

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Engenharia**  
**Curso de Especialização em Análise e Dimensionamento de**  
**Estruturas de Concreto Armado e Aço**

Jirleia Prates Santana

**PROJETO ESTRUTURAL DE UMA COBERTURA METÁLICA SIMPLES**

Belo Horizonte

2025

Jirleia Prates Santana

**PROJETO ESTRUTURAL DE UMA COBERTURA METÁLICA SIMPLES.**

Monografia de especialização apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço.

Orientador: Rodrigo Barreto Caldas

Belo Horizonte

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE  
CONCRETO ARMADO E AÇO

## ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA / TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Aos **vinte e sete dias** do mês de **novembro de 2025**, às 17h, em ambiente virtual, a estudante **Jirleia Prates Santana**, matrícula 2023669329, defendeu o Trabalho intitulado "**Projeto Estrutural de uma Cobertura Simples**".

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, após finalizada a apresentação do aluno passaram para a fase de arguição. Os membros da banca consideraram o aluno aprovado e assinam eletronicamente a presente ata.

**Nota:** 80 (oitenta pontos)

**Orientador(a):** Prof. Rodrigo Barreto Caldas

**Nota:** 85(oitenta e cinco pontos)

**Examinador(a):** Prof. Juliano dos Santos Becho



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Barreto Caldas, Professor do Magistério Superior**, em 01/12/2025, às 08:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Juliano dos Santos Becho, Professor do Magistério Superior**, em 01/12/2025, às 11:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4776274** e o código CRC **1153DA1E**.

### INSTRUÇÕES

Este documento deve ser editado apenas pelo Orientador e deve ser assinado eletronicamente por todos os membros da banca.

## **Agradecimento**

Este trabalho não seria possível sem o apoio e a dedicação de algumas pessoas que, ao longo dessa jornada, foram essenciais para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

Primeiramente, agradeço a mim mesmo pela perseverança, força e resiliência durante os momentos de dificuldade. Este TCC é o reflexo de um processo de autodescoberta e superação, em que aprendi muito sobre minhas limitações, mas, principalmente, sobre minha capacidade de seguir em frente.

Agradeço também a todas as conquistas e desafios que enfrentei ao longo do caminho. Cada obstáculo me trouxe importantes lições, e cada pequena vitória reafirmou minha capacidade de evoluir e me transformar. Esse trabalho carrega, em cada página, um pouco de cada uma dessas experiências.

Sou profundamente grato ao meu orientador, Rodrigo Caldas, por ser uma referência de paciência, comprometimento e conhecimento. Sua orientação foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho, e cada sugestão contribuiu de forma valiosa para que ele alcançasse sua melhor versão.

Agradeço ao Grupo Projeta, empresa onde trabalho, por oferecer um ambiente de aprendizado constante e por confiar no meu desenvolvimento profissional. As experiências vividas, os recursos como programas computacionais e desafios enfrentados no dia a dia contribuíram de forma significativa para a construção deste trabalho.

Agradeço, com muito carinho, à minha família e amigos, que foram meu alicerce em todos os momentos. A confiança que me deram, os conselhos valiosos e o apoio incondicional foram fundamentais para que eu pudesse concluir esse desafio com coragem e serenidade.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para o meu crescimento ao longo dessa trajetória. Este trabalho é mais do que uma simples pesquisa; é a materialização de um percurso de aprendizado, esforço e dedicação — e sou grato a cada pessoa que fez parte dele.

“Por pior que a vida pareça, sempre existe algo que você possa fazer e ser bem-sucedido” (Stephen Hawking).

## **Resumo**

O documento apresenta um estudo detalhado sobre o dimensionamento de coberturas com estruturas metálicas, destacando as vantagens e desvantagens do uso do aço na construção civil. O trabalho tem como objetivo principal apresentar os critérios para o desenvolvimento de projetos de coberturas metálicas, revisando normas técnicas, desenvolvendo concepções de projeto, e dimensionando elementos críticos. O estudo de caso investiga a análise estrutural e a modelagem digital de uma cobertura de rampa e escada, projetada para garantir o acesso seguro de público em diferentes tipos de edificações. Com o apoio de software especializado, foram realizadas simulações e análises das condições estruturais, permitindo avaliar o comportamento da estrutura com maior precisão. O documento conclui que o uso de estruturas metálicas oferece vantagens significativas em termos de resistência, leveza, sustentabilidade e rapidez na construção, apesar de alguns desafios como custo inicial elevado e necessidade de mão de obra especializada.

Palavra-chave: Estruturas metálicas; cobertura; dimensionamento; modelo computacional.

