i=1}^m \delta_{instGi,k} + \delta_{instQ1,k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{1j} \cdot \delta_{instQj,K} \quad (27)$$

sendo δ_{inst} a flecha instantânea da estrutura, $\delta_{instGi,k}$ a flecha instantânea gerada pelo carregamento permanente, $\delta_{instQ1,k}$ a flecha inicial gerada pelo carregamento variável principal e $\delta_{instQj,k}$ a deflexão causada pelas demais ações variáveis, e o Ψ_1 é o coeficiente de redução para as ações variáveis.

No cálculo da flecha final, que considera o efeito de fluência na estrutura, utiliza-se a combinação quase permanente conforme a equação a seguir:

$$\delta_{fin} = \sum_{i=1}^m \delta_{finGi,k} + \sum_{j=1}^n \delta_{finQj,K} \quad (28)$$

sendo $\delta_{finGi,k}$ e $\delta_{finQj,k}$ são as flechas finais considerando o efeito de fluência para a carga permanente e variável, respectivamente, com valores definidos através das Eq. (29) e (30). Na Eq. (30) utiliza-se o parâmetro Ψ_2 que é o coeficiente de redução para as ações variáveis indicado na ABNT NBR 8681:2003.

$$\delta_{finG,k} = \delta_{instG,k}(1 + \emptyset) \quad (29)$$

$$\delta_{finQj,k} = \delta_{instQj,k}\Psi_2(1 + \emptyset) \quad (30)$$

Os valores limites da flecha inicial (δ_{inst}) e final (δ_{fin}) aceitados pela norma brasileira ABNT NBR 7190-1:2022 para a viga bi apoiada da ponte de madeira está de acordo com a Tabela 7 a seguir:

Tabela 7– Flecha limite.

Flecha	Valor limite
δ_{inst}	L/300
δ_{fin}	L/150

Fonte: Moura (2024).

4. RESULTADOS

O dimensionamento das peças da ponte fornece uma análise dos seus esforços, momentos fletores e sua verificação das flechas. Esses dados são essenciais para verificar a segurança e a viabilidade da estrutura, considerando as seções transversais e o tipo de madeira utilizados.

4.1. Resultados do tabuleiro

O tabuleiro será construído levando em conta carregamentos de curta duração, o que define K_{mod1} como 0,9, e considerando a classe de umidade 3, tem-se K_{mod2} igual a 0,8. Assim, obteve-se K_{mod2} igual a 0,72. Os valores de cálculo para a classe de umidade 3 são apresentados na Tabela 8, e corrigidos para uma umidade de 12%, conforme mostrado na Tabela 9.

Tabela 8 – Propriedades de resistência e rigidez

$f_{b,d}$ (kN/cm ²)	$f_{t,0,d}$ (kN/cm ²)	$f_{t,90,d}$ (kN/cm ²)	$f_{c,0,d}$ (kN/cm ²)	$f_{c,90,d}$ (kN/cm ²)	$f_{v,d}$ (kN/cm ²)	$E_{0,m}$ (kN/cm ²)
1,872	1,872	0,093	1,440	0,360	0,168	565,714

Fonte: Autor (2024).

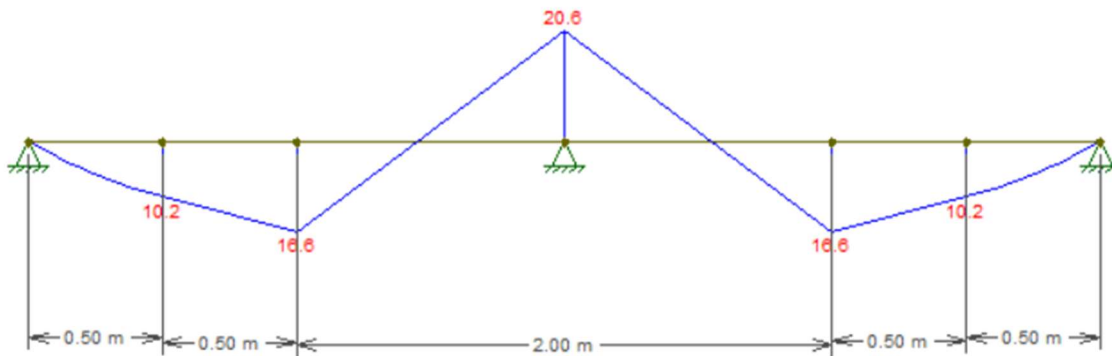
Tabela 9 – Propriedades de resistência e rigidez corrigidas para umidade de 12%

