



2024

Impacto da aplicação de carga fora dos nós em treliças de madeira

Denise Ferreira de Oliveira ^a; Christiane Areias Trindade ^b

^a Aluna de Graduação em Engenharia Civil, denise.f.oliveira@ufms.br

^b Professora Orientadora, Dra., christiane.trindade@ufms.br

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

RESUMO

Treliças de madeira são amplamente utilizadas em coberturas de edifícios, pontes e outras estruturas devido à sua eficiência estrutural e sustentabilidade, pois a madeira é um material leve em comparação com o aço ou o concreto, o que facilita o transporte, manuseio e montagem da estrutura. Este estudo investiga os efeitos da aplicação de cargas fora dos nós em treliças de madeira, uma questão cada vez mais relevante devido à complexidade das forças envolvidas e à importância dessas estruturas na construção civil. Quando cargas são aplicadas em pontos não projetados para suportá-las, surgem respostas estruturais não convencionais que afetam a segurança e durabilidade da estrutura. Esses efeitos são analisados neste trabalho seguindo as exigências da NBR 7190-1 (ABNT, 2022) juntamente com cálculos estruturais realizados através do software Ftool, onde foram considerados treliças do tipo Howe e Warren. Diante disso, foi observado que a introdução de cargas fora dos nós gera momentos fletores e forças cortantes que alteram significativamente o comportamento estrutural esperado. Além disso, a geometria da treliça e a distribuição de cargas também desempenham um papel importante na minimização dos efeitos da flexão por compressão. Este estudo oferece insights importantes sobre os efeitos dessas cargas e propõe diretrizes práticas para a engenharia civil.

Palavras-chave: Dimensionamento, flexo-compressão, Treliça, NBR 7190-1.

ABSTRACT

Wooden trusses are widely used in building roofs, bridges, and other structures due to their structural efficiency and sustainability. Wood is lightweight compared to steel or concrete, which facilitates the transportation, handling, and assembly of the structure. This study investigates the effects of applying loads away from the nodes in wooden trusses, an increasingly relevant issue due to the complexity of the forces involved and the importance of these structures in civil construction. When loads are applied at points not designed to support them, unconventional structural responses arise that affect the safety and durability of the structure. These effects are analyzed in this work following the requirements of NBR 7190 (ABNT, 2022) together with structural calculations performed using the Ftool software, considering Howe and Warren type trusses. It was observed that introducing loads away from the nodes generates bending moments and shear forces that significantly alter the expected structural behavior. Additionally, the truss geometry and load distribution also play an important role in minimizing the effects of bending due to compression. This study provides valuable insights into the effects of these loads and proposes practical guidelines for civil engineering.

Keywords: NBR 7190, design, flexo-compression.

1. INTRODUÇÃO

O estudo dos efeitos de aplicação de cargas fora dos nós em treliças de madeira tem atraído crescente interesse devido à complexidade das forças envolvidas e à importância dessas estruturas na construção civil. As treliças de madeira são amplamente utilizadas em coberturas de edificações, pontes e outras estruturas devido à sua eficiência

estrutural e sustentabilidade. No entanto, a aplicação de cargas em pontos fora dos nós, ou seja, em locais não projetados especificamente para suportar cargas, pode gerar respostas estruturais não convencionais que precisam ser compreendidas e mitigadas para garantir a segurança e durabilidade da estrutura.

De acordo com McCormac e Nelson (2006), a análise convencional de treliças assume que as cargas são aplicadas exclusivamente nos nós, onde as forças

internas são puramente axiais. Quando as cargas são aplicadas fora dos nós, surgem momentos fletores e forças cortantes que alteram o comportamento esperado da estrutura, resultando em uma análise estrutural mais complexa.

Além disso, estudos recentes indicam que a rigidez e a resistência das ligações entre os elementos de madeira desempenham um papel crucial na resposta estrutural a essas cargas. Segundo Machado e Dias (2019), a rigidez das ligações é um fator determinante na distribuição de tensões e deformações em treliças de madeira, especialmente quando submetidas as cargas fora dos nós. Essas considerações são fundamentais para o desenvolvimento de métodos de projeto mais precisos e seguros.

