



ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO DE PERFIS METÁLICOS EM GALPÕES COMERCIAIS COM E SEM CARGA DE PLACAS FOTOVOLTAICA

AURINEY BARBOSA VIDAL¹
PAULA JANAÍNA SOUZA FARTO²
ANDRÉIA ALVES BOTIN³

RESUMO: No desenvolvimento de projetos de galpões treliçados em aço, diversas alternativas podem ser consideradas para a concepção estrutural. A adoção de estratégias que visem à racionalização do projeto é fundamental para se alcançar soluções que atendam simultaneamente aos critérios de segurança e viabilidade econômica. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar o dimensionamento de um galpão metálico com área de 399 m², utilizando treliças tanto nos pilares quanto nas tesouras, com base nas normas brasileiras aplicáveis a estruturas de aço: NBR 8800:2008, NBR ISO 9692-1, NBR 6120 e NBR 8802, por meio dos softwares Visual Ventos e Cype 3D. Além disso, o presente estudo apresenta os resultados de peso, com o dimensionamento deste galpão, com e sem a sobrecarga de placas fotovoltaicas na cobertura, mostrando assim, que a diferenças significativas para uma estrutura calculada estar apta para receber essa carga adicionais, apresentando a importância de prever essa sobrecarga no dimensionado para usado futuramente dessas placas caso seja o objetivo do projeto. Como resultado, obteve-se, que sem a sobrecarga utilizou 14,75kg/m² de aço para execução do galpão e com a sobrecarga das placas fotovoltaicas foi para 21,10kg/m² sendo 43,05% a mais do aço dimensionado no primeiro caso.

PALAVRAS-CHAVES: ASTM A-36; Galpão metálico; Software Cype 3D; Treliça.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRUCTURAL DESIGN OF STEEL PROFILES IN COMMERCIAL SHEDS WITH AND WITHOUT PHOTOVOLTAIC PANEL LOADS

ABSTRACT: In the development of steel truss warehouse projects, various structural design alternatives must be considered to balance safety and cost-efficiency. This study aims to design a steel warehouse covering an area of 399 m² using trusses in both the columns and roof structures, in accordance with the Brazilian standards for steel structures: NBR 8800:2008, NBR ISO 9692-1, NBR 6120, and NBR 8802. The structural analysis and design were performed using the software tools Visual Ventos and Cype 3D. A key focus of the study is to evaluate the impact of additional loads from photovoltaic (PV) panels on the overall structural performance and material consumption. Two design scenarios were compared: one without PV panels and another with the additional load from the panels installed on the roof. The results demonstrated a significant difference in steel requirements

¹ Acadêmico de Graduação, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Fasipe - UNIFASIFE. Endereço eletrônico: auriny_ca@hotmail.com

² Professora Especialista, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Fasipe - UNIFASIFE. Endereço eletrônico: paulajanaina_engcivil@hotmail.com

³ Professora Doutora, em Biotecnologia e Biodiversidade, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Fasipe - UNIFASIFE. Endereço eletrônico: andrea.botin@yahoo.com.br



between the two scenarios. Without the PV panels, the structure required 14.15 kg/m² of steel, while the inclusion of the panels increased the requirement to 21.10 kg/m², representing a 43.05% increase in steel consumption. This substantial difference underscores the importance of accounting for future installations of solar panels during the initial design phase, as retrofitting can lead to increased material usage and costs. The study reinforces the value of integrated planning for sustainable and efficient structural solutions.

KEYWORDS: ASTM A-36; Metal warehouse; Cype 3D software; Truss.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil, atualmente, apresenta um cenário de alta competitividade em nível global, no Brasil, a engenharia tem buscado alinhar-se às práticas internacionais por meio da inovação, voltada especialmente para três pilares fundamentais: redução de custos, diminuição do tempo de execução das obras e aumento da eficiência dos processos construtivos (Nogueira; Grupo Hard, 2019).

Nesse contexto, a busca por soluções que conciliem esses fatores tem impulsionado a adoção de sistemas construtivos baseados no uso do aço. Em áreas urbanas densamente ocupadas, onde há escassez de grandes terrenos, as estruturas metálicas apresentam-se como uma alternativa estratégica, uma vez que suas seções transversais, em comparação ao concreto armado, são menores. Isso permite um melhor aproveitamento dos espaços disponíveis e o aumento da área útil (Nogueira; Grupo Hard, 2019).

As estruturas metálicas são constituídas, predominantemente, por perfis de aço e podem ser aplicadas em diversos tipos de edificações, como galpões industriais, edifícios comerciais, centros de compras e estádios. Sua principal vantagem é a agilidade na execução, já que os componentes são fabricados previamente em ambientes controlados e chegam ao canteiro de obras prontos para montagem. No entanto, essa característica demanda projetos altamente detalhados e bem dimensionados, pois o sistema não admite improvisações durante a montagem (Nogueira; Grupo Hard, 2019).

Segundo Castro (2021), as estruturas em aço apresentam particularidades desde a fase de concepção do projeto, destacando características que influenciam diretamente a escolha dos processos construtivos. Entre elas, ressaltam-se a capacidade de vencer grandes vãos, o menor peso das peças em comparação a outros materiais, a fabricação com alta precisão dimensional frequentemente milimétrica, o que proporciona elevado controle de qualidade, garantia das dimensões e propriedades dos materiais, além de resistência a vibrações e impactos. Tais fatores contribuem também para maior agilidade e limpeza na execução das obras.

Em relação às vantagens do uso de estruturas metálicas, Pinheiro (2020) observa que o material facilita tanto a montagem quanto a desmontagem, permitindo inclusive a reutilização dos componentes em outros locais ou projetos. Destaca ainda a elevada resistência estrutural do aço, que possibilita a execução de estruturas leves e eficientes para grandes vãos, além da viabilidade de reaproveitamento de materiais estocados ou já utilizados em outras obras.

