



II Simpósio de Pesquisa do Ecosistema Ânima:  
**Juntos pelo Conhecimento: um novo saber cria um novo amanhã**

**INFLUÊNCIA DA INCLINAÇÃO DO TELHADO NO DIMENSIONAMENTO E NO CONSUMO DE MATERIAL EM TRELIÇAS METÁLICAS DE GALPÕES INDUSTRIAIS**

João Pedro Vieira Rezende<sup>1</sup> ([joaopedro\\_rezende@hotmail.com](mailto:joaopedro_rezende@hotmail.com)); Erik Elias Dias da Silva<sup>1</sup> ([Erik.engcivil2024@gmail.com](mailto:Erik.engcivil2024@gmail.com)); Walinson Roberto dos Reis<sup>1</sup> ([walinsonroberto@hotmail.com](mailto:walinsonroberto@hotmail.com))  
(MSc. Iuri Fazolin Fraga<sup>1</sup> ([iuri.fraga@prof.una.br](mailto:iuri.fraga@prof.una.br)))

<sup>1</sup>Centro Universitário Una, Pouso Alegre, Brasil

**RESUMO**

Neste estudo, avaliou-se o impacto da inclinação do telhado no dimensionamento de estruturas metálicas de galpões industriais. Utilizando o Método dos Elementos Finitos e rotinas de dimensionamento de normas vigentes, observou-se que a escolha da inclinação do telhado desempenha um papel significativo no consumo de aço, com inclinações menores (cerca de 5°) exigindo perfis mais robustos para garantir a estabilidade da estrutura. Em contrapartida, inclinações mais acentuadas (cerca de 15°) resultaram em menor consumo de aço devido a forças de compressão reduzidas nos membros horizontais da estrutura. As barras diagonais e montantes apresentaram variações menores nas diferentes inclinações. Esses resultados têm implicações importantes para o projeto de galpões industriais, uma vez que a escolha da inclinação do telhado pode afetar substancialmente o consumo de material e, conseqüentemente, os custos e o impacto ambiental.

**INTRODUÇÃO**

Para atender a demanda crescente de obras como pontes e edifícios, o aço começou a ser utilizado no Brasil no final do século XIX e início do século XX, ainda na forma de estruturas pré-fabricadas importadas (PFEIL; PFEIL, 2021). Apenas em 1946, com o início de operação da CSN – Companhia Siderúrgica Nacional, é que o aço importado foi substituído pelo produto de fabricação nacional (PFEIL; PFEIL, 2021).



Desde então, muitos construtores e engenheiros projetistas começaram a optar pelo aço como elemento estrutural em pontes e edifícios. No Brasil, seu uso é bem notado em edificações industriais e agrícolas na forma de sistemas treliçados de cobertura. Isso se deve ao fato da necessidade de vencer grandes vãos com uma estrutura que seja eficiente e leve.

Pravia *et al.* (2013) apontam algumas das inúmeras vantagens do aço em sistemas estruturais: redução das solicitações nas fundações; aumento da área útil; redução do tempo de montagem; flexibilidade e agilidade. Todavia, assim como qualquer outro material, apresenta algumas desvantagens, destacando-se duas: alto valor de mercado (dependendo do planejamento da obra, pode custar mais caro que uma estrutura de concreto equivalente) e alta demanda de energia na sua produção, chamando a atenção para questões ambientais e de sustentabilidade.

O aço é indispensável para o desenvolvimento econômico devido à sua ampla aplicação nas indústrias automotiva e de construção (LIANG *et al.*, 2020). Portanto, nas últimas décadas, a rápida urbanização e industrialização contribuíram para o aumento da produção global de aço (LI *et al.*, 2019; SUN *et al.*, 2020). Todavia, segundo SUN *et al.* (2020), o setor de siderurgia é um dos maiores consumidores de energia entre os setores industriais globais e um dos maiores emissores de CO<sub>2</sub> (gás carbônico) do planeta. Um estudo de Kan *et al.* (2020) estimou que aproximadamente 80% da energia no planeta é consumida por produtores de aço e produtos químicos. Já segundo a Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma da China (NRDC, *National Development and Reform Commission*), a indústria do aço global gerou 2,8 bilhões de toneladas de emissões de CO<sub>2</sub> somente em 2019. Portanto, é evidente o real impacto ambiental causado por este setor da indústria.

