

ANÁLISE COMPARATIVA DE DESLOCAMENTOS E DEFORMAÇÕES EM TRELIÇAS METÁLICAS DO TIPO PRATT, HOWE E BELGA UTILIZANDO O ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS®

Lucas Leite dos Santos (Universidade Federal Rural do Semi-Árido) E-mail:
lucas.santos81930@alunos.ufersa.edu.br

Resumo: O estudo de treliças metálicas é fundamental na engenharia civil, pois estas estruturas oferecem uma combinação ideal de resistência e eficiência material, sendo amplamente utilizadas em coberturas de edificações. A necessidade de entender o comportamento estrutural de diferentes tipos de treliças sob várias condições de carga é essencial para garantir a segurança e a eficiência dos projetos. Este artigo realiza uma análise comparativa de deslocamentos e deformações em treliças metálicas dos tipos Pratt, Howe e Belga utilizando o *software Robot Structural Analysis*®. Dessa forma, a metodologia adotada incluiu etapas como: preparação, configuração e concepção da estrutura no *software*; definição dos materiais e seções; modelagem das treliças; cálculo e aplicação das cargas; execução da análise; e processamento dos resultados. As cargas consideradas incluem o peso próprio, o peso das telhas trapezoidais e a ação do vento a 0° e 90°, seguindo as normas NBR 6120:2019 e NBR 8800:2008. Os resultados indicaram que a combinação ELU_{Comb1} causou os maiores deslocamentos entre as combinações de Estado Limite Último, enquanto a combinação $ELSC_{Comb2}$ foi a mais crítica entre as combinações de Estado Limite de Serviço. Especificamente, o Modelo 3 (treliça Belga) apresentou o menor deslocamento ($\delta_{Máx} = 0,6$ cm) e a melhor relação N_{csd}/N_{crd} (0,167), destacando-se como a opção mais eficiente. Em contraste, a treliça Howe exibiu o maior deslocamento ($\delta_{Máx} = 0,8$ cm) e uma relação de resistência inferior ($N_{csd}/N_{crd} = 0,188$). Espera-se que este estudo contribua para a escolha criteriosa de treliças metálicas em coberturas, fornecendo uma base sólida para futuras pesquisas e aplicações na engenharia.

Palavras-chave: Comportamento estrutural, modelagem computacional, resistência dos materiais, estruturas de aço.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DISPLACEMENTS AND DEFORMATIONS IN PRATT, HOWE AND BELGIAN STEEL TRUSSES USING ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS®

Abstract: The study of steel trusses is fundamental in civil engineering, as these structures offer an ideal combination of strength and material efficiency, being widely used in building roofs. Understanding the structural behavior of different types of trusses under various load conditions is essential to ensure the safety and efficiency of projects. This article conducts a comparative analysis of displacements and deformations in Pratt, Howe, and Belgian steel trusses using *Robot Structural Analysis*® software. The adopted methodology included steps such as preparation, configuration, and conception of the structure in the software; definition of materials and sections; truss modeling; calculation and application of loads; execution of the analysis; and processing of the results. The considered loads include self-weight, trapezoidal roof tile weight, and wind action at 0° and 90°, following the NBR 6120:2019 and NBR 8800:2008 standards. The results indicated that the ELU_{Comb1} combination caused the greatest displacements among the Ultimate Limit State combinations, while the $ELSC_{Comb2}$ combination was the most critical among the Service Limit State combinations. Specifically, Model 3 (Belgian truss) showed the smallest displacement ($\delta_{Max} = 0.6$ cm) and the best N_{csd}/N_{crd} ratio (0.167), standing out as the most efficient option. In contrast, the Howe truss exhibited the largest displacement ($\delta_{Max} = 0.8$ cm) and a lower resistance ratio ($N_{csd}/N_{crd} = 0.188$). It is hoped that this study will contribute to the judicious selection of steel trusses in roofs, providing a solid foundation for future research and applications in engineering.

Keywords: Structural behavior, computational modeling, material strength; steel structures.

1. Introdução

O estudo das estruturas metálicas é uma área fundamental na engenharia civil, especialmente no que tange ao dimensionamento e análise de treliças utilizadas em coberturas. Treliças são elementos estruturais cruciais em diversas aplicações devido à sua eficiência em termos de resistência e rigidez, bem como pela economia de material proporcionada por seu design geométrico (Hibbeler, 2013).

De acordo com a NBR 8800:2008, que estabelece diretrizes para o projeto de estruturas de aço e mistas de aço e concreto, é essencial seguir normas técnicas rigorosas para garantir a segurança e a durabilidade das edificações. A importância do correto cálculo das ações que incidem sobre as estruturas é igualmente destacada na NBR 6120:2019, que define as ações para o cálculo de estruturas de edificações. Esta norma é fundamental para assegurar que as estruturas projetadas possam suportar as cargas previstas durante sua vida útil (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019). Complementarmente, a NBR 6123:2023 especifica as forças devidas ao vento em edificações, um fator crítico a ser considerado no dimensionamento de coberturas metálicas, especialmente em regiões sujeitas a ventos fortes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023).

No contexto acadêmico, diversos estudos têm contribuído para o avanço do conhecimento na área de estruturas de aço. Heinen (2021) explorou o comportamento do aço ASTM A36 em processos de dobramento a frio, oferecendo entendimentos valiosos sobre o retorno elástico do material, o que é relevante para o design e fabricação de componentes estruturais. Hibbeler (2013) destacou a importância da análise detalhada de estruturas, fornecendo uma base teórica robusta para a aplicação de métodos numéricos em engenharia, o que exige um prévio conhecimento das propriedades dos materiais e das leis da mecânica que governam a resposta dos materiais. Fakury *et al.* (2016), focam no dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto, oferecendo diretrizes práticas que são essenciais para engenheiros em atividade. Pfeil e Pfeil (2009) também contribuíram significativamente ao fornecer um guia prático para o dimensionamento de estruturas de aço de acordo com a NBR 8800:2008, reforçando a necessidade de uma abordagem prática e normativa no design estrutural.