Por outro lado, Bellei (2021) ressalta a necessidade de cuidados específicos no tratamento do aço, principalmente no que diz respeito à proteção contra a corrosão e à sua sensibilidade às variações de temperatura, que influenciam diretamente o comportamento mecânico do material.



Dessa forma, o presente estudo se justifica pela necessidade de analisar tecnicamente o impacto da adição de placas fotovoltaicas no dimensionamento de um galpão metálico de 399,00 m², utilizando o software CYPE 3D e o aço ASTM A-36. Ao comparar dois cenários distintos um considerando apenas as cargas permanentes da estrutura e da cobertura com telhas termoacústicas, e outro com a inclusão das cargas adicionais provenientes das placas fotovoltaicas busca-se identificar as alterações na escolha dos perfis estruturais e no consumo de aço por metro quadrado. Essa análise contribui para a definição de soluções mais seguras, econômicas e tecnicamente viáveis para projetos de estruturas metálicas em edificações comerciais.

O uso de sistemas fotovoltaicos em galpões industriais e comerciais tem se tornado cada vez mais comum nas últimas décadas, especialmente a partir da publicação da Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que regulamentou a micro e a minigeração distribuída de energia elétrica no Brasil. Esse marco regulatório impulsionou significativamente a adoção de sistemas solares fotovoltaicos, favorecendo o investimento em fontes renováveis e descentralizadas de geração de energia (ANEEL, 2012).

Os galpões metálicos se destacam como estruturas ideais para a instalação de sistemas fotovoltaicos, devido à ampla área disponível em suas coberturas, à facilidade de fixação dos suportes e à resistência dos perfis metálicos, capazes de suportar de forma eficiente as cargas adicionais impostas pelos módulos solares. Além disso, o uso combinado de telhas termoacústicas e painéis fotovoltaicos proporciona melhor desempenho térmico e eficiência energética, reduzindo a necessidade de refrigeração interna e contribuindo para o conforto ambiental dos espaços industriais e comerciais.

Neste estudo, serão considerados dois cenários distintos: o primeiro contempla apenas as cargas permanentes da estrutura e da cobertura com telhas termoacústicas, enquanto o segundo inclui o peso adicional das placas fotovoltaicas. Por meio dessa comparação, busca-se identificar as variações na escolha dos perfis metálicos, na trabalhabilidade da estrutura e no consumo de aço por metro quadrado, determinando o peso necessário para atender adequadamente a cada situação de carregamento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Estrutura Metálica

Segundo Pfeil, (2020) os metais ferrosos são aplicados nos aços, sendo assim, o ferro fundido e o ferro forjado são os aços mais utilizados. Aço e o ferro fundido são ligas de ferro e carbono com subprodutos de fabricação como silício, manganês, fósforo e enxofre, e são adicionados elementos químicos que melhoram as propriedades físicas e mecânicas do material.

São chamados de elemento de combustão, com isso, o aço consiste em uma liga de ferro metálico e carbono, obtida pelo refino do ferro fundido (ou simplesmente ferro fundido é o produto da primeira fundição do minério de ferro e incluiu cerca de 3,5 a 4,0 % carbono), geralmente contendo 0,008% o cerca de 2,11% carbono, salvo alguns elementos residuais (Pfeil, 2020).

O carbono aumenta a resistência do aço, tornando o mais quebradiço. Os aços de baixo carbono têm menor resistência à tração, mas são mais dúcteis, mais usináveis e soldáveis, têm baixo custo de fabricação e são usados em seções estruturais, pontes e muito mais. No entanto, as resistências à fratura e à tração dos aços utilizados nas



estruturas são as mesmas e variam de 300 MPa a mais de 1200 MPa (Pfeil, 2020).

Seja 0,008% o limite inferior que corresponde a uma solubilidade máxima mínima do carbono no ferro à temperatura ambiente 2.11 A quantidade máxima de carbono dissolvido no ferro ocorre a uma temperatura de 11 8 °C. Os resultados dependem do comportamento dos elementos restantes na liga de aço. Portanto, a composição restante é dividida em dois tipos de aço: aço carbono ou aço liga ferro-carbono com teor de carbono de 0,008% a 11% (PFEIL, 2020).

Utilizando a separação teórica dos dois principais produtores de aço, pode-se dizer que o aço contém até 2,11% de carbono e o ferro fundido contém mais de 2,11% de carbono (Chiaveni, 2008).

O aço estrutural deve ter boa ductilidade, uniformidade e soldabilidade, além de alta resistência à fluência e à fluência. Com base nisso foi demonstrado que a resistência de alguns aços estruturais é obtida por meio de um processo de forjamento ou tratamento térmico (Chiaveni, 2008)

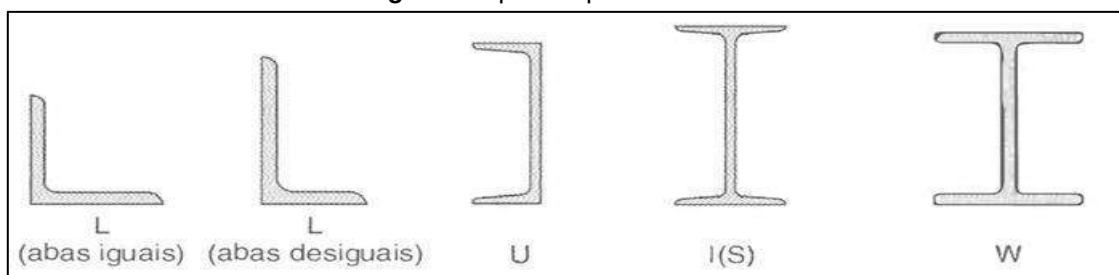
2.2 Tipos de perfis

Os perfis são produtos siderúrgicos que podem ser classificados como barras e chapas, sendo que a indústria siderúrgica produz inúmeros produtos. Os mais comumente usados são colchetes angulares, seções em I ou duplo T, seções H, seções em U ou U com arestas iguais e diferentes perfis. Barras chatas, barras redondas, tubos redondos, tubos retangulares e quadrados, chapas em bobinas (dimensões variáveis em comprimento e largura), essas bobinas de chapas metálicas são transportadas por empresas comercializadoras de aço e dobradas em perfis ou já processadas na indústria siderúrgica (Pinheiro, 2020).