$f_{b,d}$ (kN/cm ²)	$f_{t,0,d}$ (kN/cm ²)	$f_{t,90,d}$ (kN/cm ²)	$f_{c,0,d}$ (kN/cm ²)	$f_{c,90,d}$ (kN/cm ²)	$f_{v,d}$ (kN/cm ²)	$E_{0,m}$ (kN/cm ²)
2,209	2,209	0,109	1,699	0,425	0,198	633,600

Fonte: Autor (2024).

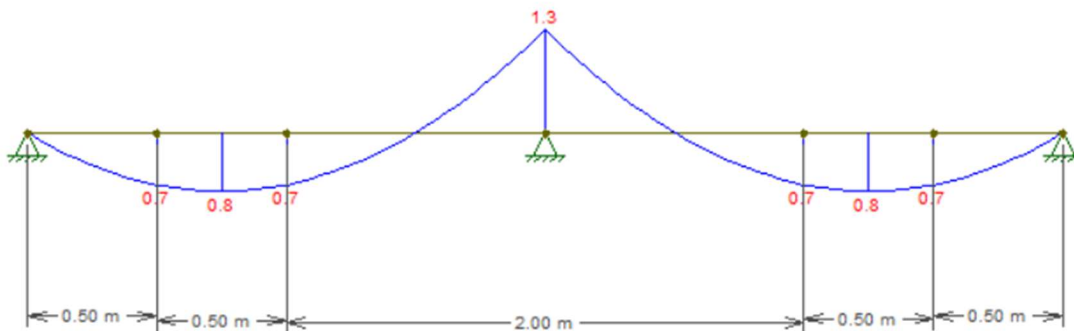
Com a ajuda da ferramenta Ftool, obteve-se os diagramas de esforços de momento fletor no tabuleiro. Na Figura 7 e 8, observa-se os valores considerando os carregamentos mencionados no item 3.2.

Figura 7 – Diagrama de momento fletor do tabuleiro devido a carga acidental (kNm)



Fonte: Autor (2024).

Figura 8 – Diagrama de momento fletor do tabuleiro devido ao peso próprio (kNm)



Fonte: Autor (2024).

Após a combinação dos diagramas, apresenta um momento fletor máximo positivo (tração), $M_{t,d}$, de 1790 kN.cm, e um momento fletor negativo (compressão), $M_{c,d}$, de 2140 kN.cm. O módulo de resistência da seção transversal na direção paralela às fibras (W) é de 1359,75 cm³, enquanto a resistência à flexão de cálculo da madeira escolhida é $f_{b,d} = 2,209$ kN/cm², conforme indicado na Tabela 9.

Com esses dados, a verificação de acordo com a norma para tensões dos momentos positivos e negativos pode ser realizada. Usando a Eq. (5), a condição de segurança é verificada, resultando para os momentos positivo e negativo de 0,596 e 0,712, respectivamente.

Após a combinação dos diagramas, apresenta uma força cortante máxima (V_d) de 40,6 kN e a área da seção transversal (A) é de 388,5 cm². Com esses dados, a verificação de acordo com a norma para tensões de cisalhamento pode ser realizada. Usando a Eq. (6), a condição de segurança é verificada, resultando em uma tensão de cisalhamento de 0,157, que é menor que o $f_{v,d}$ da Tabela 9.

Portanto, a estrutura do tabuleiro suportará os esforços solicitados, levando em consideração a seção, o material e as dimensões adotadas para a ponte em estrutura treliçada.

Por fim, faz-se o cálculo da flecha no ELS para o tabuleiro segundo a ABNT NBR7190-1:2022. Considera-se o coeficiente de fluência igual a 0,8 por ser madeira lamelada (MLC) de classe de umidade 3. Deste modo, os valores obtidos a partir da verificação estão representados na Tabela 10 e 11. Vale ressaltar que o módulo de elasticidade adotado é o valor fornecido pelo fabricante da Rewood para a madeira de Pinus, e ψ_2 tem seu valor definido em 0,3 para atender a norma brasileira ABNT NBR8681:2003.