Este artigo tem como objetivo realizar uma análise comparativa de deslocamentos e deformações em treliças metálicas dos tipos Pratt, Howe e Belga utilizando o *software Robot Structural Analysis*[®]. A justificativa para este estudo reside na necessidade de compreender melhor o comportamento estrutural dessas diferentes configurações de treliças quando submetidas a diversas combinações de cargas, incluindo peso próprio, peso das telhas do galpão metálico e ação do vento a 0° e 90°. Assim sendo, as normas NBR 6120:2019 e NBR 8800:2008 foram seguidas para garantir tanto a precisão quanto a relevância dos resultados obtidos.

A metodologia adotada neste trabalho compreende várias etapas tais como: preparação, configuração e concepção da estrutura no *software*; definição dos materiais e seções; modelagem das treliças; cálculo e aplicação das cargas; execução da análise; e processamento dos resultados. Este procedimento metodológico visa garantir uma análise detalhada e precisa, permitindo uma comparação entre os diferentes tipos de treliças.

Portanto, espera-se que este estudo possa contribuir para a compreensão e aplicação prática de treliças metálicas em coberturas, fornecendo uma base para futuras pesquisas e aplicações na engenharia civil.

2. Metodologia

Para a realização da análise e comparação dos tipos de treliças para o telhado do galpão metálico, o procedimento metodológico foi subdividido em seis etapas, que descrevem os passos desde a concepção da estrutura até a análise dos resultados realizada através do *Robot Structural Analysis 2024* da empresa americana Autodesk®. Foram seguidas como base as normativas NBR 6120:2019, NBR 6123:2023 e NBR 8800:2008.

As seis etapas consistiram em:

- Preparação, configuração e concepção da estrutura no *software*
- Definição dos materiais e seções
- Modelagem das treliças
- Aplicação das cargas
- Execução da análise
- Processamento dos resultados

Deste modo, todas as etapas do processo metodológico foram descritas nos tópicos a seguir.

2.1. Preparação, configuração e concepção da estrutura no *software*

Nesta primeira etapa foram definidas as dimensões que o galpão deve comportar sendo: largura: 15 m; comprimento: 30 m; altura (pé direito): 7,5 m. A estrutura possui um telhado em duas águas o qual foi modelado com três tipos distintos de treliças metálicas. Foram realizadas a concepção e a modelagem da estrutura do galpão através do *software Robot Structural Analysis*.

Dessa forma, foram definidos os eixos da estrutura e a locação dos pilares, representados por apoios de 3º gênero (engaste), como se pode observar na Figura 1.

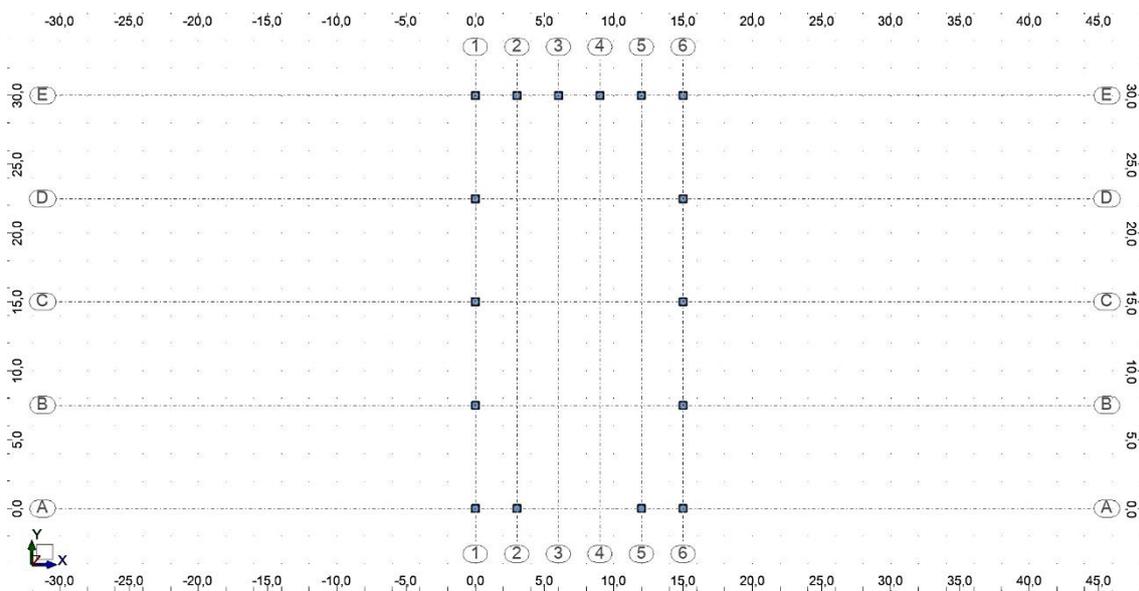


Figura 1 – Locação dos pilares

Em seguida, foi realizada a modelagem da estrutura no programa, conforme observada nas vistas frontal (Figura 2a), vista traseira (Figura 2b) e vista lateral (Figura 2c).