## **Abstract**

The document presents a detailed study on the design of roofs with metal structures, highlighting the advantages and disadvantages of using steel in construction. The main objective of the work is to present the criteria for developing metal roof projects, reviewing technical standards, developing design concepts, and sizing critical elements. The case study investigates the structural analysis and digital modeling of a ramp and staircase roof, designed to ensure safe public access in different types of buildings. With the support of specialized software, simulations and analyses of the structural conditions were carried out, allowing for a more accurate evaluation of the structure's behavior.. The document concludes that the use of metal structures offers significant advantages in terms of strength, lightness, sustainability, and construction speed, despite some challenges such as high initial cost and the need for specialize labor.

Keywords: Metal structures; roof; design; computational model.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO DO TRABALHO.....</b>	<b>11</b>
2.1	OBJETIVO ESPECÍFICO .....	11
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL .....</b>	<b>12</b>
3.1	ESTRUTURAS METÁLICAS NO BRASIL .....	12
3.2	VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE ESTRUTURA METÁLICA .....	13
3.2.1	<i>Vantagens da utilização do aço estrutural .....</i>	<i>13</i>
3.2.2	<i>Desvantagens da utilização do aço estrutural .....</i>	<i>14</i>
3.3	PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DO AÇO .....	15
3.4	AÇO ESTRUTURAL MAIS EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	16
3.5	ANÁLISE DAS ESTRUTURAS DE COBERTURA EM TELHADOS: TIPOS, DESAFIOS E SOLUÇÕES DE DRENAGEM .....	17
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>20</b>
5.1	DESCRIÇÃO E CONSIDERAÇÕES DO PROJETO DA COBERTURA .....	20
5.2	CARGAS UTILIZADAS NO DIMENSIONAMENTO.....	21
5.3	FORÇAS DEVIDAS AO VENTO .....	22
5.3.1	<i>Velocidade básica do vento, <math>v_0</math>.....</i>	<i>22</i>
5.3.2	<i>Fator topográfico, <math>S_1</math>.....</i>	<i>23</i>
5.3.3	<i>Fator <math>S_2</math>, rugosidade do terreno, dimensões da edificação.....</i>	<i>24</i>
5.3.4	<i>Fator estatístico, <math>S_3</math>.....</i>	<i>25</i>
5.3.5	<i>Resultados obtidos do vento .....</i>	<i>26</i>

5.4	MODELO COMPUTACIONAL E PERFIS UTILIZADOS. ....	27
5.5	DEFINIÇÃO DO CARREGAMENTO FINAL PARA PROJETO ESTRUTURAL .....	30
5.6	FLAMBAGEM	31
5.7	FLEXÃO	34
5.8	RESULTADOS DOS CÁLCULOS DA ESTRUTURA.....	36
5.9	MODELAGEM DIGITAL DA ESTRUTURA .....	38
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Portal Siderurgia Brasil (2024), as projeções atualizadas para a indústria siderúrgica brasileira em 2024 mostram uma revisão significativa, indicando maior otimismo em relação ao desempenho do setor. Os principais números são:

- Produção de aço bruto: A previsão foi ajustada para um crescimento de +0,7%, totalizando 32,2 milhões de toneladas. Isso representa uma revisão positiva em relação à previsão anterior de retração de -3,0%.
- Vendas internas: Espera-se um aumento de +2,5%, atingindo 20,0 milhões de toneladas, contrastando com a previsão inicial de queda de -6,0%. Este dado reflete maior confiança no mercado doméstico.
- Exportações: Projeta-se uma queda de -4,2%, alcançando 11,2 milhões de toneladas, revisada de uma previsão inicial de alta de +1,3%. Essa revisão pode estar relacionada a desafios no mercado internacional.
- Importações: A previsão indica uma redução de -7,0%, totalizando 4,7 milhões de toneladas, revertendo a expectativa inicial de um crescimento expressivo de +20%. Isso pode refletir ajustes na competitividade do mercado interno ou mudanças na demanda.
- Consumo aparente: Mantida a previsão de crescimento de +1,0%, atingindo 24,2 milhões de toneladas. Esse indicador reflete estabilidade na perspectiva de crescimento moderado do mercado brasileiro.

Essas mudanças nas previsões sugerem um cenário mais favorável do que o inicialmente projetado, com um ajuste significativo no equilíbrio entre produção, vendas internas e comércio exterior, sinalizando maior estabilidade e dinamismo no setor.