O objetivo deste estudo é investigar os efeitos da aplicação de cargas fora dos nós em treliças de madeira, especificamente em treliças do tipo Howe e Warren, avaliando as variações de tensões e estabilidade na flexo-compressão. Espera-se que os resultados contribuam para uma compreensão mais profunda do comportamento dessas estruturas e para a formulação de recomendações de projeto que melhorem a segurança e a eficiência das treliças de madeira.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

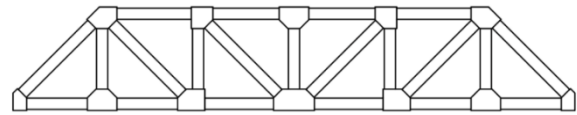
2.1. Treliças

Uma treliça é uma estrutura composta por elementos lineares conectados em seus extremos para formar uma rede de triângulos rígidos. Essa configuração permite que a estrutura suporte grandes cargas enquanto minimiza o peso total. Segundo Breyer et al. (2019), treliças são usadas para proporcionar uma solução estrutural eficiente, econômica e versátil em muitas aplicações de construção. Em termos técnicos, uma treliça é definida como um sistema estrutural formado por barras retas interconectadas por nós, onde os elementos se comportam principalmente em compressão e tração. Essa configuração triangular garante rigidez e estabilidade à estrutura, além de otimizar o uso de material, resultando em uma solução leve e eficiente. A variedade de tipos de treliças existentes se baseia em diferentes configurações geométricas e na disposição dos elementos que as compõem. Entre os tipos mais comuns, podemos destacar:

1) *Treliça Pratt*: A treliça Pratt é caracterizada por suas diagonais que se estendem dos nós inferiores para os nós superiores (veja a Figura 1), inclinadas de

forma que suportem tração, enquanto as barras verticais estão em compressão. De acordo com Aghayere e Vigil (2017), a treliça Pratt é uma das configurações mais eficientes devido à maneira como distribui cargas, sendo amplamente utilizada em pontes e edifícios industriais.

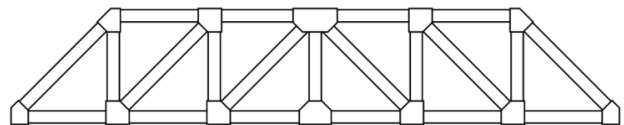
Figura 1 – Treliça tipo Pratt.



Fonte: QualifiCAD | Por Luís André (2021)

2) *Treliça Howe*: Ao contrário da treliça Pratt, as diagonais da treliça Howe, como mostrado na Figura 2, se inclinam na direção oposta, ficando em compressão, enquanto as verticais estão sob tração. Breyer et al. (2019), afirmam que a treliça Howe é frequentemente empregada em estruturas de telhados e pontes devido à sua capacidade de suportar grandes cargas verticais.

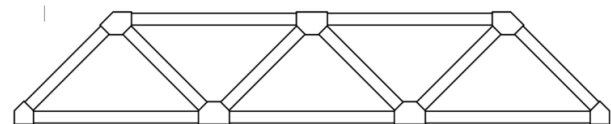
Figura 2 – Treliça tipo Howe.



Fonte: QualifiCAD | Por Luís André (2021)

3) *Treliça Warren*: A treliça Warren é composta por triângulos equiláteros ou isósceles (veja a Figura 3), onde todas as diagonais alternam entre tração e compressão. Segundo Aghayere e Vigil (2017), a treliça Warren oferece uma distribuição uniforme de carga, tornando-a ideal para pontes e estruturas de telhado.

Figura 3 – Treliça tipo Warren.



Fonte: QualifiCAD | Por Luís André (2021)

2.1.1. Treliças de madeira

As treliças de madeira são estruturas compostas por elementos lineares conectados em uma configuração triangular, utilizadas amplamente em construções devido à sua eficiência estrutural e leveza. Essas estruturas permitem a distribuição eficaz das cargas, otimizando o uso de material. Segundo Silva et al. (2020), as treliças de madeira são essenciais em diversos sistemas estruturais, proporcionando uma combinação de resistência, durabilidade e economia de material.

A configuração triangular das treliças é crucial para sua rigidez e estabilidade, permitindo que as forças sejam distribuídas através das barras, que atuam principalmente em tensão e compressão. De acordo com Lima et al. (2018), a geometria triangular das treliças de madeira confere uma rigidez superior, distribuindo as cargas aplicadas de forma eficiente e minimizando a deformação.

2.2. Dimensionamento de treliças de madeira

O dimensionamento de treliças de madeira envolve a análise das cargas aplicadas, a determinação das forças internas nas barras e a verificação da resistência e estabilidade de cada componente, conforme os requisitos das normas técnicas. O primeiro passo no dimensionamento é a identificação das cargas que a treliça suportará, incluindo cargas permanentes, como o peso próprio e revestimentos, e cargas variáveis, como vento e neve. Segundo Souza et al. (2019), a avaliação precisa das cargas atuantes é fundamental para o dimensionamento adequado das treliças de madeira, garantindo a segurança e a durabilidade da estrutura.

