



## III Simpósio de Pesquisa do Ecossistema Ânima: O Saber se Manifesta na Experimentação

### INFLUÊNCIA DO ATRITO ENTRE O AÇO E ELEMENTOS DE SUPORTE NO PROJETO DE TRELIÇAS METÁLICAS DE COBERTURAS

Leandro Henrique de Padua<sup>1</sup> ([Ihpnow@hotmail.com](mailto:Ihpnow@hotmail.com)); Walinson Roberto dos Reis<sup>1</sup> ([walinsonroberto@hotmail.com](mailto:walinsonroberto@hotmail.com)); Erik Elias Dias da Silva<sup>1</sup> ([Erik.engcivil2024@gmail.com](mailto:Erik.engcivil2024@gmail.com));

(Dr.) 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

Esta pesquisa aborda a importância da consideração da força de atrito em projetos de treliças planas de aço, destacando sua relevância para a otimização do uso de materiais e a redução de custos. Simulações estruturais realizadas com o Método dos Elementos Finitos (MEF) revelaram que a interação aço-aço pode reduzir em até 6,5% a massa das treliças, enquanto a interação aço-concreto proporciona uma economia de 2,2%. A força de atrito atua como contenção ao deslocamento do banzo inferior, aliviando os esforços axiais e promovendo a economia de material. A pesquisa conclui que a consideração do atrito é vantajosa, principalmente em construções de grande escala, como galpões, contribuindo para um uso mais eficiente e sustentável do aço. Essa abordagem não só potencializa a viabilidade econômica dos projetos, mas também reforça práticas de engenharia alinhadas à sustentabilidade.

**Palavras-chave:** Treliça de aço, Força de atrito, Consumo de material.

#### INTRODUÇÃO

A evolução do uso do aço como material estrutural no Brasil, desde o final do século XIX, destaca avanços significativos na construção civil. Inicialmente importado na forma de estruturas pré-fabricadas, o aço tornou-se essencial após a criação da Companhia



Siderúrgica Nacional (CSN) em 1946, marcando o início da produção nacional e fomentando inovações em engenharia e arquitetura (Pravia *et al.*, 2013; Cortez *et al.*, 2017; Pfeil; Pfeil, 2021).

O aço é amplamente utilizado no Brasil, especialmente em edificações industriais e agrícolas, em sistemas treliçados de cobertura que vencem grandes vãos de forma eficiente e leve. Suas vantagens, como alta resistência, ductilidade e potencial de reciclagem, reforçam seu papel no desenvolvimento econômico e na sustentabilidade (Fakury *et al.*, 2016; Cortez *et al.*, 2017). Contudo, o custo elevado e a alta demanda energética da produção de aço, com significativa emissão de CO<sub>2</sub>, representam desafios ambientais importantes (Kan *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2024).

Com o aumento da consciência ambiental, torna-se urgente buscar soluções que conciliem eficiência estrutural com sustentabilidade. Assim, pesquisas que visam maximizar a eficiência e minimizar o impacto ambiental do aço em estruturas ganham relevância. Questões como o modelo de vinculação de apoios em sistemas treliçados são fundamentais, uma vez que simplificações convencionais podem subestimar forças de atrito geradas entre treliças e pilares, alterando as demandas estruturais.

Esse fenômeno, observado em simulações, indica que a força de atrito reduz deslocamentos no banzo inferior, trazendo benefícios econômicos. Porém, esse efeito gera momentos fletores adicionais nos pilares, que precisam ser adequadamente considerados no projeto. A presente pesquisa aborda essas variáveis negligenciadas, buscando melhorar o desempenho estrutural, reduzir custos e minimizar impactos ambientais.

Os resultados esperados visam conscientizar engenheiros sobre esses aspectos, promovendo projetos mais seguros e alinhados com as demandas atuais da construção civil. Uma abordagem integrada que considere esses fatores contribui para uma construção mais eficiente e sustentável, beneficiando tanto projetistas quanto usuários finais.

## MÉTODOS

### Geometria

Para atender aos objetivos propostos, o objeto de estudo foi desenvolvido com base em um projeto representativo da realidade. Optou-se pela tipologia *Howe*, amplamente



utilizada em projetos de estruturas metálicas, com um vão de 20,0 metros e inclinação de 10% ( $5,71^\circ$ ) no banzo superior. Cada águia do telhado foi subdividida em 10 partes iguais, sendo as barras do banzo inferior dimensionadas com 1,00 metro cada. As telhas especificadas na concepção são de zinco e termoacústicas, com perfil trapezoidal.

### Ações e Carregamentos

As ações e carregamentos foram considerados de acordo com as normas ABNT NBR 6120 (2019) e na ABNT NBR 6123 (2023), sendo classificados em ações permanentes e variáveis.

As ações permanentes na treliça compreendem o peso próprio da estrutura e dos materiais fixos, como as telhas. Para a análise, foi desenvolvida uma ferramenta computacional capaz de ajustar automaticamente os perfis metálicos de cada componente da treliça, atualizando o peso próprio da estrutura em cada simulação. Dessa maneira, é necessário apenas informar o peso dos equipamentos fixos. O peso nominal das telhas foi estimado em  $100 \text{ N/m}^2$ , com base em informações de catálogos técnicos de telhas termoacústicas. As ações variáveis na treliça englobam a ação do vento e a sobrecarga na cobertura. Conforme a ABNT NBR 6120 (2019), foi adotado um valor de  $250 \text{ N/m}^2$  para a sobrecarga variável em projeção horizontal.

A ação do vento foi estimada com base na ABNT NBR 6123 (2023), considerando uma velocidade básica do vento de 40 m/s. A edificação foi modelada com formato retangular, apresentando uma relação comprimento/largura igual a 2 e altura/largura de 0,5, em terreno plano. Trata-se de hangar situado em zona não urbanizada, com abertura fixas de  $200 \text{ m}^2$  de área.