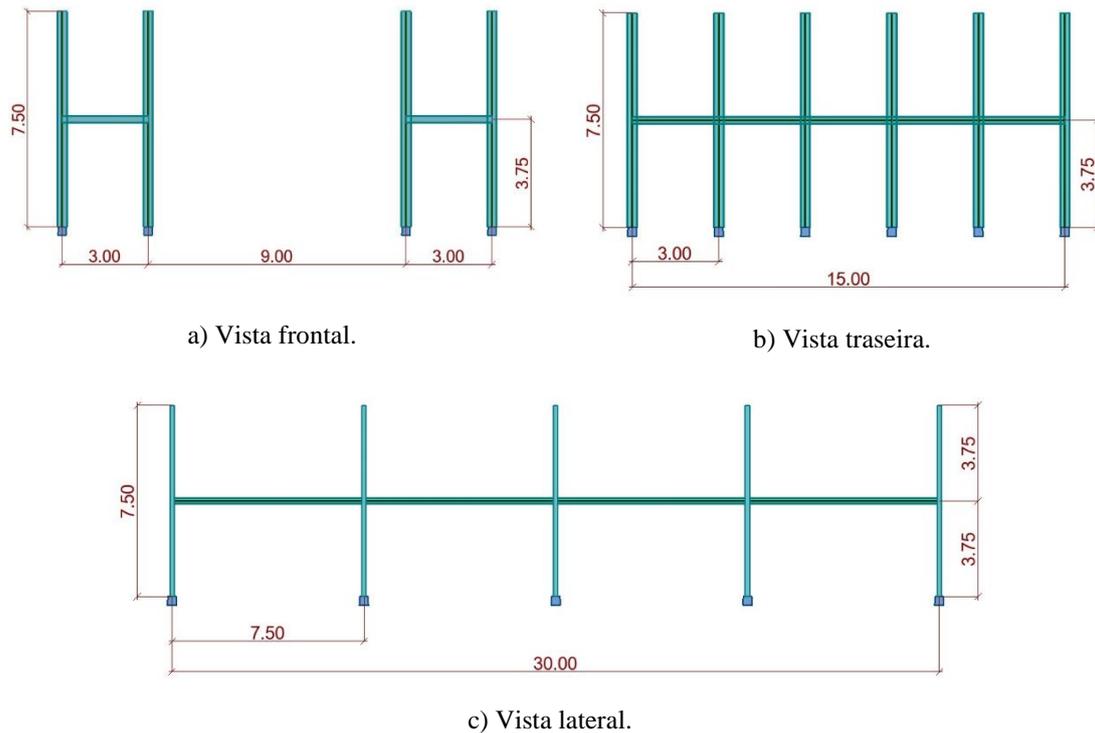


Figura 2 – Modelagem inicial do galpão (sem a cobertura).

2.2. Definição dos materiais e seções

O material selecionado para compor toda a estrutura consiste no aço ASTM A36, escolhido a partir da biblioteca de materiais do *software*. Este é um tipo de aço amplamente utilizado em construções e na composição estrutural de máquinas, implementos industriais, passarelas, dentre outros (Heinen, 2021).

Com relação à seção transversal dos componentes das treliças (banzos, montantes e diagonais), foram definidos alguns critérios para o pré-dimensionamento, tais como:

- Banzos em perfil H com índice de esbeltez entre 100 e 140;
- Montantes e diagonais em perfil 2L com índice de esbeltez entre 100 e 140.

Diante disso, foram selecionados os perfis de acordo com a Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Perfis utilizados

Barras	Seção	Aço
Pilar	W 360 x 44,6	ASTM A36
Banzos	W 150 x 24	ASTM A36
Diagonais	2L 64 x 64 x 4,8	ASTM A36
Montantes	2L 64 x 64 x 6,4	ASTM A36
Terças	U 203 x 17,1	ASTM A36
Vigas de fachada	W530 x 82	ASTM A36
Contraventamento	O 3/8"	ASTM A36

Fonte: Autor (2024)

O pré-dimensionamento dos perfis do banzos, montantes e diagonais foi realizado utilizando o catálogo de perfis disponíveis no banco de dados do *Robot Structural Analysis*.

Para a escolha do perfil dos banzos, estabeleceu-se inicialmente o limite do índice de esbeltez para o perfil entre $\lambda = 100$ e $\lambda = 140$. Portanto, considerando os seguintes dados: $A_x = 3150 \text{ mm}^2$, $I_x = 1,384 \text{ cm}^4$ e $L_{\text{Banzo}} = 750 \text{ cm}$, então, o valor do raio de giração (R_x) encontrado fornece um índice esbeltez (λ_x) dentro do limite estipulado.

$$R_x = \sqrt{\frac{I_x}{\lambda_x}} = 6,619 \text{ cm} \qquad \lambda_x = \frac{L}{R_x} = 113,30$$

Sendo assim, o perfil seleccionado corresponde ao W 150 x 24, conforme Figura 3.

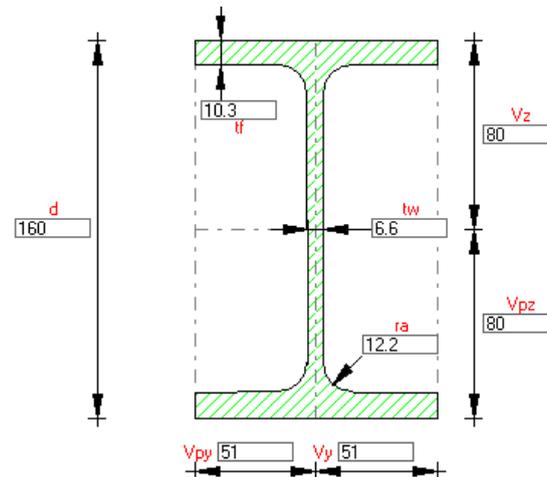


Figura 3 – Perfil W 150 x 24 (Banzos)

Para o perfil 2L 64 x 64 x 4,8 das diagonais, considerou-se os seguintes dados: $A_x = 580 \text{ mm}^2$, $I_x = 23 \text{ cm}^4$ e $L_{\text{Diagonal}} = 219 \text{ cm}$, então, o valor do raio de giração (R_x) encontrado também fornece um índice esbeltez (λ_x) dentro do limite estipulado anteriormente.

$$R_x = \sqrt{\frac{I_x}{\lambda_x}} = 1,991 \text{ cm} \qquad \lambda_x = \frac{L}{R_x} = 109,97$$

As dimensões do perfil adotado são observadas na Figura 4.

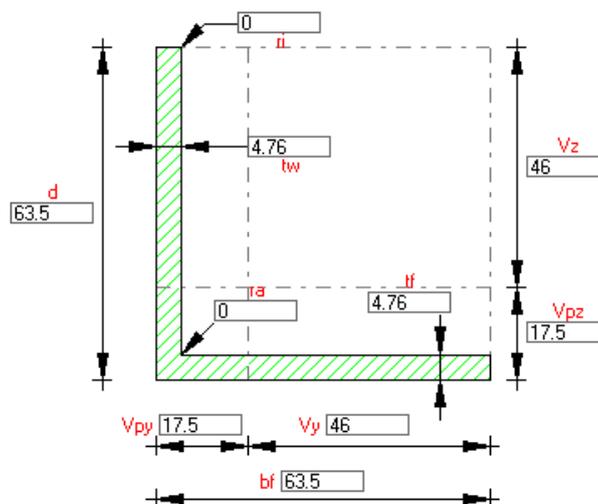


Figura 4 – Perfil L 64 x 64 x 4,8 (Diagonais)

Para o perfil 2L 64 x 64 x 6,4 dos montantes, considerou-se os seguintes dados: $A_x = 767 \text{ mm}^2$, $I_x = 29 \text{ cm}^4$ e $L_{\text{Montante}} = 200 \text{ cm}$, então, o valor do raio de giração (R_x) encontrado fornece um índice esbeltez (λ_x) dentro do limite estipulado anteriormente.

$$R_x = \sqrt{\frac{I_x}{\lambda_x}} = 1,945 \text{ cm} \qquad \lambda_x = \frac{L}{R_x} = 102,85$$

As dimensões do perfil adotado para os montantes são observadas na Figura 5 a seguir.