Os perfis laminados, produzidos em configurações como I, U, L, H ou W, apresentam elevada eficiência estrutural. Os perfis dos tipos H, I e U são fabricados em grupos, nos quais a altura permanece constante enquanto a largura das abas varia. Essa variação ocorre conforme o ajuste do espaçamento dos rolos laminadores, o que também influencia diretamente na espessura da alma, que varia na mesma proporção da largura das abas (Pinheiro, 2020).

A fabricação desses perfis se dá por meio da laminação a quente, um processo de conformação mecânica dos metais que os torna adequados para diversas aplicações. Os perfis laminados são amplamente utilizados em setores como a construção civil, a indústria naval, fundações e diversas outras áreas industriais. Contudo, esse processo de fabricação impõe algumas limitações, principalmente em relação às dimensões das seções transversais, sendo a altura um dos aspectos mais restritivos (Amorim, 2019).

Figura 1: Tipos de perfis laminados



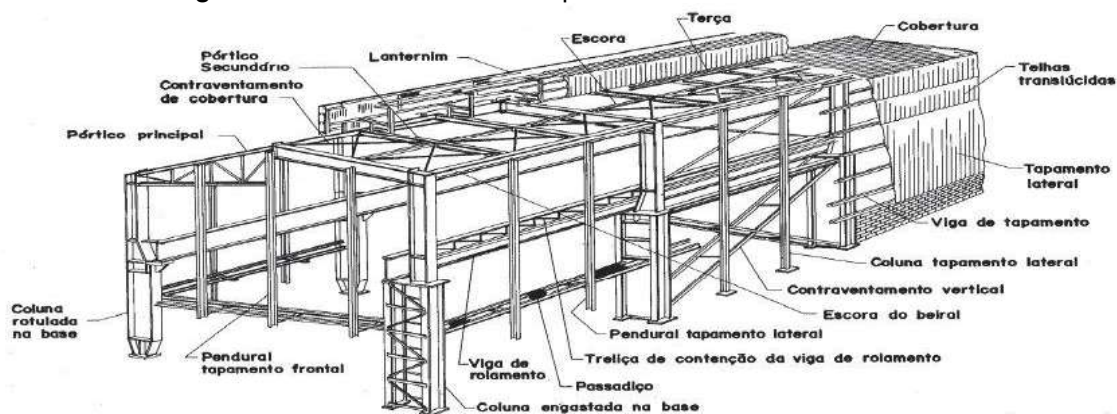
Fonte: Pfeil (2020).



2.3 Sistema estrutural

O sistema estrutural de um galpão metálico é formado principalmente por elementos verticais (colunas), elementos horizontais (vigas), treliças, terças e telhas (Pfeil, 2020).

Figura 2 Elementos estruturais típicos de uma estrutura metálica



Fonte: Bellei (2021)

2.4 Cargas para o cálculo de estruturas de edificações ABNT NBR 6120 (2019).

A norma tem como objetivo estabelecer as ações mínimas que devem ser consideradas no cálculo de estruturas. As causas que geram esforços solicitantes capazes de produzir deformações ou alterar o estado de tensão nos elementos estruturais são denominadas ações.

Essas ações são classificadas em três categorias: permanentes, variáveis e excepcionais. As ações permanentes englobam o peso próprio da estrutura, o peso dos materiais de construção, dos componentes construtivos, bem como empuxos e pressões hidrostáticas constantes ao longo da vida útil da (ABNT, 2019).

As ações variáveis incluem cargas que podem induzir efeitos dinâmicos na estrutura, como movimentos de máquinas, práticas de dança ou saltos, que podem gerar ressonância. Também fazem parte dessa categoria as forças horizontais, ações provenientes de veículos, atividades construtivas, e o peso específico de materiais armazenados, entre outros (ABNT, 2019).

Por fim, as ações excepcionais referem-se a eventos de baixa probabilidade de ocorrência e curta duração, como explosões, enchentes ou impactos provocados por veículos (ABNT, 2019).

2.5 Forças devidas ao vento em edificações ABNT NBR 6123 (2023)

A norma estabelece as condições a serem consideradas no cálculo estrutural de edificações em relação às forças resultantes da ação do vento, tanto dinâmicas quanto estáticas. As forças provocadas pelo vento devem ser analisadas separadamente para os diferentes componentes da edificação, como os elementos estruturais, os elementos de vedação e suas fixações, além da estrutura como um todo (ABNT, 2023).

A norma também classifica os tipos de ação do vento em: barlavento (pressão direta), sobre pressão, sucção, sota-vento (região oposta ao vento) e reticulado (áreas intermediárias com fluxos turbulentos (ABNT, 2023).

No dimensionamento, é necessário considerar os seguintes fatores:

Fator topográfico (S1): avalia o relevo do terreno, distinguindo entre áreas planas, morros, taludes ou regiões fracamente acidentadas (ABNT, 2023).



Fator de rugosidade e altura (S2): considera a rugosidade do terreno, a altura da edificação e suas dimensões, refletindo o efeito combinado da modificação da velocidade do vento conforme a altura e o tipo de terreno (ABNT, 2023).

Fator estático (S3): baseado em critérios estatísticos, leva em conta a vida útil da edificação e o nível de segurança necessário para sua função (ABNT, 2023).