A análise estrutural envolve a determinação das forças internas nas barras da treliça, que pode ser realizada por métodos clássicos ou com o auxílio de softwares de análise estrutural. Silva et al. (2020), afirmam que a utilização de ferramentas computacionais permite uma análise mais precisa e detalhada das forças internas, facilitando o dimensionamento das barras da treliça.

O dimensionamento das barras considera as propriedades mecânicas da madeira, como resistência à compressão e à tração, seguindo diretrizes normativas. No Brasil, os critérios a serem seguidos são regidos pela NBR 7190-1 (ABNT, 2022), que estabelece as dimensões mínimas da seção transversal e esbelteza máxima.

No critério de dimensionamento à tração, as peças principais tracionadas devem atender as disposições de área mínima de 50 cm² e espessura mínima de 5

cm. Além disso, as peças secundárias sujeitas ao esforço de tração devem possuir área mínima de 18 cm² e espessura mínima de 2,5 cm. No critério de esbelteza, para seções retangulares, o comprimento teórico de cada peça deve ser menor ou igual a cinquenta vezes a dimensão transversal correspondente ($L_0 \leq 50b$, sendo b o menor lado da seção). Deste modo, a norma estabelece a condição de segurança da peça como: $\sigma_d \geq f_{to,d}$, onde σ_d é a tensão atuante na peça e $f_{to,d}$ a resistência à tração paralela as fibras, de cálculo.

No dimensionamento à compressão simples, o comprimento teórico de referência deverá ser menor ou igual a 40 vezes a dimensão transversal correspondente ($l_0 \leq 40b$ ou $\lambda \leq 140$).

A resistência à tração paralela as fibras podem ser analisadas considerando:

$$f_{co,d} = f_{to,d}, \quad (1)$$

$$f_{co,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{co,k}}{\gamma_w}, \quad (2)$$

onde k_{mod} é coeficiente de modificação:

$$k_{mod} = k_{mod,1} \cdot k_{mod,2} \quad (3)$$

e $k_{mod,1}$ considera a classe de carregamento e o tipo de material empregado enquanto $k_{mod,2}$ considera a classe de umidade e também o tipo de material empregado. f_k : resistência característica da madeira; γ_w : 1,4 para compressão paralela as fibras, γ_w : 1,8 para tração paralela as fibras e γ_w : 1,8 para cisalhamento paralelo as fibras.

A tensão atuante na peça é dada por:

$$\sigma_d = \frac{N_d}{A} \quad (4)$$

σ_d : tensão atuante de cálculo [MPa];

N_d : força normal atuante [kN];

A : área da seção transversal [m²].

O efeito de flambagem pode também ser analisado de acordo com a norma NBR7190-1 (ABNT, 2022), onde a verificação do estado limite último de instabilidade da peça deve ser feito com base no índice de esbelteza. No caso da análise de instabilidade na flexão composta, é essencial levar em conta a diminuição da capacidade resistente à compressão. Diante disso, temos:

$$\lambda_{rel} \geq 0,3 \quad (5)$$

$$\lambda_{rel,x} = \frac{\lambda_x}{\pi} \sqrt{\frac{f_{co,k}}{E_{0,05}}} \quad (6)$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{co,k}}{E_{0,05}}} \quad (7)$$

Onde:

λ_{rel} : índice de esbeltez relativo;

$f_{co,k}$: resistência à compressão paralela às fibras [MPa];

$E_{0,05}$: Módulo de elasticidade na direção paralela às fibras [MPa].

No caso de flexão composta, os esforços de compressão e de momento fletor geram o efeito de flexo-compressão. Tal combinação deve satisfazer a expressão de interação indicada a seguir:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{k_{cx} f_{co,d}} + \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{co,d}} \leq 1 \quad (8)$$

$$\frac{\sigma_{Nd}}{k_{cy} f_{co,d}} \leq 1 \quad (9)$$

Onde:

$F_{co,d}$: resistência à compressão paralela às fibras, de cálculo.

k_{cx} : pode ser obtido através da expressão:

$$k_{cx,y} = \frac{1}{k_{x,y} + \sqrt{(k_{x,y})^2 + (\lambda_{rel,x,y})^2}} \quad (10)$$

e, k_x e k_y , por:

$$k_{x,y} = 0,5 * [1 + \beta c * (\lambda_{rel,x,y} - 0,3) + (\lambda_{rel,x,y})^2] \quad (11)$$

βc : fator para peças estruturais que atendam aos limites de divergência de alinhamento, sendo, para madeira maciça serrada e peças roliças: $\beta c = 0,2$.