Tabela 10 – Flecha instantânea do tabuleiro

Tabuleiro	$\delta_{inst,G,k}$ (mm)	$\delta_{inst,Q,k}$ (mm)	δ_{inst} (mm)	Valor Limite (mm)	Coefficiente de fluência	VS
1	0,0263	0,483	0,5093	13,33	0,8	ok

Fonte: Autor (2024).

Tabela 11 – Flecha final do tabuleiro

Tabuleiro	$\delta_{fin,G,k}$ (mm)	$\delta_{fin,Q,k}$ (mm)	δ_{fin} (mm)	Valor Limite (mm)	VS
1	0,05	0,26	0,31	26,67	ok

Fonte: Autor (2024).

4.2. Resultados da longarina

No dimensionamento da longarina, verificações de momento fletor e flecha serão realizadas conforme descrito no item 3.3 da metodologia, e também é necessário verificar a rigidez da estrutura. Neste estudo, obteve-se o valor da rigidez média das longarinas (ρ_l) e transversinas (ρ_t) seguindo as Eq. (8) e (9) iguais a $0,00058m^4$ e $0,0001m^4$, respectivamente. Assim, verifica-se a estrutura conforme a Eq. (6) chegando no valor de $\lambda = 0,150$. À medida que o parâmetro λ for menor, a eficiência do método aplicado será maior (Alves, 2004, p. 50).

Na sequência, o coeficiente de distribuição transversal é calculado considerando a Eq. (10), descrita no tópico 3.2, considera-se os valores de n , P e ε iguais a 3, 1kN e 2m, respectivamente. Assim, obtêm-se os coeficientes de distribuição transversal de carga que estão na Tabela 12.

Tabela 12 – Coeficientes para distribuição transversal de carga

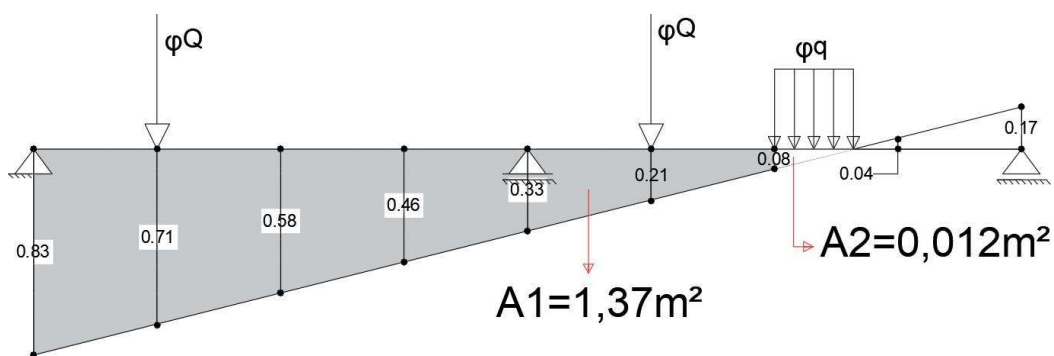
	Longarina 1	Longarina 2	Longarina 3
e (m)	R _i	R _i	R _i
-2,00	0,83	0,33	-0,17
-1,50	0,71	0,33	-0,04
-1,00	0,58	0,33	0,08
-0,50	0,46	0,33	0,21
0,00	0,33	0,33	0,33
0,50	0,21	0,33	0,46
1,00	0,08	0,33	0,58
1,50	-0,04	0,33	0,71
2,00	-0,17	0,33	0,83

Fonte: Autor (2024).

Assim, é possível traçar as linhas de influência de cada longarina com base nos valores de R_i , como mostrado nas Figuras 9, 10 e 11. Conforme os dados apresentados, os coeficientes de ponderação utilizados para majorar as cargas na ponte de 12 metros de vão com uma faixa de rodagem são: $CI V = 1,34$, $CNF = 1,05$ e $CI A = 1,25$.