2.6 Cargas e cuidados necessários para utilização de placas fotovoltaicas na cobertura metálica

A instalação de placas fotovoltaicas sobre estruturas metálicas requer atenção especial quanto à sobrecarga adicionada à cobertura. De acordo com a NBR 6120:2019, é necessário considerar uma carga adicional entre 18 kg/m² e 25 kg/m². Diante disso, a distribuição dos elementos que compõem os pórticos treliçados deve ser projetada com cautela, de modo a evitar possíveis rupturas durante a transferência de cargas oriundas das telhas e das placas fotovoltaicas, que são repassadas às terças (Jacob, 2025).

Um erro recorrente na execução de estruturas metálicas refere-se à montagem inadequada das terças, o que pode comprometer a trabalhabilidade da estrutura. Quando mal posicionadas ou com espaçamentos incorretos, as terças podem provocar uma distribuição ineficiente das cargas, prejudicando o desempenho global da edificação e não atingindo os resultados estruturais esperados (Jacob, 2025).

A correta disposição dos montantes e das diagonais nas treliças contribui significativamente para um melhor aproveitamento das ações estruturais, proporcionando maior rigidez e estabilidade ao conjunto (Jacob, 2025).

Figura 3: Terças apoiadas fora dos nós da treliça



Fonte: Jacob (2025)

Adicionalmente, o contraventamento em coberturas metálicas desempenha um papel fundamental na estabilidade e segurança da estrutura. Ele é responsável por garantir a resistência adequada da edificação frente a ações horizontais e outras instabilidades que podem ocorrer ao longo da vida útil da cobertura, como ventos, deslocamentos térmicos e esforços assimétricos (Jacob, 2025).

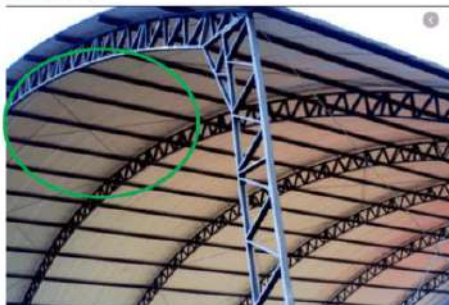


Figura 4: Ausência de contraventamento

ERRADO



CERTO



Fonte: Jacob (2025)

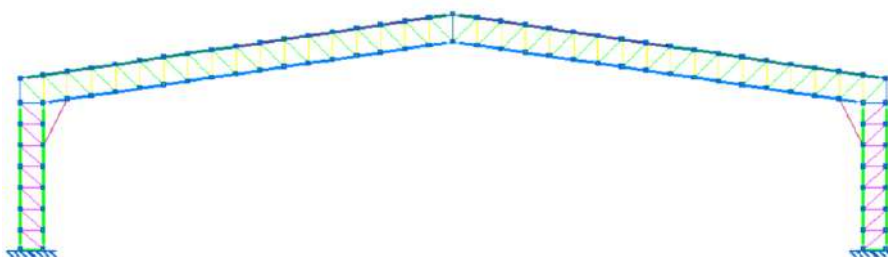
3 MATERIAL E MÉTODOS

O método adotado neste estudo consiste na realização do dimensionamento estrutural de um galpão industrial com área de 399,00 m², utilizando o software CYPE 3D como ferramenta de análise e modelagem. O galpão tem como finalidade abrigar uma oficina de máquinas e está localizado em terreno plano. Para a concepção do projeto, foi adotado um modelo estrutural convencional, amplamente aplicado em edificações metálicas de caráter industrial.

A estrutura projetada possui dimensões de 19,00 metros de largura por 21,00 metros de comprimento, sendo composta por pórticos espaçados a cada 7,00 metros.

Optou-se pela utilização de pilares treliçados nos pórticos, respeitando a dimensão máxima de 50 cm, conforme sugerido no projeto arquitetônico. Essa escolha buscou aliar estética arquitetônica à eficiência construtiva, garantindo bom desempenho técnico e econômico. A locação dos pilares seguiu estritamente a planta arquitetônica.

Figura 5: Vista frontal do galpão



Fonte: Acervo próprio (2025).

A estrutura metálica em questão tem como seus elementos estruturais: banzo superior, banzo inferior, diagonais, montantes, contraventamento, pilares, terças de cobertura que são apoiadas de forma transversal nos bantos com o objetivo reduzir o comprimento de flambagem dos mesmos, e com o papel de promover a fixação das telhas.

Para as terças, foi adotado o perfil "G" tipo cartola, devido à sua boa resistência mecânica agilidade na montagem, menor peso em comparação com outros perfis e sendo amplamente utilizado como apoio para telhas em estruturas treliçadas. "Já os tirantes e contraventamentos foram especificados como barras de aço com seção circular de 3/8"



polegadas, escolhidas de acordo com práticas usuais do mercado e perfis comerciais padronizados.

As treliças foram moduladas conforme as exigências da cobertura, sendo sua altura no eixo determinada a partir da inclinação da telha metálica, fixada em %.

O espaçamento entre os montantes internos dos pilares foi definido como 0,50 metros, o que resulta em um ângulo de 45° nos elementos de travamento.

Foram considerados três tipos principais de ações que afetam a estrutura, de acordo com os critérios dos estados limites últimos e de serviço, sendo: ações permanentes, variáveis e excepcionais.

Ações permanentes: são aquelas que atuam continuamente durante toda a vida útil da edificação. Incluem o peso próprio da estrutura e dos elementos construtivos fixos, como o telhado metálico.

No presente trabalho, o peso próprio foi considerado automaticamente pelo CYPE 3D no processo de dimensionamento.