De acordo com Lima et al. (2018), a verificação das propriedades da madeira e a aplicação das normas técnicas garantem que as barras sejam dimensionadas para suportar as forças internas de maneira segura e eficiente. A estabilidade das barras, especialmente aquelas sujeitas à compressão, é verificada para evitar flambagem e outros modos de falha. Souza et al. (2019), destacam que a verificação da estabilidade é crucial para prevenir a flambagem das barras

comprimidas, garantindo a integridade estrutural da treliça.

Ao projetar estruturas de madeira para coberturas, deve-se observar as especificações das normas de sobrecargas e ações, NBR 6120 (ABNT, 2019), NBR 6123 (ABNT, 2023) e ABNT NBR 8681 (ABNT, 2003), que estabelecem os critérios necessários em relação às cargas a serem consideradas, dentre esses critérios temos:

Para coberturas comuns, com inclinação igual ou superior a 3 %, não sujeitas a carregamentos atípicos, e na ausência de especificação em contrário, deve ser prevista uma sobrecarga vertical característica mínima de 0,25 kN/m² de área construída, em projeção horizontal. Para se considerar o processo construtivo, uma força de 1 kN deve ser prevista na posição mais desfavorável de elementos construtivos com vão superior a 70 cm. Nas coberturas especiais, a sobrecarga deve ser determinada de acordo com a finalidade desta.

Para projetar uma treliça capaz de lidar com cargas aplicadas fora dos nós, é importante realizar análises estruturais detalhadas, considerando as cargas esperadas, a geometria da treliça, área da seção e as propriedades dos materiais utilizados.

Tais resultados podem ser obtidos através de softwares de análise estrutural ou cálculos manuais baseados em princípios de engenharia estrutural. Além disso, a seleção adequada de conexões e reforços estruturais pode ajudar a melhorar a capacidade da treliça de resistir a cargas externas.

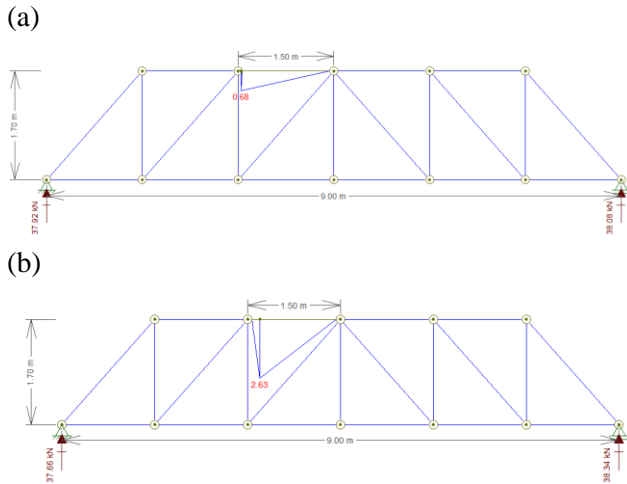
3. METODOLOGIA

Para o estudo do impacto da aplicação de cargas fora dos nós em treliças de madeira, foi adotado a seguinte metodologia: estruturou-se uma treliça com uma carga aplicada fora do nó, variando a distância de aplicação entre 5 cm e 20 cm, devido à instabilidade na execução, tanto pela dimensão da peça quanto pela prática do executor. Para cada configuração de carregamento, foi calculado os esforços nas barras de maior esforço de compressão conforme a aplicação das cargas nos nós e verificado a conformidade dessas barras com os critérios da NBR 7190-1 (ABNT, 2022). Como exemplo, nas Figuras 4 e 5 é exibido a variação do momento fletor em função da distância de aplicação de carga para treliça do tipo Howe e Warren, respectivamente.

Para as análises obtidas neste presente artigo, foi utilizado o software Ftool (programa Gráfico-

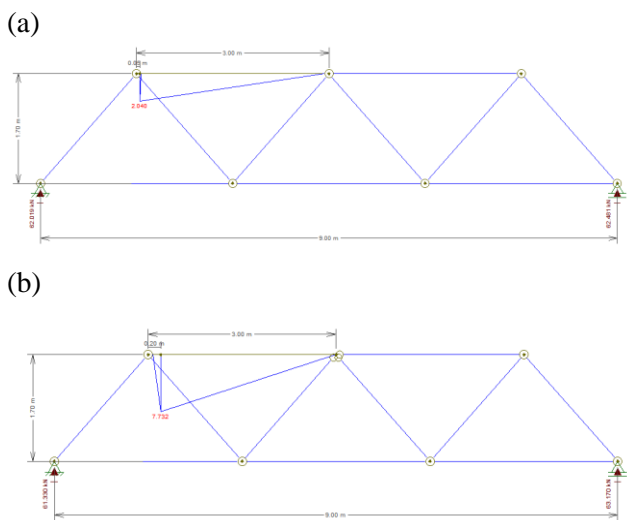
Interativo para Ensino de Comportamento de Estruturas Versão 4.01, MARTHA, 2012).