Neste cenário e visando gerar subsídios que venham a expandir o consumo racional do aço em estruturas, é imprescindível o desenvolvimento de trabalhos como o aqui proposto. Ainda que a aplicação do aço em estruturas de cobertura seja frequente no Brasil, para a otimização da aplicação do material, faz-se necessária a verificação da procedência de certas suposições empíricas. Por exemplo, alegando estar reduzindo o consumo de aço em estruturas de cobertura, alguns fabricantes de telha recomendam a utilização da inclinação de 10% ( $\approx 5,5^\circ$ ) entre os banzos de tesouras. No entanto, mesmo essa configuração resultando em barras de comprimentos inferiores, quando comparadas a outras configurações com inclinações maiores, sabe-se que as forças são de maior magnitude e conseqüentemente requerem reforços nas barras, resultando em significativo acréscimo de material.



O impacto de tais variáveis em um projeto completo ou mesmo vários deles acarretará maior desprendimento de recursos por parte dos contratantes de serviço, bem como impactos ambientais oriundos do acréscimo de demanda.

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa é avaliar a influência da inclinação do telhado no dimensionamento dos perfis metálicos e no consumo de aço de um galpão industrial.

**Palavras-chave:** Treliças metálicas, Inclinação do telhado, Consumo de material.

## MÉTODOS

### Geometria

Para alcançar os objetivos propostos, o objeto de estudo foi concebido com base em um projeto que se assemelha à realidade. A tipologia *Howe* foi escolhida, pois é comum em projetos de estruturas metálicas, com um vão de 15 metros. Cada água do telhado foi dividida em 10 partes iguais, com barras do banzo inferior com 0,75 metros cada. As telhas utilizadas na concepção são do tipo zinco, com formato trapezoidal.

### Ações e Carregamentos

As ações e carregamentos foram considerados com base nas normas NBR 6120 (ABNT, 2019) e na NBR 6123 (ABNT, 2023) e foram subdivididos em ações permanentes e variáveis. As ações permanentes na treliça incluem o peso próprio da estrutura e os materiais fixos, como as telhas. Como será utilizado o *software iTruss* (FRAGA, 2020) a própria ferramenta ajusta automaticamente os perfis metálicos para cada parte da treliça, corrigindo assim o peso próprio da estrutura em cada simulação. É necessário apenas fornecer o peso dos equipamentos fixos. Portanto, o peso nominal das telhas foi estimado em  $65 \text{ N/m}^2$ , com base em informações obtidas em catálogos técnicos de telhas de zinco.

As ações variáveis na treliça incluem a ação do vento e a sobrecarga na cobertura. De acordo com a norma NBR 6120 (ABNT, 2019), foi considerado um valor de  $250 \text{ N/m}^2$  de sobrecarga variável em projeção horizontal. A estimativa da ação variável relacionada ao vento foi calculada de acordo com a norma NBR 6123 (ABNT, 2023).

### Análise estrutural e dimensionamento

Para a análise das treliças planas de cobertura, foi adotado o Método dos Elementos Finitos (MEF), utilizando o *software iTruss* (FRAGA, 2020). Em todas as modelagens, foi considerado o modelo de pórtico (FRAGA, 2020) devido à semelhança das ligações soldadas com um modelo rígido em



vez de flexível. Este modelo assume as seguintes premissas: todas as barras têm extremidades engastadas, e a ação devido ao peso próprio é descarregada nos pontos de aplicação de cargas (nós onde as terças estão localizadas). Para isso, foi calculado o produto da densidade pelo valor da área da seção transversal de cada barra multiplicado pelo comprimento linear de cada barra.

O processo de dimensionamento seguiu as recomendações normativas da NBR 8800 (ABNT, 2008). Nesta fase da pesquisa, foram simuladas apenas duas inclinações, sendo elas 9% ( $\approx 5^\circ$ ) e 27% ( $\approx 15^\circ$ ).

### Definição do material

Os projetos foram simulados considerando perfis U simples formados a frio nos banzos e perfis de dupla cantoneira frontais formados a frio nas montantes e diagonais. O material utilizado foi o aço SAE 1008, comumente empregado em projetos de estruturas metálicas com perfis formados a frio. Suas propriedades mecânicas são as seguintes:

- Resistência ao escoamento:  $f_y = 172$  MPa;
- Resistência de ruptura:  $f_u = 310$  MPa;
- Módulo de elasticidade:  $E = 205$  GPa.

### Análise dos resultados

A metodologia utilizada no dimensionamento dos perfis é a de seção transversal mínima, ou seja, busca-se a massa linear mínima, uma vez que o aço é vendido por quilograma (kg).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a simulação das duas inclinações mencionadas (9% e 27%), as massas obtidas estão impressas no gráfico da Figura 1.