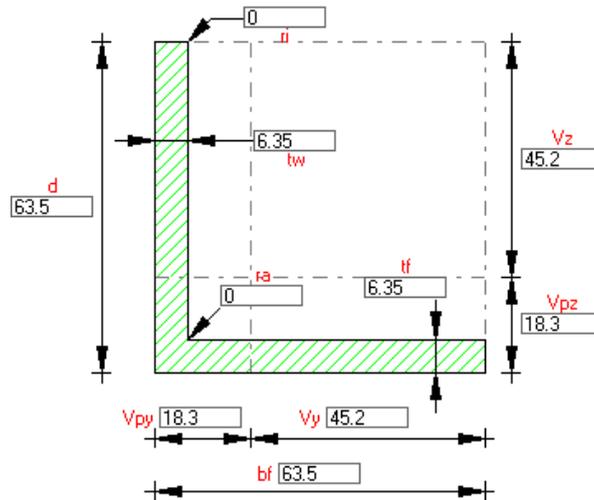


Figura 5 – Perfil L 64 x 64 x 6,4 (Montantes)

2.3. Modelagem das treliças

Após a definição das seções dos perfis, foi realizado a modelagem das treliças utilizando o *Robot Structural Analysis*. O primeiro modelo de treliças utilizado consiste no tipo Pratt. A estrutura possui uma altura $H_{\text{Treliça}} = 200 \text{ cm}$ e o vão total da treliça é de $L_{\text{Treliça}} = 15 \text{ m}$. A inclinação do telhado é de aproximadamente 15° (27%). Os perfis dos banzos, diagonais e montantes foram modificados de acordo com o pré-dimensionamento realizado na etapa anterior, assim como o material escolhido, aço ASTM A36.

O modelo 1 da treliça pode ser observado na Figura 6 a seguir.

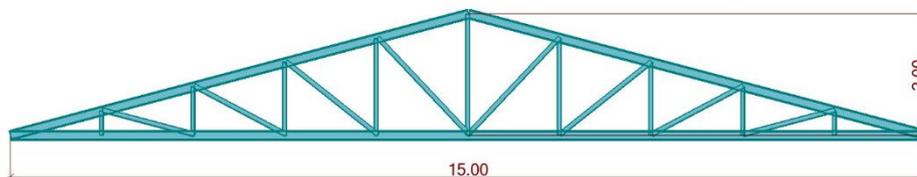


Figura 6 – Modelo 1 (Treliça Pratt)

O modelo 2 utilizado consiste na treliça do tipo Howe. Suas dimensões são iguais da treliça Pratt, ou seja, o seu montante central possui altura $H_{\text{Treliça}} = 200 \text{ cm}$ e o vão da treliça possui comprimento $L_{\text{Treliça}} = 15 \text{ m}$, assim como a inclinação do telhado de aproximadamente 15° (27%). A diferença consiste na inversão dos elementos diagonais no sentido contrário ao centro da treliça (Melo, 2016).

O modelo 2 da treliça pode ser observado na Figura 7 a seguir.

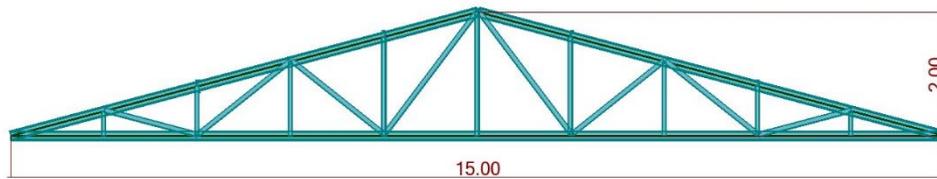


Figura 7 – Modelo 2 (Treliza Howe)

Já o terceiro modelo utilizado consiste na treliça do tipo Belga. Suas dimensões permanecem as mesmas com $H_{Treliza} = 200\text{ cm}$ e o vão da treliça com comprimento $L_{Treliza} = 15\text{ m}$. A diferença para as treliças Pratt e Howe consiste na ausência de barras verticais (montantes), e na predominância de um maior número de barras tracionadas (Melo, 2016). O modelo 3 da treliça pode ser observado na Figura 8 a seguir.

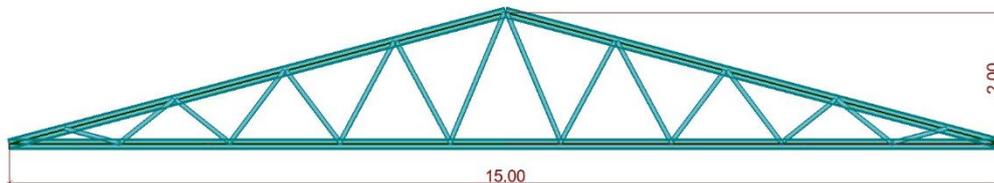


Figura 8 – Modelo 3 (Treliza Belga)

2.4. Cálculo e aplicação das cargas

Para realizar a verificação do comportamento dos três modelos de treliças foram considerados as seguintes ações:

- Peso próprio da estrutura (DL_1);
- Sobrecarga permanente (DL_2) devido ao peso das telhas metálicas;
- Sobrecarga variável de manutenção (DL_3);
- Sobrecarga devido a ação do vento à 0° ($Vento_1$) e 90° ($Vento_2$).

O peso próprio da estrutura (Figuras 9 e 10) é adicionado e calculado automaticamente pelo *software* considerando a seção transversal do perfil, o peso específico ($7700\text{ kg/m}^3 \approx 77\text{ kN/m}^3$) do aço ASTM A36 e o comprimento de cada uma das barras.