Ações variáveis: referem-se às cargas que podem sofrer variações significativas ao longo do tempo, como sobrecargas de uso, cargas de equipamentos, divisórias, móveis, ação do vento e variações térmicas. De acordo com a NBR 8800:2008, a sobrecarga normativa mínima considerada para coberturas é de 0,25 kN/m² (equivalente a 25 kg/m²).

Ações excepcionais: caracterizam-se por sua curta duração e baixa probabilidade de ocorrência durante a vida útil da edificação. Exemplos incluem explosões, impactos de veículos, incêndios, enchentes e eventos sísmicos extremos, conforme definido pela NBR 8800:2008.

A pesquisa foi conduzida mediante a análise comparativa do consumo de aço, expresso em peso por metro quadrado, para um mesmo galpão metálico submetido a duas condições distintas de carregamento. Na primeira, considerou-se apenas o peso próprio da estrutura e das telhas termoacústicas; na segunda, foram incluídas as cargas adicionais provenientes das placas fotovoltaicas.

O procedimento envolveu o dimensionamento de ambos os cenários no software CYPE 3D, permitindo a avaliação das diferenças no consumo de material e no comportamento estrutural resultante. O dimensionamento e a otimização dos perfis metálicos foram realizados por meio do software Cype 3D, que permite a análise estrutural detalhada e a seleção dos perfis mais adequados de acordo com os esforços solicitantes e os critérios normativos.

O aço adotado para a execução do estudo foi o ASTM A-36, amplamente utilizado em Sinop no Estado de Mato Grosso, por ser o tipo de aço mais comum em empresas que atuam na fabricação e comercialização de estruturas metálicas, oferecendo boa relação entre resistência mecânica, ductilidade e viabilidade econômica.

O tipo de pesquisa em relação a abordagem será o método quantitativo, que de acordo com Richardson (1989), relação a sua natureza, a pesquisa é qualificada como pesquisa básica, definida por caracterizar o emprego da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações, quanto no tratamento dessas através de técnicas estatísticas, desde as mais simples até as mais complexas.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é classificada como descritiva (aqueles que procuram descobrir e classificar a relação entre variáveis em relação aos procedimentos técnicos, o trabalho apresentará um estudo de caso, definido por Richardson (1989).

Foram consideradas as seguintes cargas no dimensionamento: o peso próprio da estrutura metálica, o peso das telhas, especificadas como telhas termoacústicas com núcleo em EPS (isopor) e chapas com espessura de 50 mm, apresentando peso

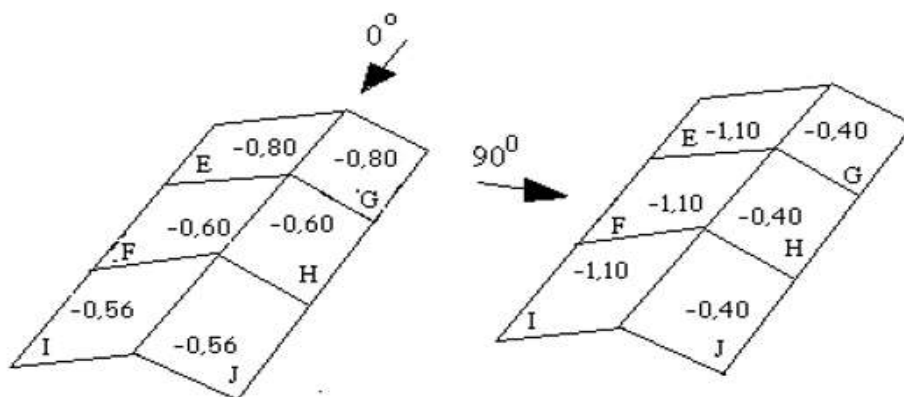


aproximado de $10,00 \text{ kg/m}^2$, 18 kg/m^2 para as placas fotovoltaicas e a sobrecarga de uso de $0,25 \text{ kN/m}^2$, conforme recomendado pela ABNT NBR 8800:2008, além das ações decorrentes do vento.

As cargas de vento foram determinadas conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6123:2023, com o suporte do software Visual Ventos, desenvolvido em 2002 pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS). Para o cálculo, foram adotados os seguintes parâmetros: $S1 = 1,0$ (relativo a terreno plano), $S2 = 0,87$ calculado com base nas dimensões do galpão, e $S3 = 1,0$ sendo uma edificação com alto fator de ocupação e considerando uma velocidade básica do vento de 30 m/s , correspondente à região de Sinop – MT.

Com o uso do software, obteve-se a Velocidade Característica do Vento (V_k) de $26,10 \text{ m/s}$ e a correspondente Pressão Dinâmica do Vento (q) igual a $0,41 \text{ kN/m}^2$. Além disso, foram determinados os valores do Coeficiente de Pressão Externa (CPE) nas direções de incidência do vento a 0° e 90° , conforme ilustrado na Figura abaixo.

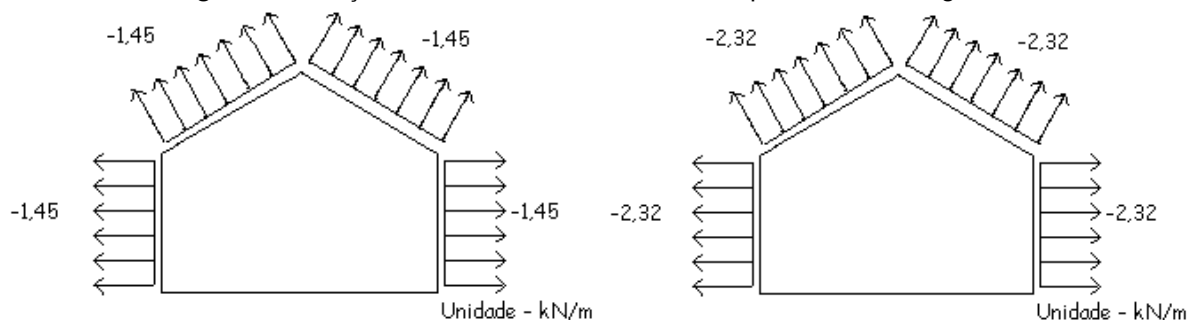
Figura 6: Valores de CPE com ventos de 0 e 90 graus



Fonte: Acervo próprio (2025)

Para a determinação do Coeficiente de Pressão Interna (CPI), foram considerados os esforços resultantes obtidos a partir das combinações de carregamento, assumindo-se um galpão com as quatro faces igualmente permeáveis. Nessa condição, adotaram-se os valores de CPI iguais a $-0,30$ e $0,00$.