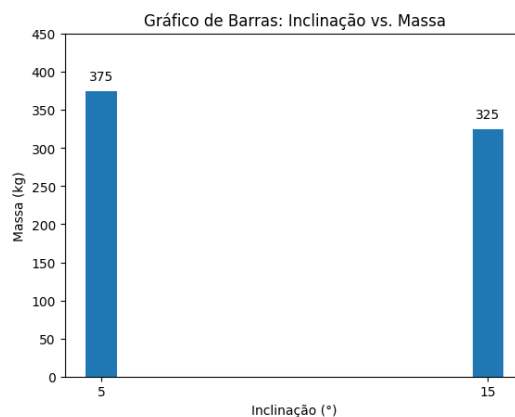


Figura 1: Gráfico Inclinação *versus* massa



Na Tabela 1 estão os valores das massas lineares dos perfis encontrados em cada posição da treliça.

Tabela 1: Massa linear (kg/m) dos perfis em cada posição da treliça

| Inclinação | Banzo inferior | Banzo superior | Diagonais | Montantes |
|------------|----------------|----------------|-----------|-----------|
| 5°         | 8,76           | 7,75           | 4,53      | 2,32      |
| 15°        | 5,79           | 5,46           | 3,99      | 2,32      |

Observa-se que as barras diagonais apresentam pouca variação entre as inclinações extremas, e as montantes permanecem inalteradas, o que leva à conclusão de que os banzos são os principais responsáveis pela diferença significativa nos volumes de material requeridos.

Em todas as simulações, o fator determinante no dimensionamento foi a estabilidade em relação ao eixo y. Como o comprimento dos banzos varia pouco em cada inclinação, nota-se que os esforços de compressão são inversamente proporcionais à inclinação da treliça. Isso significa que, para garantir a estabilidade da barra, os perfis devem ser significativamente maiores em baixas inclinações.

Também é observado que, embora as barras diagonais e montantes reduzam seu comprimento em inclinações menores, elas continuam contribuindo com uma parcela reduzida dos esforços, o que resulta em um aumento significativo das forças nas barras dos banzos que se aproximam dos apoios.

## CONCLUSÕES

A pesquisa apresentada neste artigo buscou avaliar a influência da inclinação do telhado no dimensionamento dos perfis metálicos e no consumo de aço em um galpão industrial. Os resultados indicam que a escolha da inclinação do telhado desempenha um papel fundamental na quantidade de aço necessária, com inclinações menores exigindo perfis mais substanciais para garantir a estabilidade da estrutura. Os dados apresentados na pesquisa revelam que, em inclinações menores do telhado (cerca de 5°), a quantidade de aço requerida é significativamente maior em comparação com inclinações mais acentuadas (cerca de 15°). Isso ocorre porque em inclinações menores, as forças de compressão nas barras dos banzos (os membros horizontais da estrutura) aumentam consideravelmente, exigindo perfis de aço mais robustos para manter a estabilidade da estrutura. Em contraste, as barras diagonais e montantes (os membros verticais e inclinados da estrutura) mostraram variações menores nas inclinações.



## REFERÊNCIAS

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

\_\_\_\_\_. NBR 6123. **Forças devidas ao vento**. Rio de Janeiro, 2023.

\_\_\_\_\_. NBR 8800. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

LIANG, T.; WANG, S.; LU, C.; JIANG, N.; LONG, W.; ZHANG, M.; ZHANG, R. Environmental impact evaluation of an iron and steel plant in China: Normalized data and direct/indirect contribution. **J. Cleaner Prod.**, v. 264, p. 121697, 2020.

FRAGA, I. F. **Influência dos modelos idealizados de ligações no dimensionamento de treliças planas de madeira**. 2020. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

KAN, K.; MATIVENGA, P.; MARNEWICK, A. Understanding energy use in the South African manufacturing industry. **Procedia CIRP 2020**, v. 91, p. 445-451, 2020.

LI, Z.; DAI, H.; SONG, J.; SUN, L.; GENG, Y.; LU, K.; HANAOKA, T. Assessment of the carbon emissions reduction potential of China's iron and steel industry based on a simulation analysis. **Energy**, v. 183, p. 279-290, 2019.

NDRC, National Development and Reform Commission, People's Republic of China, 2020. Green and low-carbon leading the high-quality development of steel industry. Disponível em: <[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/wsdwhfz/202010/t20201015\\_1244312.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/wsdwhfz/202010/t20201015_1244312.html)>. Acesso em: 26 fev., 2023.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Aço - Dimensionamento Prático**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

PRAVIA, Z. M. C.; FICANHA, R. A.; FABEANE, R. **Projeto e Cálculo de Estruturas de Aço – Edifício Detalhado**. 1. ed. São Paulo: Elsevier, 2019.

SUN, W.; WANG, Q.; ZHOU, Y.; WU, J. Material and energy flows of the iron and steel industry: Status quo, challenges and perspectives. **Energy**, v. 268, p. 114946, 2020.