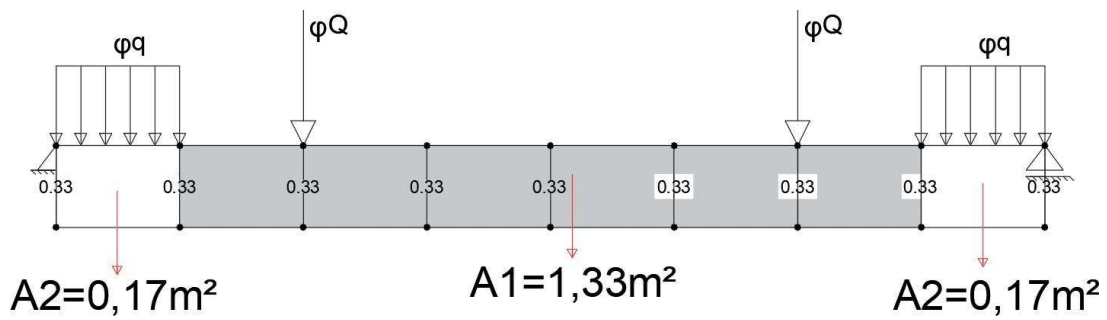
Dessa forma, o valor majorado é obtido multiplicando esses coeficientes pela carga por pneu (P), para a carga concentrada, ou pela carga distribuída (p). O resultado desse aumento de cargas é $\varphi Q = 88,06$ kN e $\varphi q = 8,81$ kN/m², resultando nos valores de carga concentrada do veículo-tipo em kN (Q_1), carga externa ou multidão em kN/m (q_1), e carga interna em kN/m (q_2). Esses valores são aplicados à seção transversal da ponte, considerando o cenário mais crítico, conforme ilustrado nas Figuras 9, 10 e 11, que também mostram as áreas correspondentes.

Figura 9 – Cargas majoradas na seção transversal para longarina 1



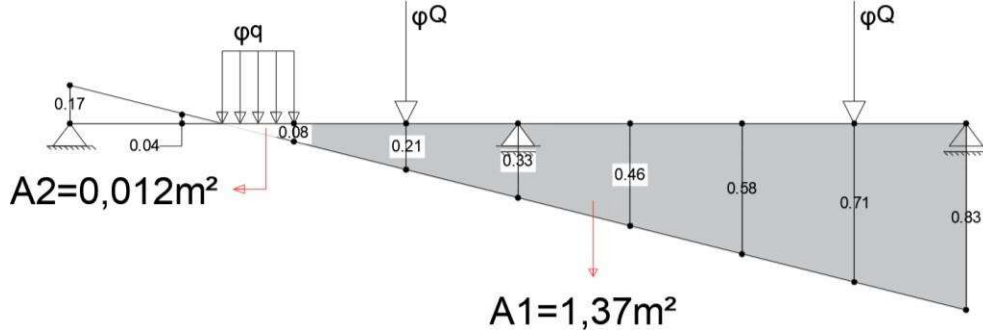
Fonte: Moura (2024).

Figura 10 - Cargas majoradas na seção transversal para longarina 2



Fonte: Moura (2024).

Figura 11 - Cargas majoradas na seção transversal para longarina 3



Fonte: Moura (2024).

Com esses resultados e aplicando o método de Engesser-Courbon, obtemos as cargas Q_1 , q_1 e q_2 , como descrito na Tabela 13 para cada longarina.

Tabela 13 – Resultados método de Engesser-Courbon

	Longarina 1	Longarina 2	Longarina 3
A_1 (m ²)	1,375	1,000	1,375
A_2 (m ²)	0,012	0,167	0,012
r_1	0,708	0,333	0,208
r_2	0,208	0,333	0,708
Q_1 (kN)	80,726	58,710	80,726
q_1 (kN/m)	12,215	10,274	12,215
q_2 (kN/m)	0,106	1,468	0,106

Fonte: Autor (2024).

O peso próprio das peças que formam a estrutura será considerado como a carga permanente da ponte de estrutura treliçada. Assim, multiplicando o volume total da estrutura pela densidade média da madeira escolhida, obtém-se o peso total. Esse peso será distribuído entre as longarinas de acordo com a respectiva faixa de influência. Os valores referentes ao peso próprio do tabuleiro e do rodeiro estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Peso próprio do tabuleiro e rodeiro da ponte

Peso Próprio	Tabuleiro	Rodeiro
Volume de uma peça (m ³)	0,155	0,070
Densidade (kN/m ³)	5,500	5,500
Quantidade de peças	56,000	24,000
Peso próprio do tabuleiro (kN)	47,863	9,231
Área do tabuleiro (m ²)	48,000	26,640
Carga distribuída (kN/m ²)	0,997	0,347

Fonte: Autor (2024).