Figura 7: Esforços resultantes CPI de $-0,30$ e $0,0$ para ventos a 0 graus.



Fonte: Acervo próprio (2025).

O dimensionamento do galpão comercial foi realizado por meio do software Cype 3D, em conformidade com as normas ABNT NBR 14762:2010, para perfis de aço formados



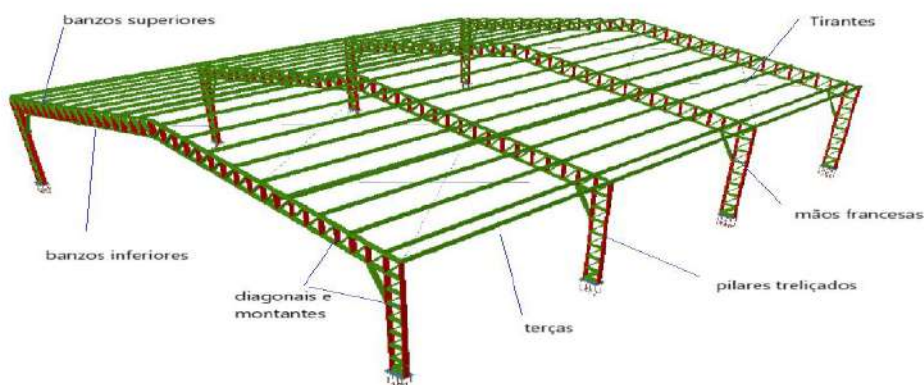
a frio, e ABNT NBR 8800:2008, para perfis laminados.

O processo de modelagem iniciou-se com o lançamento do pórtico frontal, com 19 metros de largura, composto por pilares metálicos tipo treliça, com 3,50 m de altura de 0,50 m de largura. A treliça foi configurada com banzo inferior e superior espaçados em 0,65 metro, montantes verticais com espaçamento de 0,536 metros, e diagonais dispostas transversalmente, interligando os montantes para garantir estabilidade estrutural e eficiência na distribuição dos esforços.

O pórtico inicial foi copiado com espaçamento de 7 metros, possibilitando o lançamento dos demais elementos estruturais do galpão. Com dois pórticos modelados, foram inseridas as terças. Em seguida, o pórtico foi replicado com intervalos de 7 metros até atingir o comprimento total do galpão de 21 metros, resultando em 4 pórticos.

Com a geometria finalizada, foram inseridos os tirantes para contraventamentos e mãos francesas, a fim de garantir a estabilidade global da estrutura. Também foram definidos os comprimentos de flambagem e os limites de flecha admissível para todas as barras. Em ambos os dois modelos de galpão, foi adotado o aço ASTM A-36.

Figura 8: Modelo 3D do galpão comercial



Fonte: Acervo próprio (2025).

O dimensionamento do galpão foi prosseguido no software Cype 3D, com a inserção de dois panos de carga distribuída sobre a estrutura. Foram consideradas as seguintes ações: o peso das telhas termoacústicas com núcleo em EPS (isopor), com peso de 10,00 kg/m², 18kg/m² das placas fotovoltaicas e a sobrecarga de uso de 0,25 kN/m², conforme recomenda a ABNT NBR 8800:2008, e as cargas de vento. O peso próprio da estrutura metálica foi automaticamente calculado pelo software.

Durante a verificação do Estado Limite Último (ELU), foram avaliados os seguintes critérios de resistência: limite de esbeltez, resistência à tração e compressão, resistência à flexão nos eixos X e Y, resistência ao esforço cortante nos eixos X e Y, resistência à combinação de momento fletor no eixo Y com esforço cortante no eixo X, além da resistência à flexo-compressão, flexo-tração e torção. Quando algum dos critérios não foi atendido, foi necessário ajustar os perfis adotados, de modo a garantir a segurança estrutural e, ao mesmo tempo, otimizar o peso total da estrutura.

O primeiro modelo de galpão foi dimensionado com sobrecarga dos panos de 10,00 kg/m² para as telhas termoacústicas, a sobrecarga de uso de 0,25 kN/m².

Já o segundo modelo, além das cargas dispostas no primeiro modelo, foi considerado mais 18,00 kg/m² referente as placas fotovoltaicas em todo o telhado desta cobertura. Após o dimensionamento da estrutura metálica dos dois galpões, foram



gerados os relatórios contendo as tabelas de resumo de materiais, com os respectivos pesos totais da cobertura em cada situação analisada. A partir desses dados, foi realizada uma comparação da variação no consumo de aço, considerando todos os tipos de perfis utilizados, com base no peso de aço por metro quadrado (kg/m^2) da área total do galpão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambos os casos foram analisados com base nos critérios normativos estabelecidos, possibilitando a determinação do consumo de aço em quilogramas por metro quadrado (kg/m^2), bem como a identificação dos tipos de perfis estruturais adotados em cada alternativa.

As opções consideradas foram validadas por meio do processo de dimensionamento realizado no software Cype 3D, o qual leva em consideração os esforços solicitantes e os parâmetros técnicos definidos pelas normas vigentes, assegurando a conformidade estrutural e a eficiência do sistema proposto.