Figura 4 – Efeito da variação do momento fletor conforme o distanciamento da carga na treliça tipo Howe em (a) 5cm – $M_f = 0,68 \text{ kN.m}$ e (b) 20 cm – $M_f = 2,63 \text{ kN.m}$.



Fonte: Autor

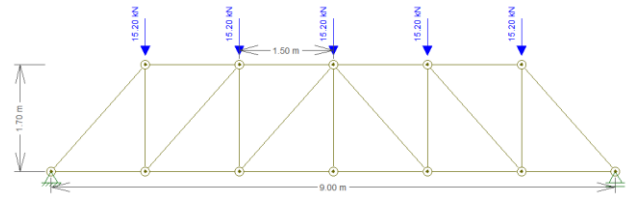
Figura 5 – Efeito da variação do momento fletor conforme o distanciamento da carga na treliça tipo Warren em (a) 5cm – $M_f = 2,04 \text{ kN.m}$ e (b) 20 cm – $M_f = 7,73 \text{ kN.m}$.



Fonte: Autor

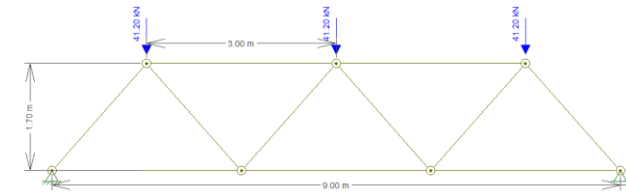
Dentre os diversos modelos de treliças planas existentes, foram escolhidos os modelos mais utilizados na construção civil, com as concepções e verificações dos modelos Howe e Warren com 1,5 metro e 3 m de distância entre os nós no banzo superior, respectivamente. Para ambas as treliças, adotou-se 9 m de comprimento com altura de 1,70 m, como representadas nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 – Treliça modelo tipo Howe.



Fonte: Autor

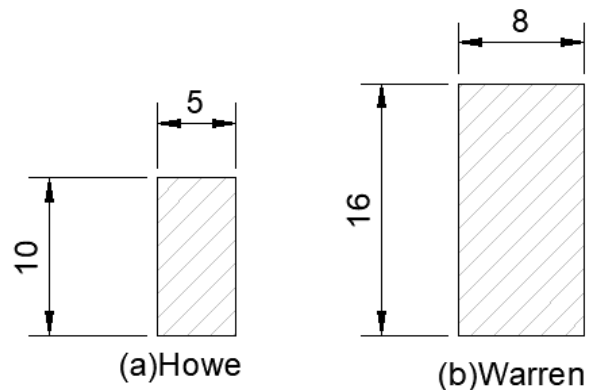
Figura 7 – Treliça modelo tipo Warren.



Fonte: Autor

A fim de realizar as verificações, foram adotadas cargas máximas para cada tipo de treliça para atender as condições de segurança quando aplicadas no nó ($d=0 \text{ cm}$). Para o modelo de treliça tipo Howe foram aplicadas cargas de 15,2 kN na qual gera uma normal de aproximadamente 35 kN na barra mais comprimida, e seção de 5x10 centímetros. Para treliça tipo Warren, houve o aumento da área da seção para 8x16 centímetros, para que atenda o índice de esbeltez ($\lambda < 140$) determinado por norma, em sua direção mais crítica, consequentemente aumentou-se a carga para 41,2 kN na qual gera uma normal de aproximadamente 73 kN na barra mais comprimida. Ambas treliças foram consideradas as características da madeira do tipo folhosa D30.

Figura 8 – Seções (a)treliça tipo Howe, (b)treliça tipo Warren.



Dimensões em centímetros

Fonte: Autor

Desse modo e com tais informações é possível lançar as concepções das treliças no software. Vale ressaltar que essas seções foram escolhidas porque são suficientes para suportar os esforços solicitantes na treliça quando as cargas estão aplicadas no nós, tal como deve ser feito, de acordo com as hipóteses de treliça.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para obter os efeitos de cortante e momentos fletores atuantes nas barras, foi utilizado o software Ftool (MARTHA, 2012), no qual foram simuladas situações na qual a carga é aplicada entre 5 a 20 centímetros fora do nó.