As faixas de influência para as longarinas nas extremidades (longarinas 1 e 3) da seção transversal são de 1 metro cada, enquanto a longarina central (longarina 2) tem uma faixa de influência de 2 metros. Assim, o peso próprio do rodeiro e do tabuleiro para cada longarina é calculado multiplicando a carga distribuída pela respectiva faixa de influência. Os resultados desse cálculo estão mostrados na Tabela 15.

Tabela 15 – Peso próprio por longarina

	PP tabuleiro p/ longarina (kN/m)	PP rodeiro p/ longarina (kN/m)
Longarina 1	0,99715	0,3465
Longarina 2	1,9943	0,693
Longarina 3	0,99715	0,3465

Fonte: Autor (2024).

O peso próprio de cada longarinas é apresentado na Tabela 16, calculado separadamente para cada peça que compõe a treliça, banzo superior, banzo inferior, montante e diagonal, levando em consideração o comprimento (L) a base (b) e a altura (h), de cada peça.

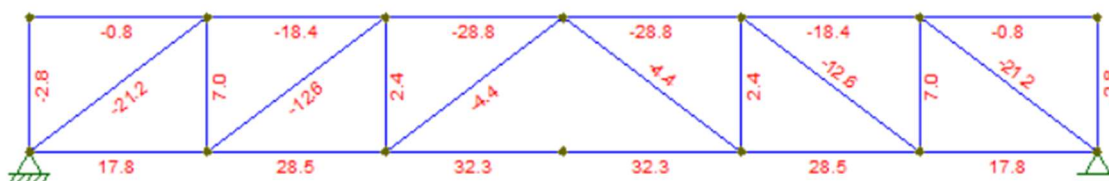
Tabela 16 – Peso próprio treliça

	L (m)	b (m)	h (m)	ρ (kN/m ³)	Vol. (m ³)	Quant.	Peso Total (kN)	Peso Total (kN/m)
Banzo Superior	12,00	0,185	0,336	5,50	0,746	1	4,10	0,34
Banzo Inferior	12,00	0,185	0,336	5,50	0,746	1	4,10	0,34
Diagonais	1,50	0,185	0,168	5,50	0,047	12	3,08	0,26
Montantes	2,50	0,185	0,168	5,50	0,078	12	5,13	0,43
Total							16,41	1,37

Fonte: Autor (2024).

A carga permanente (G) por longarina será a soma dos pesos próprios evidenciados anteriormente. Desta forma, a longarina 1 e 3 (extremidades) terão um carregamento permanente distribuído de 2,71kN/m, enquanto a longarina 2 (centro) será de 4,05kN/m. Os diagramas de esforço normal das treliças em relação ao peso próprio e cargas móveis são retratados nas Figuras 12, 13, 14 e 15.

Figura 12 – Esforço normal longarinas 1 e 3 decorrente do peso próprio



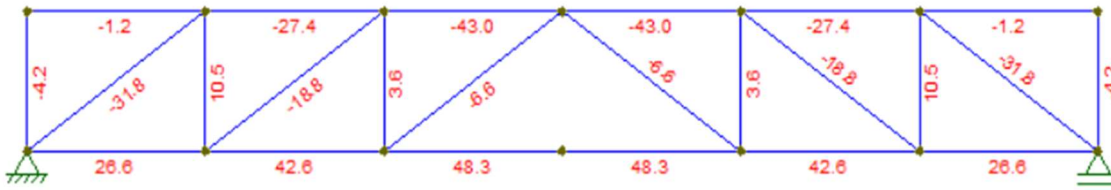
Fonte: Autor (2024).

Figura 13 – Esforço normal longarinas 1 e 3 decorrente da carga móvel



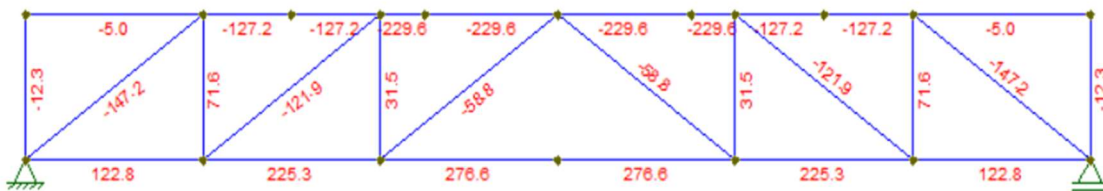
Fonte: Autor (2024).