Na tabela 1, foi disposto o resumo obtido dos perfis e peso de toda a estrutura, para a primeira opção sendo, estrutura metálica com telhas termoacústica de 50mm

Tabela1: Resumo de aço opção 1 – peso próprio e telha termoacústica

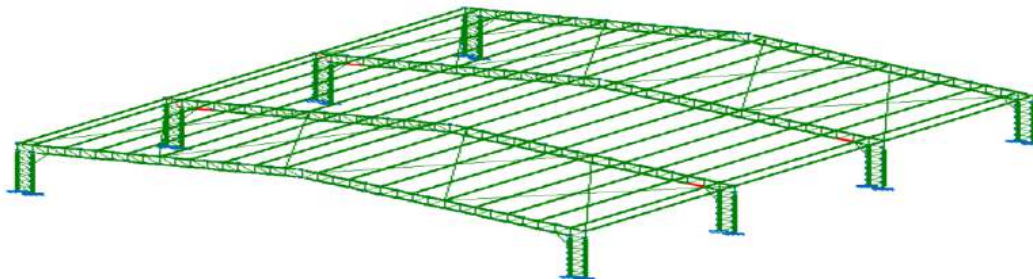
Tabela resumo – 01			
Material		Perfil	Peso
Tipo	Designação		Perfil
			(kg)
Aço laminado	A-36 250 Mpa	3/8"	74,78
Aço dobrado	A-36	U127X50X3,8	1029,92
		U139X40X3,00	311,74
		U150X50X4,76	609,57
		U118X40X2,65	794,83
		G 102x50x25x134x3,2	3063,53
Total (kg)			5884,37

Fonte: Acervo próprio (2025).

O galpão em estudo tem o total de $399,00 \text{ m}^2$, o resultado obtido para a opção 1 sendo de $5.884,37 \text{ kg}$ totais de aços, dividido pela área do galpão, temos o valor de $14,75 \text{ kg/m}^2$ de aço necessário. Na Figura 25 é possível ver o resultado positivo (estrutura em verde), do dimensionamento da estrutura com os perfis descritos na tabela 1.



Figura 9: Resultado do dimensionamento 1



Fonte: Acervo próprio (2025).

Na tabela 2, foi disposto o resumo obtido dos perfis e peso de toda a estrutura, para a segunda opção sendo, estrutura metálica com telhas termoacústica de 50mm e placas fotovoltaicas.

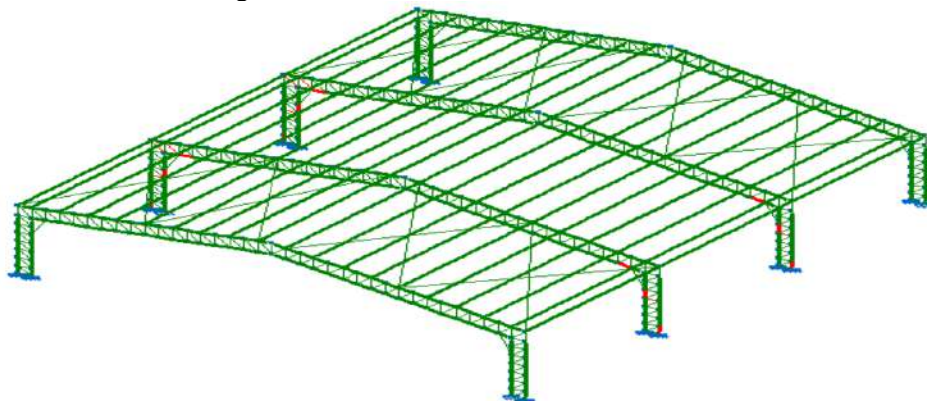
Tabela2: Resumo de aço opção 2 – peso próprio, telha termoacústica e placas fotovoltaicas

Tabela resumo – 2			
Material		Perfil	Peso
Tipo	Designação		Perfil
			(kg)
Aço laminado	A-36 250Mpa	3/8"	74,78
Aço dobrado	A-36	U150X50X4,76	1409,34
		U85X40X4,25	318,7
		U100X80X6,30	823,63
		U139X40X3,00	983,75
		G 103x60x30x157x4,75	4807,86
Total (kg)			8418,06

Fonte: Acervo próprio (2025).

O galpão em estudo tem o total de 399,00 m², o resultado obtido para a opção 2 sendo de 8.418,06 kg totais de aços, dividido pela área do galpão, temos o valor de 21,10 kg/m² de aço necessário. Na Figura 26 é possível ver o resultado positivo (estrutura em verde), do dimensionamento da estrutura com os perfis descritos na tabela 2.

Figura 10: resultado do dimensionamento 2



Fonte: Acervo próprio (2025)



Com os resultados obtidos na tabela 01 e 02, sendo apresentado perfis e pesos do conjunto do dimensionamento com e sem as placas fotovoltaicas, na tabela 03, é possível analisar, o resultado obtido em peso de aço com as duas opções apresentadas neste trabalho.

Tabela 3: Resultado em comparativo de aço entre as duas opções

Comparativo entre opção 1 e 2			
Elemento	Peso Perfil (kg) - 01	Peso Perfil (kg) - 02	Diferença em %
Contraventamento	74,78	74,78	0,0%
Banzos - tesouras	1029,92	1409,34	36,8%
Diagonais e montantes dos pilares	311,74	318,70	2,23%
Pilares	609,57	823,63	35,12%
Diagonais e montantes das tesouras	794,83	983,75	23,77%
Terças	3063,53	4807,86	56,94%
Total (kg)	5884,37	8418,06	43,05%

Fonte: Acervo próprio (2025).