### Análise estrutural e dimensionamento

Para a análise das treliças planas de cobertura, empregou-se o Método dos Elementos Finitos (MEF). Em todas as simulações, adotou-se um modelo de treliça em que as barras possuem extremidades articuladas, e as forças externas são aplicadas exclusivamente nos nós da estrutura. Os procedimentos de dimensionamento foram conduzidos em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 14762 (2010).

### Definição do material

As simulações dos projetos consideraram perfis do tipo U simples, formados a frio, em todos os grupos da treliça. O material adotado foi o aço SAE 1008, amplamente utilizado



em estruturas metálicas com perfis formados a frio. As propriedades de resistência relevantes desse material são as seguintes:

- Resistência ao escoamento:  $f_y = 170$  MPa.
- Resistência de ruptura:  $f_u = 303$  MPa.

### Força de atrito

A força de atrito lateral presente no apoio de primeiro gênero é determinada pela Equação 1, na qual  $N$  representa a força normal (reação de apoio) na direção vertical, e  $\mu_e$  corresponde ao coeficiente de atrito estático entre os materiais analisados.

$$F_{at} = N\mu_e \quad (1)$$

Foram simulados dois tipos de interação: aço-aço e aço-concreto, que representam as situações mais comuns, considerando que o pilar no qual a treliça é apoiada pode ser constituído de aço ou concreto. Nessa perspectiva, foram adotados os seguintes valores máximo de coeficientes de atrito, extraídos do SFS-EN 12812 (2008):

- Aço-aço: 0,80.
- Aço-concreto: 0,40.

### Análise dos resultados

A metodologia empregada no dimensionamento dos perfis baseou-se na seção transversal mínima, visando a obtenção da menor massa linear, dado que o aço é comercializado por quilograma (kg). Assim, as massas correspondentes em cada simulação foram registradas para posterior análise comparativa.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após as simulações as simulações, as massas obtidas estão impressas no gráfico da Figura 1.

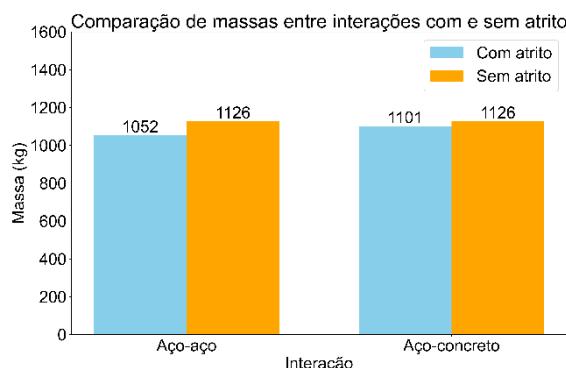


Figura 1: Gráfico Comparativo de massas entre interações com e sem atrito



Quanto maior o coeficiente de atrito, maior será a força de atrito gerada. No apoio de primeiro gênero, essa força atua como uma contenção ao deslocamento do banzo inferior, o que contribui para a redução dos esforços axiais nesse grupo. Esse alívio nos esforços promove economia nos perfis dimensionados. Nos demais grupos, nenhuma alteração significativa foi observada.

Verificou-se que a diferença mais expressiva ocorreu na interação aço-aço, com uma redução de 6,5% no consumo de material. Já na interação aço-concreto, a diferença foi menos pronunciada, alcançando apenas 2,2%. Para maximizar o alívio nos esforços na interação aço-concreto, recomenda-se o aumento da rugosidade na superfície da cabeça do pilar, garantindo melhor desempenho do banzo inferior durante o serviço.

Ainda que as reduções nas dimensões e massas dos perfis possam parecer pequenas, elas assumem relevância em cenários que demandam o uso de múltiplas treliças, como em construções de galpões. Isso evidencia que a consideração do fator de atrito possui potencial para promover economias significativas, abrangendo não apenas aspectos financeiros, com ganhos econômicos consolidados, mas também benefícios sustentáveis, ao incentivar o uso mais racional e responsável do aço.

## CONCLUSÕES

A pesquisa destaca a relevância de considerar a força de atrito em projetos de treliças planas de aço, evidenciando otimizações na utilização de materiais. A interação aço-aço proporciona redução de até 6,5% na massa das treliças em comparação com modelos sem essa força, enquanto a aço-concreto oferece economia de 2,2%. Esses resultados são essenciais, especialmente em projetos de grande escala, como galpões, onde técnicas que promovem eficiência de material podem gerar economias financeiras e reduzir impactos ambientais. Dessa forma, a abordagem aprimora a segurança e viabilidade dos projetos, contribuindo para práticas de engenharia sustentáveis e eficientes.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6120. **Ações para o cálculo de estruturas de edificações.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2019.



ABNT NBR 6123. **Forças devidas ao vento em edificações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2023.

ABNT NBR 14762. **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2010.

CORTEZ, L. A. da R.; et al. Uso das estruturas de aço no Brasil. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS**, v. 4, n. 2, p. 217–217, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/cdgexatas/article/view/5215>>.

FAKURY, R. H.; et al. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto**. 1. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

KAN, K.; et al. Understanding energy use in the South African manufacturing industry. **Procedia CIRP**, v. 91, p. 445–451, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.197>>.

LI, Y.; et al. Analysis of carbon neutrality technology path selection in the steel industry under policy incentives. **Energy**, v. 292, p. 130550, 2024.

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

PRAVIA, Z. M. C.; et al. **Projeto e Cálculo de Estruturas de Aço: Edifício Detalhado**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

SFS-EN 12812. **Eurocode: Falsework. Performance requirements and general design**. Standard, Finnish Standards Association, Helsinki, 2008.