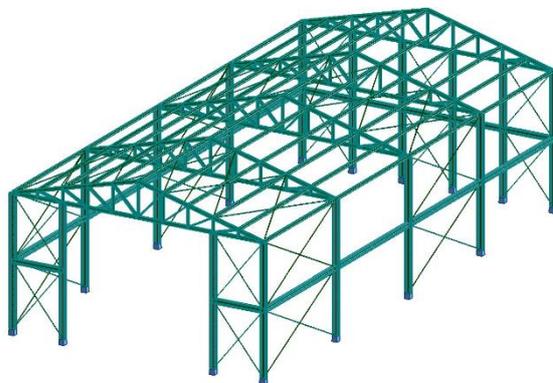
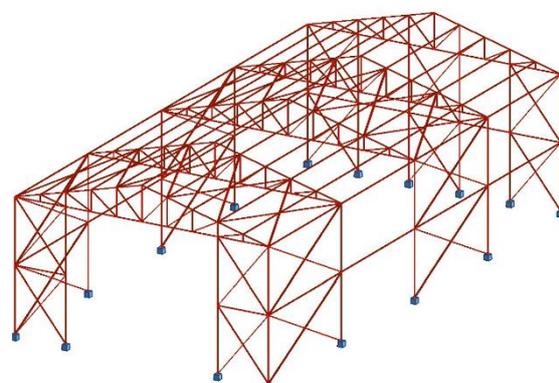


Figura 9 – Estrutura do galpão

Figura 10 – Adição do peso próprio (DL_1)

Para a sobrecarga permanente devido ao peso das telhas, considerou-se o peso próprio das telhas trapezoidais da empresa Gerdau® de aproximadamente $g_{Telhas} = 0,15\text{ kN/m}^2$.

Sabendo-se que a distância entre os pórticos é $D_{Pórticos} = 7,5\text{ m}$, a distância entre terças $D_{Terças} = 1,5\text{ m}$, sendo assim, a carga aplicada nos nós corresponde a $DL_2 = 1,65\text{ kN}$ para os nós centrais e a metade para os nós de extremidades.

$$DL_2 = g_{Telhas} \cdot D_{Pórticos} \cdot D_{Terças} = 1,65\text{ kN} \qquad \frac{DL_2}{2} = 0,83\text{ kN}$$

Na Figura 11 é possível observar a sobrecarga permanente devido ao peso das telhas sobre as treliças metálicas.

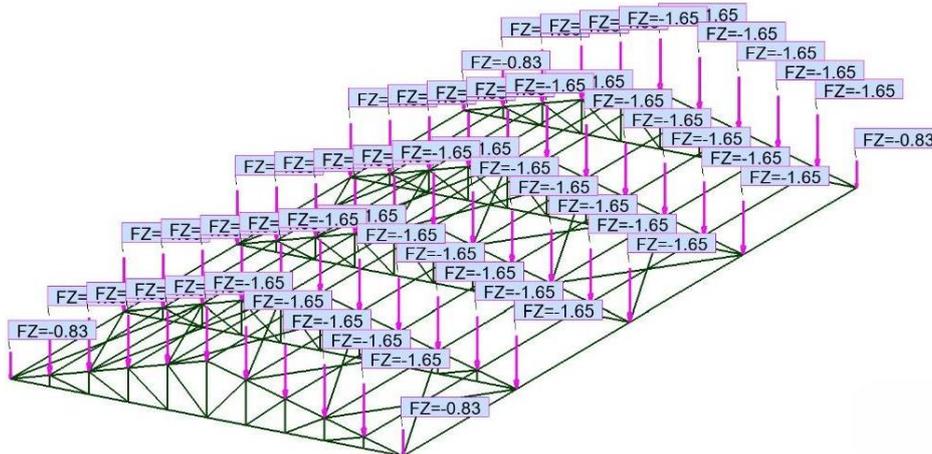


Figura 11 – Adição da sobrecarga permanente (DL_2)

Com relação à sobrecarga variável de manutenção, seguiu-se o item 6.4 da NBR 6120: 2019, a qual define que para coberturas com sistema de drenagem suficiente e rigidez adequada pode-se considerar uma carga distribuída de $g_{Manutenção} = 0,25\text{ kN/m}^2$. Dessa forma, tem-se que $DL_3 = 2,81\text{ kN}$ e para os nos de extremidades a metade do valor.

$$DL_3 = g_{Manutenção} \cdot D_{Pórticos} \cdot D_{Terças} = 2,81\text{ kN} \qquad \frac{DL_3}{2} = 1,41\text{ kN}$$

Na Figura 12 é possível observar a adição dos carregamentos referentes a sobrecarga variável de manutenção.

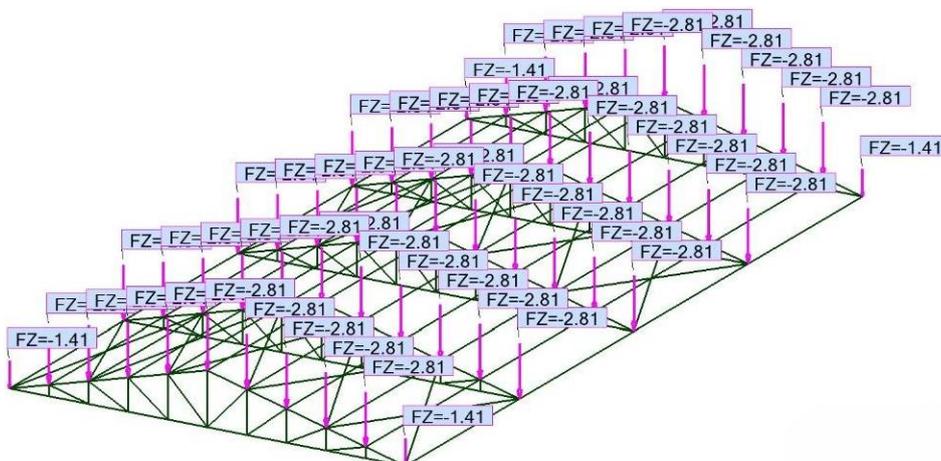


Figura 12 – Adição da sobrecarga de manutenção (DL_3)

Para a adição das cargas devido a ação do vento utilizou-se da simulação presente no

Robot Structural Analysis e seguiu-se a NBR 6123:2023 no seu item 5, onde consta o gráfico de isopletas adotando uma velocidade básica do vento $V_0 = 30 \text{ m/s}$. Considerando um terreno plano ($S_1 = 1,0$), com dimensões $15 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ e altura máxima $Z = 9,5 \text{ m}$, tem-se $S_2 = 1,02$. Já para o fator estatístico considerou-se $S_3 = 0,95$.