Assim, foram comparados os esforços numa barra de maior impacto devido a aplicação da carga nas treliças do tipo Howe de seção 5x10 cm e do tipo Warren de seção 16x8 cm.

4.1. Carga aplicada nos nós

Para cargas aplicadas nos nós ($d = 0$ cm), a condição de segurança de estabilidade para ambas as treliças, Howe e Warren, é satisfeita. Utilizando a Equação (8), os coeficientes de segurança de estabilidade encontrados foram, respectivamente, 0,9696 e 0,9864.

O coeficiente de segurança desempenha um papel fundamental na análise, pois garante que a estrutura possa suportar cargas maiores do que as previstas no projeto, proporcionando um fator de segurança adicional.

4.2. Carga aplicada fora dos nós

A aplicação de cargas fora dos nós em uma treliça pode ter várias influências significativas no comportamento e na integridade estrutural da barra. A seguir, estão apresentadas algumas dessas influências:

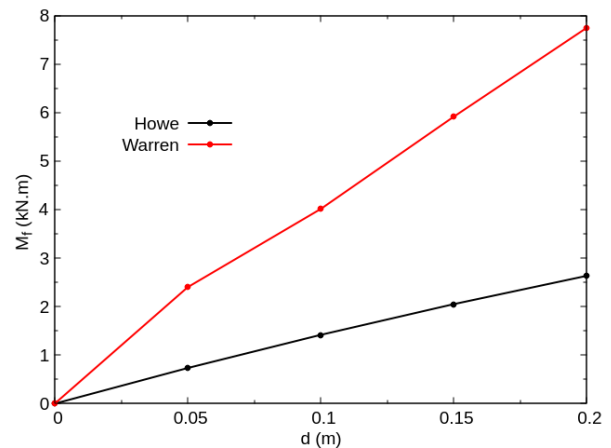
4.2.1 Momentos fletores e forças adicionais

A carga aplicada fora do nó introduziu momentos e forças adicionais nos membros da treliça. Isso ocorreu porque a carga aplicada cria alavancas que geram momentos de flexão nos membros.

Ao analisar-se a Figura 9, vemos que nas treliças tipo Howe e tipo Warren, quando a carga de 15,2 kN e 41,5 kN, respectivamente, se encontra localizada no nó ($d = 0$ cm) não é gerado o esforço de momento fletor

($M_f = 0$ kN.m), portanto, a barra fica submetida a compressão simples. Entretanto, ao deslocarmos essa mesma carga, com mesma intensidade ao longo da barra, temos um aumento gradativo do esforço, e quanto maior a distância do nó, maior o momento atuante na barra, conseqüentemente, maiores as tensões e deformações.

Figura 9: Variação do momento fletor conforme a distância da aplicação da carga fora do nó.



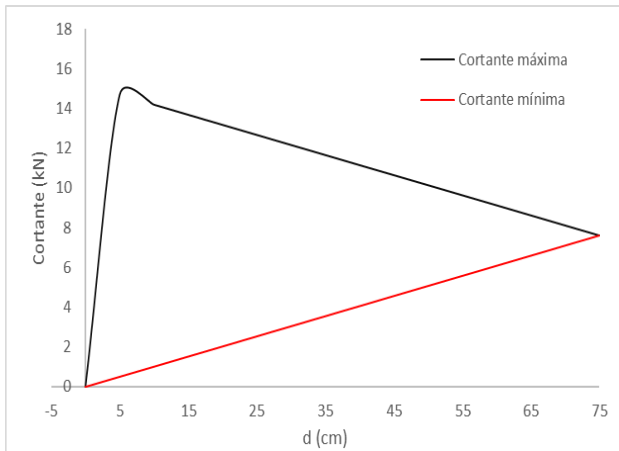
Fonte: Autor

4.2.2. Tensões de cisalhamento

As cargas aplicadas fora dos nós induziram tensões de cisalhamento nos membros da treliça. Na Figura 10, é observado que na treliça tipo Howe, quando a carga de 15,2 kN está localizada no nó ($d=0$ cm), o esforço cortante é zero. Entretanto, ao mover essa carga ao longo da barra com a mesma intensidade, ocorre variação no cisalhamento da barra, entre o valor máximo e mínimo de cortante.