Figura 14 – Esforço normal longarina 2 decorrente do peso próprio



Fonte: Autor (2024).

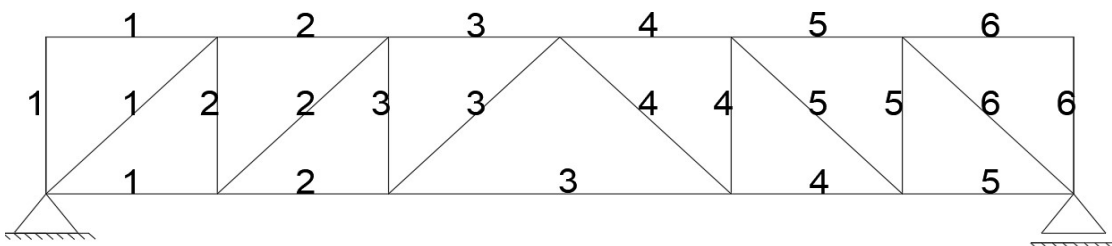
Figura 15 – Esforço normal longarina 2 decorrente da carga móvel



Fonte: Autor (2024).

A partir dos diagramas de esforços normais gerados com a ferramenta Ftool, são feitas as combinações últimas normais para o ELU da estrutura. Isso permite comparar os esforços solicitantes com os esforços resistentes, garantindo a validação das longarinas de acordo com a norma ABNT NBR 7190-1:2022. As peças da treliça foram numeradas, como mostrado na Figura 16, para facilitar sua identificação na Tabela 17 e 18, na coluna intitulada "PEÇA".

Figura 16 – Identificação das peças das treliças



Fonte: Moura (2024).

Para combinação última normal (ELU), os coeficientes de ponderação das ações permanentes e acidentais são 1,35 e 1,5, respectivamente, conforme a norma brasileira ABNT NBR8681:2003. As áreas das seções são 621,6cm² para o banzo inferior e superior, e de 310,8cm² para diagonais e montantes. Desta forma as Tabelas 17 e 18 representam as combinações realizadas e as tensões de resistência (σ_R) e tensões solicitantes (σ_S) para as longarinas e realizar sua verificação de segurança (VS) garantindo que a tensão solicitante seja menor que a tensão de resistência.

Tabela 17 – Esforços nas peças das longarinas 1 e 3

Elemento	Carregamento (kN)			Área (cm ²)	σ_R (kN/cm ²)	σ_S (kN/cm ²)	VS	
	F_{gk}	F_{qk}	Combinação ELU					
Banzo Superior	S1	-0,8	-4,2	621,6	1,70	0,01	ok	
	S2	-18,4	-113,8			-185,08	0,30	ok
	S3	-28,8	-213,9			-339,78	0,55	ok
	S4	-28,8	-213,9			-339,78	0,55	ok
	S5	-18,4	-113,8			-185,08	0,30	ok
	S6	-0,8	-4,2			-7,00	0,01	ok
Banzo Inferior	I1	17,8	109,5	621,6	2,21	0,29	ok	
	I2	28,5	209,8			333,62	0,54	ok
	I3	32,3	260,9			410,48	0,66	ok
	I4	32,3	260,9			410,48	0,66	ok
	I5	28,5	209,8			333,62	0,54	ok
	I6	17,8	109,5			178,22	0,29	ok
Diagonal	D1	-21,2	-131,3	310,8	1,70	0,69	ok	
	D2	-12,6	-119,4			-184,8	0,59	ok
	D3	-4,4	-58,7			-88,34	0,28	ok
	D4	-4,4	-58,7			-88,34	0,28	ok
	D5	-12,6	-119,4			-184,8	0,59	ok
	D6	-21,2	-131,3			-213,5	0,69	ok
Montante	M1	-2,8	-7,5	310,8	1,70	0,05	ok	
	M2	7,0	71,1			109,34	0,35	ok
	M3	2,4	31,1			46,90	0,15	ok
	M4	2,4	31,1			46,90	0,15	ok
	M5	7,0	71,1			109,34	0,35	ok
	M6	-2,8	-7,5			-14,42	0,05	ok

Fonte: Autor (2024).