A seguir é possível observar as cargas devido a ação do vento à 0° (Figura 13) e a 90° (Figura 14).

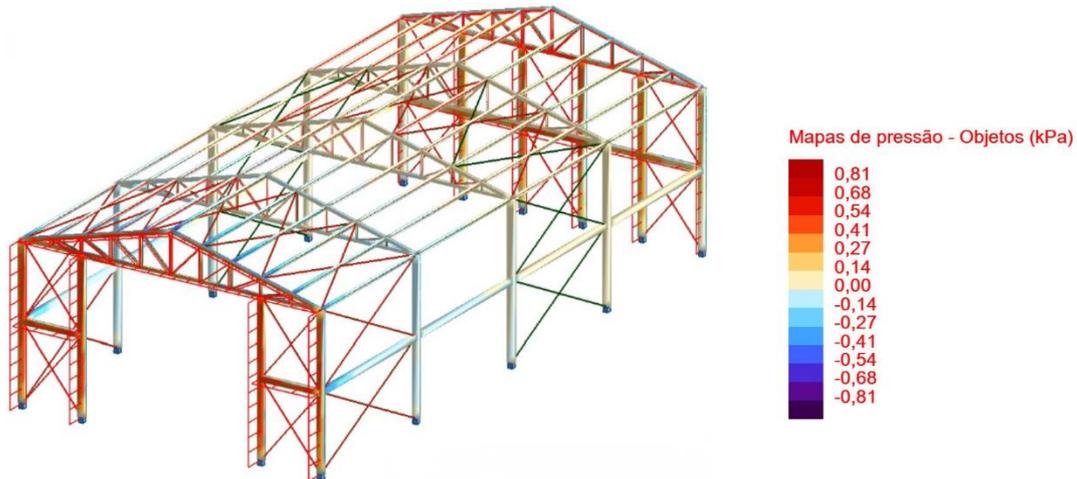


Figura 13 – Cargas devido a ação do vento à 0°

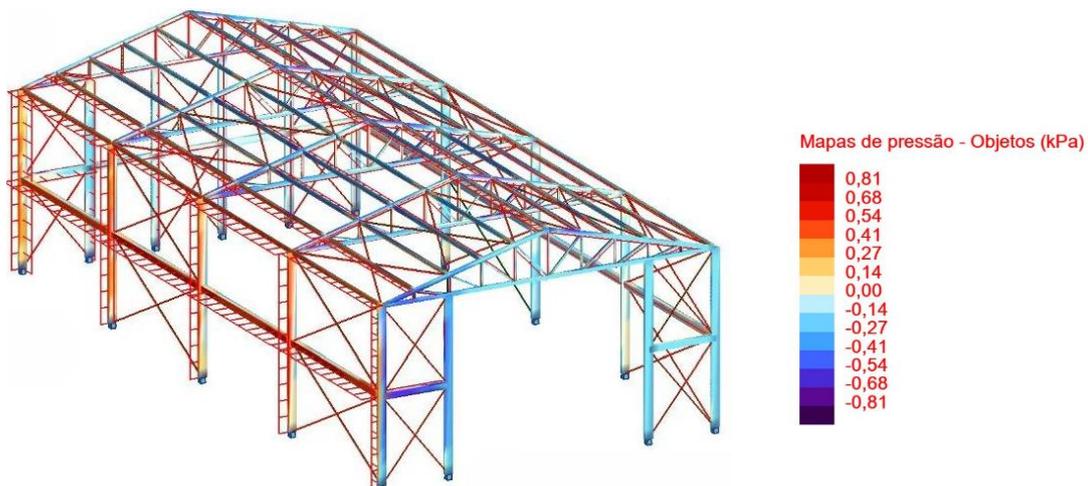


Figura 14 – Cargas devido a ação do vento à 90°

2.5. Execução da análise

A etapa de execução da análise no *Robot Structural Analysis* envolveu a realização de cálculos estruturais detalhados para avaliar o comportamento da estrutura modelada sob diferentes condições de carga e considerando uma análise linear estática.

2.6. Processamento dos resultados

Após a execução da análise, é necessário processar e interpretar os resultados obtidos para avaliar o desempenho estrutural da estrutura modelada, verificando em especial seus deslocamentos e deformações conforme a NBR 8800:2008. Esta etapa envolveu a análise detalhada dos dados e a preparação dos resultados através de diagramas e gráficos comparando os resultados entre os três modelos de treliças (Pratt, Howe e Belga).

3. Resultados e discussão

Para a realização da análise e comparação dos tipos de treliças para o telhado do galpão metálico, foram realizadas combinações de ações de Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS) seguindo as orientações da NBR 8800:2008.

Para as combinações de Estado Limite Último (ELU), foram utilizadas as seguintes:

$$ELU_{comb1} = 1,25 \cdot DL_1 + 1,5 \cdot DL_2 + 1,5 \cdot DL_3 + 1,4 \cdot 0,6 \cdot Vento_1$$

$$ELU_{comb2} = 1,25 \cdot DL_1 + 1,5 \cdot DL_2 + 1,4 \cdot Vento_1 + 1,2 \cdot DL_3$$

$$ELU_{comb3} = 1,0 \cdot DL_1 + 1,0 \cdot DL_2 + 1,4 \cdot Vento_2$$

Para as combinações de Estado Limite de Serviço (ELS), foram utilizadas as seguintes combinações frequentes:

$$ELS_{comb1} = DL_1 + DL_2 + 0,3 \cdot Vento_2$$

$$ELS_{comb2} = DL_1 + DL_2 + 0,3 \cdot Vento_1 + 0,6 \cdot DL_3$$

$$ELS_{comb3} = DL_1 + DL_2 + 0,7 \cdot DL_3$$

3.1. Estado Limite de Serviço (ELS)

Nesta primeira análise de deslocamentos verticais observados no Modelo 1 (Treliza Pratt), foi possível identificar a treliça do eixo 3 como a mais carregada, sendo a combinação de ELS_{Comb3} a que provocou o maior deslocamento $\delta_{M\acute{a}x} = 0,7$ cm, como é possível observar na Figura 15.