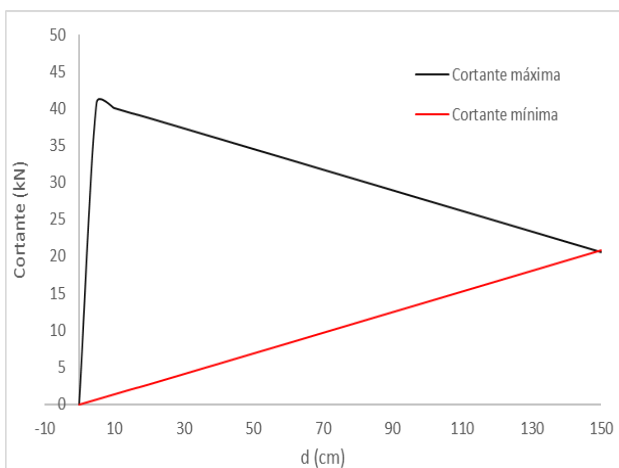
A variação do esforço cortante em função da distância da aplicação da carga fora do nó para treliça do tipo Warren é exibida na a Figura 11. Devido ao vão ser maior pela sua geometria de ângulos iguais, a seção foi ampliada, para que satisfaça a condição de estabilidade na qual o índice de esbelteza deve ser $\lambda < 140$. O comportamento observado é similar ao da treliça tipo Howe, quando a carga de 41,5 kN, se encontra localizada no nó, $d=0$ cm, a cortante também se encontra em zero. Porém, ao deslocar essa mesma carga, com mesma intensidade ao longo da barra, obtemos uma reação na qual ocorre uma variação entre a cortante máxima e a cortante mínima surgindo o efeito de cisalhamento na barra, que se igualam no meio do vão com mesma intensidade.

Figura 10: Variação do esforço cortante conforme a distância da aplicação da carga de 15,2 kN fora do nó, em uma treliça tipo Howe.



Fonte: Autor

Figura 11: Variação do esforço cortante conforme a distância da aplicação da carga de 41,2 fora do nó, em uma treliça tipo Warren.



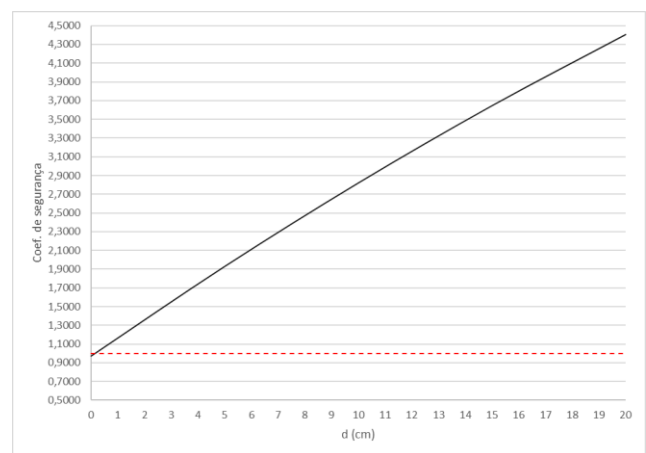
Fonte: Autor

4.3. Estabilidade na flexo-compressão

Quando se aplica a carga fora do nó em ambas as treliças, a barra é submetida ao efeito adicional de flexão. Conforme a carga foi se distanciando do nó, a intensidade aumentou de forma gradativa levando-a à flexão excessiva e, eventualmente, à falha estrutural. Para quantificar os efeitos mostrados acima, realizam-se análises estruturais, nos quais mostram as condições de estabilidade e segurança das treliças do tipo Howe e Warren, conforme a variação da aplicação da carga fora do nó.

A relação entre as condições de segurança estabelecidas nas Equações (8) e (9) e função da distância de aplicação da carga é exibida nas Figuras 12 e 13. Para a treliça tipo Howe (ver Figura 12), com uma determinada seção, e carga específica, a aplicação da carga no nó, $d=0$ cm, possui um coeficiente de valor 0,9696, atendendo então as condições estabelecidas por norma. No entanto, ao deslocar essa carga em 1,13 cm (cerca de 0,8% do comprimento da barra), a barra excede seu limite de segurança.