Tabela 18 – Esforços nas peças da longarina 2

Elemento	Carregamento (kN)			Área (cm ²)	σR (kN/cm ²)	σS (kN/cm ²)	VS	
	F_{gk}	F_{qk}	Combinação ELU					
Banzo Superior	S1	-1,2	-5	-8,68	621,6	1,70	0,01	ok
	S2	-27,4	-127,2	-216,44	621,6	1,70	0,35	ok
	S3	-43	-228,8	-380,52	621,6	1,70	0,61	ok
	S4	-43	-228,8	-380,52	621,6	1,70	0,61	ok
	S5	-27,4	-127,2	-216,44	621,6	1,70	0,35	ok
	S6	-1,2	-5	-8,68	621,6	1,70	0,01	ok
Banzo Inferior	I1	26,6	122,8	209,16	621,6	2,21	0,34	ok
	I2	42,6	224,7	374,22	621,6	2,21	0,60	ok
	I3	48,3	275,6	453,46	621,6	2,21	0,73	ok
	I4	48,3	275,6	453,46	621,6	2,21	0,73	ok
	I5	42,6	224,7	374,22	621,6	2,21	0,60	ok
	I6	26,6	122,8	209,16	621,6	2,21	0,34	ok
Diagonal	D1	-31,8	-147	-250,32	310,8	1,70	0,81	ok
	D2	-18,8	-121,1	-195,86	310,8	1,70	0,63	ok
	D3	-6,6	-58,6	-91,28	310,8	1,70	0,29	ok
	D4	-6,6	-58,6	-91,28	310,8	1,70	0,29	ok
	D5	-18,8	-121,1	-195,86	310,8	1,70	0,63	ok
	D6	-31,8	-147	-250,32	310,8	1,70	0,81	ok
Montante	M1	-4,2	-12,3	-23,1	310,8	1,70	0,07	ok
	M2	10,5	71	114,1	310,8	1,70	0,37	ok
	M3	3,6	31,3	48,86	310,8	1,70	0,16	ok
	M4	3,6	31,3	48,86	310,8	1,70	0,16	ok
	M5	10,5	71	114,1	310,8	1,70	0,37	ok
	M6	-4,2	-12,3	-23,1	310,8	1,70	0,07	ok

Fonte: Autor (2024).

Verifica-se que os valores de resistência superam as solicitações, o que indica que a estrutura treliçada está em conformidade com a norma vigente. Para as peças submetidas à compressão, a norma exige a verificação da estabilidade lateral. No caso da estrutura treliçada, foi considerado o maior esforço de compressão em cada peça para essa análise.

Tabela 19 – Esbeltez e Coeficientes

	N_d (kN)	L_0 (cm)	I_x (cm ⁴)	I_y (cm ⁴)	A (cm ²)
Banzo superior	-380,52	200	58.480,13	17.728,55	621,60
Montante	-250,32	250	7.310,02	8.864,27	310,80
Diagonal	-12,3	150	7.310,02	8.864,27	310,80

Fonte: Autor (2024).

Tabela 20 – Esbeltez e Coeficientes

λ_x	λ_y	λ_{relx}	λ_{rely}	k_x	k_y	k_{cx}	k_{cy}	σN_{cd} (kN/cm ²)
20,6	37,4	0,4	0,7	0,6	0,8	1,0	0,9	0,61
51,5	46,8	1,0	0,9	1,0	1,0	0,8	0,8	0,81
30,9	28,1	0,6	0,6	0,7	0,7	1,0	1,0	0,04

Fonte: Autor (2024).

Considerando os valores apresentados na Tabela 19 e 20 e a Eq. (21), obteve-se para a verificação de estabilidade, considerando a peça mais solicitada do banzo superior, diagonal e montante, os valores iguais a 0,36, 0,62, e 0,02, respectivamente em x e 0,39, 0,57, 0,02, respectivamente em y. Observa-se que todos os valores foram inferiores a 1,0, valor de referência para atender ao critério normativo. Logo, todas as peças atendem aos critérios de estabilidade da norma.

Por fim, faz-se o cálculo da flecha no ELS segundo a ABNT NBR7190-1:2022. Considera-se o coeficiente de fluência igual a 0,8 por ser madeira lamelada (MLC) de classe de umidade 3. Deste modo, os valores obtidos a partir da verificação estão representados na Tabela 21 e 22. Vale ressaltar que o módulo de elasticidade adotado é o valor fornecido pelo fabricante da Rewood para a madeira de pinus, e ψ_2 tem seu valor definido em 0,3 para atender a norma brasileira ABNT NBR 8681:2003.