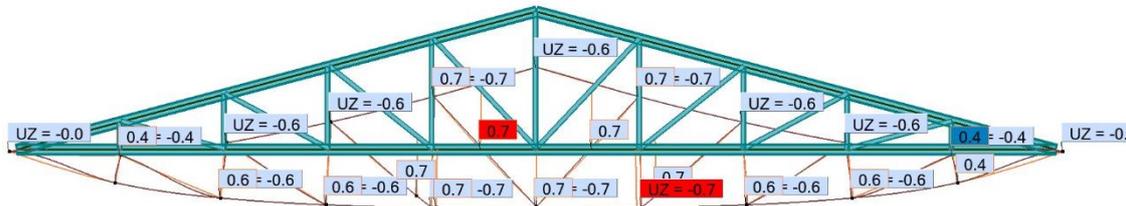


Figura 15 – Deslocamentos ELS_{Comb3} (Modelo 1 – Treliza Pratt)

No Modelo 2 (Treliza Howe), observando a treliça mais carregada, verificou-se que a combinação ELS_{Comb2} a que provocou o maior deslocamento $\delta_{M\acute{a}x} = 0,8$ cm, como é possível observar na Figura 16.

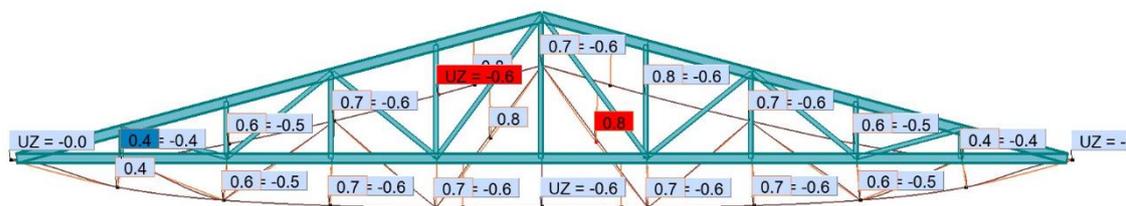


Figura 16 – Deslocamentos ELS_{Comb2} (Modelo 2 – Treliza Howe)

No Modelo 3 (Treliza Belga), observando a treliça mais carregada, verificou-se que a combinação ELS_{Comb2} a que provocou o maior deslocamento $\delta_{M\acute{a}x} = 0,6$ cm, como é possível observar na Figura 17.

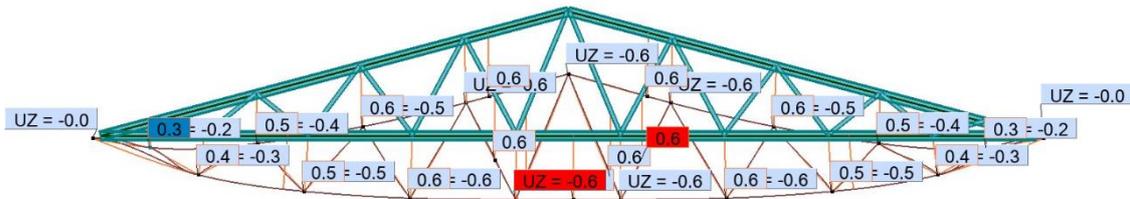


Figura 17 – Deslocamentos ELS_{Comb2} (Modelo 3 – Treliça Belga)

Segundo a norma NBR 8800:2008, a flecha limite para vigas de cobertura corresponde a $L/250$. Sendo assim, verificando tem-se:

$$\delta_{Limite} = \frac{1500 \text{ cm}}{250} = 6 \text{ cm}$$

Portanto, todas as flechas máximas encontradas: $\delta_{M\acute{a}x} = 0,6 \text{ cm}$ (Treliça Belga) $< \delta_{M\acute{a}x} = 0,7 \text{ cm}$ (Treliça Pratt) $< \delta_{M\acute{a}x} = 0,8 \text{ cm}$ (Treliça Howe), são menores do que a flecha limite $\delta_{Limite} = 6 \text{ cm}$. Dessa forma, os perfis selecionados atendem ao limite máximo de deformação excessiva.

3.2. Estado Limite Último (ELU)

Observando os esforços internos no Modelo 1 (Treliça Pratt), foi possível identificar na treliça principal (Eixo 3), que a combinação de ELU_{Comb1} a que provocou maiores esforços normais $F_{X_{M\acute{a}x}} = 150,35 \text{ kN}$ e $F_{X_{M\acute{m}n}} = -145,51 \text{ kN}$, conforme Figura 18.

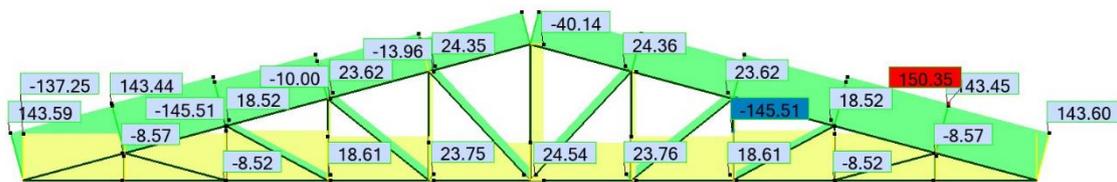


Figura 18 – Esforços normais ELU_{Comb1} (Modelo 1 – Treliça Pratt)

No Modelo 2 (Treliça Howe), foi possível identificar que a combinação de ELU_{Comb1} a que provocou maiores esforços normais $F_{X_{M\acute{a}x}} = 150,68 \text{ kN}$ e $F_{X_{M\acute{m}n}} = -138,46 \text{ kN}$, conforme Figura 19.