A Tabela 3 apresenta o comparativo entre os pesos dos perfis metálicos utilizados no dimensionamento estrutural de um galpão comercial, considerando dois cenários distintos: Opção 1, que contempla apenas o peso próprio da estrutura com telhas termoacústicas, e Opção 2, que inclui adicionalmente o peso das placas fotovoltaicas instaladas sobre a cobertura.

Observa-se que os banzos das tesouras apresentaram um acréscimo significativo de 36,8%, passando de 1029,92 kg na Opção 1 para 1409,34 kg na Opção 2. Esse aumento é justificado pela necessidade de reforço estrutural para suportar os esforços adicionais provocados pela nova carga distribuída na cobertura.

Da mesma forma, os pilares apresentaram um aumento de 35,12% no peso dos perfis, refletindo a demanda por maior resistência vertical, considerando os acréscimos nas cargas permanentes. As diagonais e montantes das tesouras também apresentaram crescimento expressivo, com aumento de 23,77%, demonstrando a redistribuição dos esforços internos das treliças devido ao aumento da carga na cobertura.

O elemento estrutural com maior variação percentual foi o das terças, com aumento de 56,94% no peso total dos perfis, indicando sensível impacto da sobrecarga das placas fotovoltaicas neste componente, responsável pela distribuição direta das cargas às treliças.

Por outro lado, o contraventamento manteve-se com o mesmo peso em ambas as opções (74,78 kg), e as diagonais e montantes dos pilares sofreram variação discreta de 2,23%, indicando que esses elementos foram pouco influenciados pelo acréscimo de carga na cobertura.

No total, a estrutura metálica passou de 5884,37 kg na Opção 1 para 8418,06 kg na Opção 2, resultando em um aumento geral de aproximadamente 43,05% na quantidade total de aço utilizado, evidenciando o impacto direto da instalação de placas fotovoltaicas no dimensionamento e no consumo de material da estrutura.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou o comportamento estrutural de um galpão comercial metálico com área de cobertura de 399,00 m², utilizando o aço ASTM A-36, por meio de duas simulações distintas no software Cype 3D. A primeira análise (Opção 1) considerou apenas o peso próprio da estrutura e das telhas termoacústicas de 50 mm. A segunda análise (Opção 2) incluiu, adicionalmente, a carga de 20 kg/m² correspondente à instalação de placas fotovoltaicas em toda a cobertura.

A Tabela 3 apresentou os resultados comparativos dos pesos dos perfis metálicos utilizados em cada cenário. Observou-se que os banzos das tesouras apresentaram um aumento de 36,8%, e os pilares, um acréscimo de 35,12%, reflexo da necessidade de maior resistência para suportar as cargas verticais adicionais. As diagonais e montantes das tesouras também apresentaram crescimento significativo, com variação de 23,77%, evidenciando a redistribuição dos esforços internos nas treliças.

O maior impacto foi verificado nas terças, com um aumento de 56,94%, já que esses elementos são responsáveis por transmitir diretamente a carga da cobertura às treliças. Por outro lado, os contraventamentos permaneceram inalterados, com peso constante de 74,78 kg, e os montantes e diagonais dos pilares registraram variação discreta de 2,23%, indicando menor sensibilidade à nova carga.

No total, o peso da estrutura metálica aumentou de 5884,37 kg (Opção 1) para 8418,06 kg (Opção 2), representando um acréscimo de 43,05% no consumo de aço. Esse resultado demonstra de forma objetiva o impacto da instalação de sistemas fotovoltaicos sobre o dimensionamento estrutural da cobertura.

Conclui-se, portanto, que a inclusão de cargas adicionais, como as provenientes de placas solares, deve ser prevista ainda na fase de projeto. A ausência dessa previsão pode resultar em subdimensionamentos da estrutura, gerando riscos significativos à segurança da edificação e potenciais prejuízos econômicos caso seja necessário reforço posterior. Assim, a compatibilização antecipada entre o projeto estrutural e futuras demandas funcionais é fundamental para garantir a eficiência técnica, a segurança e a sustentabilidade das estruturas metálicas comerciais.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015*. Altera a Resolução Normativa nº 482/2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 nov. 2015

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifício - Procedimento: NBR 8800/2008.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Forças aos ventos em edificações. – Procedimento: NBR 6123/ 2023

AMORIM, R. L. X. Estudo de caso comparativo entre vigas mistas compostas por perfis laminados e formados a frio. 2019.



ARAÚJO, L.H.S. estudo de caso: concepção e dimensionamento de estruturas metálicas para um galpão na cidade de Rio Verde. Lucas Rio Verde, 2022.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6355: Perfis estruturais de aços formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro, 2012.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

BELLEI, I. H. Edifícios de múltiplos andares em aço. In: BELLEI, I. H. Edifícios de múltiplos andares em aço. São Paulo: Pini, 2021.

CASTRO, Adriana Almeida. Análise do uso das estruturas de aço em edificações de habitacionais de interesse social. Minas Gerais: universidade federal de Minas gerais, 2021.

CHIAVERINI, VICENTE. Aços e ferros fundidos. Abm Editora, Rio de Janeiro, 2008.

CORTEZ, L.A. da R; MACIEL, C.A. dos S; SANTOS, P.B; LIMA, R.T, SANTOS, T.M. F dos S.N. Uso das estruturas de aço no Brasil. Alagoas, 2021.

CSN (Companhia Siderúrgica Nacional), São Paulo, 2022.

MATOS, F. REVISTA: CONSTRUIR, Construção do começo ao fim, casa dois editora, 2023, página 90, entrevista com gerente executivo do Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA).

NOGUEIRA, G.; GRUPO HARD. Conheça 9 benefícios das estruturas metálicas na construção civil, 2019.

PFEIL, W. Estrutura de aço, 8ª edição, Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., Rio, 2020.

PINHEIRO BRAGENÇA. Estruturas metálicas. 2ª edição, Blucher Editora, São Paulo, 2020.