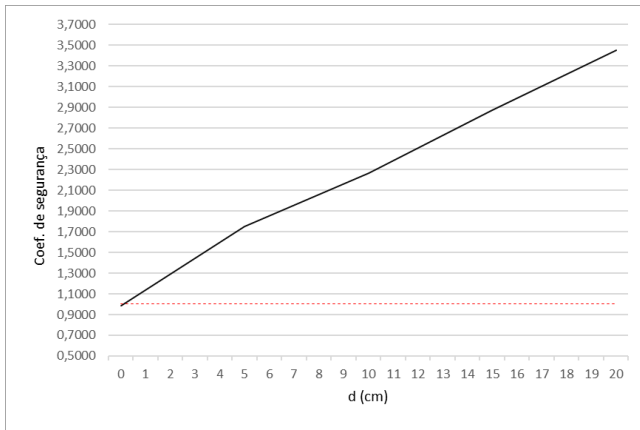
Figura 12: Verificação do coeficiente de segurança conforme a distância de aplicação da carga, para o modelo de treliça Howe.



Fonte: Autor

Para a treliça tipo Warren, a seção foi modificada, pois a geometria triangular de ângulos internos iguais permite vãos maiores. Quando a carga é aplicada no nó, $d=0$ cm, obtém-se um coeficiente de valor 0,9864, (ver Figura 13), atendendo as condições estabelecidas por norma. Porém, quando essa carga é deslocada para fora do nó, a barra atinge o limite de segurança em aproximadamente 1,08 cm (cerca de 0,4% do comprimento da barra).

Figura 13: Verificação do coeficiente de segurança conforme a distância de aplicação da carga, para o modelo de treliça Warren.



Fonte: Autor

Portanto, ao analisarmos as Figuras 12 e 13, verificamos que ao ultrapassar a condição de segurança dada pelas Equações (8) e (9), estabelecidas pela NBR 7190-1 (ABNT, 2022), de aprovação de resistência, o trecho analisado está em desacordo, quanto maior a distância do nó em que a carga for aplicada, mais insatisfeita estará esta condição. Sendo assim, a treliça perde sua funcionalidade, sendo não viável utiliza-la dessa forma, pois se ocorrer o carregamento conforme previsto em projeto, a peça falhará, colocando em risco a segurança do sistema estrutural e potencialmente resultando em danos irreparáveis, como fatalidades.

5. CONCLUSÃO

Este estudo investigou os efeitos da aplicação de cargas fora dos nós em treliças de madeira, uma prática comum em diversas aplicações de engenharia civil e construção. A pesquisa mostrou que a introdução de cargas fora dos nós pode alterar significativamente o comportamento estrutural das treliças, aumentando as tensões internas e potencialmente comprometendo a integridade da estrutura.

Os resultados experimentais e as simulações computacionais utilizando o software Ftool, indicaram que a distribuição de tensões é mais complexa e intensa em treliças com cargas aplicadas fora dos nós, em comparação com aquelas com cargas aplicadas diretamente nos nós. Os coeficientes de segurança obtidos através da norma NBR 7190-1

(ABNT, 2022) para as seções consideradas, indicam a estabilidade para aplicação de carga em até 0,8% e 0,4% de distância do nó em treliças do tipo Howe do tipo Warren, respectivamente.

Em resumo, a aplicação de cargas fora dos nós em treliças de madeira exige uma análise detalhada e cuidadosa para evitar falhas estruturais. Este estudo contribui para um melhor entendimento dos efeitos dessas cargas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGHAYERE, A., & VIGIL, J. **Structural Wood Design: A Practice-Oriented Approach**. CRC Press, 2017.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 313: Standard Practice for Design and Construction of Concrete Silos and Stacking Tubes for Storing Granular Materials. EUA, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 2022.

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

BREYER, D. E., COBEEN, K., FRIDLEY, K., & POLLOCK, D. **Design of Wood Structures - ASD/LRFD**. McGraw-Hill Education, 2019.

LIMA, R. S., ALMEIDA, T. A., & PEREIRA, F. J. Estudo comparativo de treliças de madeira: eficiência e aplicações. **Journal of Structural Engineering**, 44(3), 210-225, 2018.

MACHADO, R. C., & DIAS, A. A. (2019). Analysis of Wooden Truss Structures Under Non-Nodal Loading. **Journal of Structural Engineering**, 145(10), 87-98.

MARTHA, L F. **Ftool**. Versão 3.0.1. Rio de Janeiro, 2012

MCCORMAC, J. C., & NELSON, J. K. (2006). **Structural Analysis**. Pearson Prentice Hall.

SILVA, A. R., OLIVEIRA, M. P., & SANTOS, J. L. Dimensionamento de treliças de madeira: Análise de métodos e práticas. **Revista de Engenharia Estrutural**, 35(2), 100-115, 2020.

SOUZA, C. F., MENDES, L. M., & RIBEIRO, D. H. Avaliação das cargas em treliças de madeira: uma abordagem prática. **Revista Brasileira de Engenharia de Estruturas**, 22(1), 145-155, 2019.