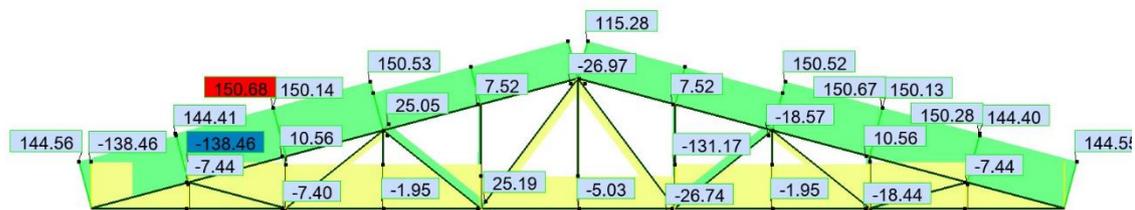


Figura 19 – Esforços normais ELU_{Comb1} (Modelo 2 – Treliça Howe)

Já no Modelo 3 (Treliça Belga), a combinação de ELU_{Comb1} também provocou maiores esforços normais $F_{X_{M\acute{a}x}} = 150,68 \text{ kN}$ e $F_{X_{M\acute{m}n}} = -138,46 \text{ kN}$, conforme Figura 19.

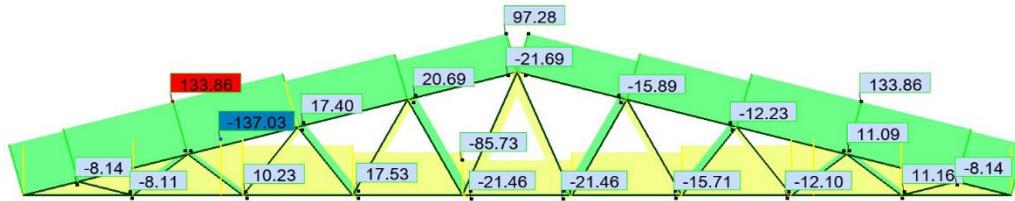


Figura 20 – Esforços normais ELU_{Comb1} (Modelo 3 – Treliça Belga)

Diante desses dados, foi possível realizar uma verificação quanto ao escoamento da seção bruta e flambagem. De acordo com a NBR 8800:2008, deve-se satisfazer o critério $N_{csd}/N_{crd} < 1$, ou seja, é preciso garantir que a força solicitante de compressão seja menor do que a força normal resistente. Para tal, foram coletados os dados de esforço normal presente na barra mais solicitada de cada modelo.

Para o Modelo 1, tem-se a barra 164 com esforço solicitante $N_{csd} = 150,35 \text{ kN}$, $N_{crd} = 800,92 \text{ kN}$ e $N_{csd}/N_{crd} = 0,187$, portanto o critério foi satisfeito.

Para o Modelo 2, tem-se a barra 186 com esforço solicitante $N_{csd} = 150,68 \text{ kN}$, $N_{crd} = 800,92 \text{ kN}$ e $N_{csd}/N_{crd} = 0,188$, portanto o critério foi satisfeito.

Para o modelo 3, tem-se a barra 132 com esforço solicitante $N_{csd} = 133,86 \text{ kN}$, $N_{crd} = 800,92 \text{ kN}$ e $N_{csd}/N_{crd} = 0,167$, portanto o critério foi satisfeito.

4. Conclusão

A análise comparativa de deslocamentos e deformações em treliças metálicas do tipo Pratt, Howe e Belga, utilizando o *software Robot Structural Analysis*[®], proporcionou uma boa compreensão acerca do comportamento estrutural dessas configurações de treliças sob diferentes combinações de cargas. A modelagem das estruturas considerou cargas importantes, como o peso próprio do material, o peso das telhas do galpão metálico e a ação do vento em ângulos de 0° e 90° . Foram realizadas três combinações de estado limite de serviço (ELS) e três de estado limite último (ELU), conforme as normas NBR 6120:2019 e NBR 8800:2008.

Os resultados indicaram que, entre as combinações de Estado Limite Último, a combinação ELU_{Comb1} causou os maiores deslocamentos, enquanto que, entre as combinações de estado limite de serviço, a combinação ELS_{Comb2} foi a mais crítica em termos de deslocamentos. Especificamente, o Modelo 3 (Treliça Belga) apresentou o menor deslocamento, com um valor de $\delta_{M\acute{a}x} = 0,6 \text{ cm}$, demonstrando uma performance superior em comparação às outras. Por outro lado, a treliça modelo 2 (Howe) exibiu o maior deslocamento, indicando uma menor rigidez estrutural.

Em termos de critérios de resistência, medidos pela relação N_{csd}/N_{crd} , a treliça modelo 3 novamente se destacou, apresentando um valor de $0,167$, o que indica uma maior capacidade de resistir às cargas aplicadas dentro dos limites normativos. Em contraste, a treliça modelo 2 teve um valor de N_{csd}/N_{crd} igual a $0,188$, o que, embora ainda dentro dos limites aceitáveis, demonstra uma resistência relativa inferior.

Portanto, com base nos deslocamentos e nas relações N_{csd}/N_{crd} observados, conclui-se que o Modelo 3 (Treliça Belga) ofereceu melhor desempenho estrutural e resistência quando comparada aos modelos Pratt e Howe nas condições analisadas. Este estudo destaca a importância da escolha adequada do tipo de treliça para aplicações específicas, especialmente em projetos onde a minimização de deslocamentos e a maximização da resistência estrutural são cruciais. A utilização do *software Robot Structural Analysis*[®]

mostrou-se eficaz na modelagem e análise detalhada das treliças, fornecendo dados essenciais para a tomada de decisões em projetos de engenharia civil.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8800:2008 VERSÃO CORRIGIDA:2014: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008. 237 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6120:2019: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019. 61 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6123:2023: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2023. 95 p.

HEINEN, Henrique André. *Estudo do retorno elástico para processos de dobramento à frio de chapas do aço ASTM A36.* Dissertação (Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

HIBBELER, R.C. *Análise de Estruturas.* 8 ed. São Paulo: Editora Pearson, 2013.

FAKURY, R. H.; SILVA, A. L. R. C. E.; CALDAS, R. B. *Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos aço e concreto.* São Paulo: PEARSON EDUCATION DO BRASIL, 2016.

MELO, Francisca Ires Vieira de. *Estudo comparativo de membros de treliças isostáticas.* Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2016.

PFEIL, W.; PFEIL, M. *Estruturas de Aço Dimensionamento Prático: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008.* 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.