Tabela 21 – Flecha inicial

Longarinas	$\delta_{inst,G,k}$ (mm)	$\delta_{inst,Q,k}$ (mm)	δ_{inst} (mm)	Valor Limite (mm)	Coeficiente de fluência	Verificação
1	1,47	11,49	12,96	40	0,8	ok
2	2,2	12,21	14,41	40	0,8	ok
3	1,47	11,49	12,96	40	0,8	ok

Fonte: Autor (2024).

Tabela 22 – Flecha final

Longarinas	$\delta_{fin,G,k}$ (mm)	$\delta_{fin,Q,k}$ (mm)	δ_{fin} (mm)	Valor Limite (mm)	Verificação
1	2,65	6,20	8,85	80	ok
2	3,96	6,59	10,55	80	ok
3	2,65	6,20	8,85	80	ok

Fonte: Autor (2024).

Os valores das flechas iniciais foram obtidos por meio do software Ftool, e a ponte em estrutura treliçada está em conformidade com a norma vigente. A flecha limite em vigas é um parâmetro essencial no dimensionamento de estruturas, especialmente em situações onde o conforto e a estética são relevantes. A flecha corresponde à deflexão vertical máxima que a estrutura treliçada pode atingir, e o valor limite estabelecido é de 8cm. Essa restrição garante que a deformação da viga permaneça dentro de níveis aceitáveis, assegurando um ambiente seguro e confortável.

5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, pontua-se que as peças da estrutura da ponte atenderam aos requisitos estabelecidos pela norma brasileira ABNT NBR 7190-1:2022. No dimensionamento, para a estrutura treliçada foram utilizadas peças de madeira laminada colada (MLC) de 18,5 cm por 33,6 cm para os banzos superiores e inferiores e de 18,5 cm por 16,8 cm para os montantes e diagonais, sendo madeira de Pinus com suas propriedades fornecidas pela Rewood. Para as pranchas do tabuleiro utilizou-se peças com seção transversal de 18,5 cm de largura, 21 cm de altura e 4 metros de comprimento.

O presente trabalho possibilitou o dimensionamento de uma estrutura de ponte treliçada utilizando peças de madeira laminada colada (MLC). O uso de MLC se destaca por suas características sustentáveis, apresentando diversas vantagens em relação à madeira convencional. Uma das principais vantagens é o aproveitamento eficiente dos recursos florestais, pois a MLC permite o uso de madeiras de menor qualidade ou pequenos fragmentos que, unidos por colagem, resultam em peças de alta resistência e durabilidade, reduzindo o desperdício de matéria-prima.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a investigação de outros tipos de madeira que possam ser usados na fabricação de MLC, buscando ampliar o leque de materiais disponíveis e adaptáveis para diferentes condições ambientais e de carga. Também seria interessante estudar o comportamento das estruturas de MLC sob condições extremas de umidade e temperatura, para avaliar a durabilidade e a necessidade de manutenção ao longo do tempo. Por fim, pesquisas que analisem o custo-benefício da MLC em comparação com outros materiais, considerando o ciclo de vida completo das estruturas, podem oferecer novas perspectivas para a adoção de soluções sustentáveis na engenharia civil.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188:** Ações devido ao tráfego de veículos rodoviários e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190:** Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-1:** Projeto de estruturas de madeira parte 1: Critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681:** Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

GÓIS, R. B. Trabalho de conclusão de curso: Dimensionamento das Peças de uma Ponte de Madeira com Estrutura em Estrutura treliçada. Uberlândia,2022.

JUNIOR, C. C. et al. **Manual de projeto e construção de pontes de madeira.** Universidade de São Paulo. São Carlos. 2006.

MOURA, V. S. **Verificação de uma ponte de madeira com estrutura treliçada de acordo com a NBR 7190:2022.** Universidade Federal de Uberlândia. 2024.

PFEIL, W. E. **Estruturas de madeira.** Rio de Janeiro: LTC. 2003.

SHIGUE, M. **Construções em madeira no Brasil: desafios e perspectivas.** São Paulo: Blucher. 2018.

CALIL JUNIOR, C. **Pontes de madeira no Brasil: situação atual e perspectivas.** São Carlos: EESC-USP. 2006.