As indústrias da construção civil têm se direcionado progressivamente para métodos mais vantajosos e eficientes, com destaque para a utilização de estruturas metálicas. Esse sistema construtivo oferece diversas vantagens que diminuem os processos de produção. No ambiente do canteiro de obras, as estruturas metálicas geram benefícios adicionais, como a redução de resíduos, maior organização, e execução simplificada, rápida e limpa. Essas características têm impulsionado o crescimento das estruturas metálicas no mercado nacional, consolidando sua posição como uma das principais alternativas para obras modernas, eficientes e de alto desempenho (JUNIOR, 2015).

Segundo Nascimento (2019), a engenharia civil está em sua busca contínua pela excelência, tem se dedicado à padronização, racionalização e modernização dos processos construtivos. Essa evolução tecnológica engloba desde métodos construtivos e equipamentos até materiais inovadores. Nesse cenário, destaca-se o investimento da indústria em sistemas pré-fabricados, que incorporam novas tecnologias e formas alternativas de construção, promovendo maior eficiência. A utilização desses sistemas e materiais inovadores permite atender tanto às exigências estruturais quanto às arquitetônicas, resultando em estruturas mais leves, flexíveis e eficientes. Tais características refletem-se nas estruturas metálicas, que vêm ganhando espaço em projetos modernos, especialmente em coberturas.

A modernização das estruturas de cobertura é um reflexo direto dessa evolução, apresentando designs sofisticados e complexos. Entre essas, as estruturas de aço merecem destaque no Brasil, pois são amplamente utilizadas devido a versatilidade arquitetônica, alta resistência mecânica e a Redução do tempo de obra. O estudo visa consolidar o conhecimento técnico e normativo relacionado ao uso de estruturas metálicas em coberturas, demonstrando seu impacto na modernização e eficiência da construção civil brasileira.

## **2 OBJETIVO DO TRABALHO**

O objetivo deste trabalho é apresentar os principais critérios relacionados ao desenvolvimento de um dimensionamento de cobertura com estrutura metálica. A pesquisa visa proporcionar uma compreensão detalhada dos processos de planejamento e dimensionamento de coberturas metálicas, destacando suas vantagens e alinhamento às exigências normativas e técnicas atuais.

### **2.1 Objetivo específico**

Para alcançar o objetivo geral de apresentar os critérios principais para um projeto de cobertura com estrutura metálica, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

1. Compreender conceitos fundamentais relacionados às estruturas em aço, incluindo suas propriedades, aplicações e vantagens, para a elaboração do projeto.
2. Revisar as normas técnicas aplicáveis, com foco na:
  - NBR 8800:2024: Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto em edifícios.
  - NBR 6123:2023: Forças devidas ao vento em edificações.

3. Desenvolver uma concepção de projeto, identificando soluções construtivas adequadas e alinhadas às boas práticas.

4. Elencar e avaliar critérios de dimensionamento, assegurando a conformidade do projeto com as normas técnicas e os requisitos de segurança.

5. Dimensionar elementos críticos da cobertura, incluindo peças e componentes essenciais, considerando esforços e condições de uso.

6. Realizar modelagem digital da estrutura, organizando os componentes em conjuntos e detalhando-os em desenhos técnicos claros e precisos.

Esses objetivos específicos estruturam o trabalho, garantindo que o desenvolvimento seja conduzido de forma assertiva e completa, desde o planejamento inicial até o detalhamento técnico final.

### 3 REFERENCIAL

#### 3.1 Estruturas metálicas no brasil

A utilização de estruturas metálicas no Brasil tem uma história rica e crescente, tendo suas origens no final do século XIX com a introdução de peças metálicas provenientes da Europa. A instalação da primeira siderúrgica do país em 1946, a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), foi um marco importante, uma vez que permitiu a produção local de aço e reduziu a dependência de importações (MACEDO, 2019).

A primeira estrutura metálica registrada no país, o Palácio de Cristal em Petrópolis – Rio de Janeiro em 1875, conforme a FIGURA 1, exemplarmente demonstrou a viabilidade e a estética que as estruturas de aço poderiam proporcionar (PORTAL METÁLICA, 2024).

Figura 1: Palácio de Cristal



FONTE: Pinterest, 2024

Desde então, sua aplicação se expandiu para diversos tipos de edificações, como estádios, aeroportos, hotéis e residências, evidenciando as vantagens em termos de agilidade, beleza, eficácia e minimização de desperdícios.

A construção civil, sendo a maior consumidora do aço no Brasil, se beneficiou significativamente da utilização de estruturas metálicas. O Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) desempenha um papel crucial nesse desenvolvimento ao atuar em parceria com engenheiros, arquitetos e empreendedores, promovendo a adoção de práticas e conhecimentos que favoreçam a utilização de aço nas construções. Além disso, com o avanço tecnológico e o desenvolvimento de normativas e regulamentações específicas, o uso de estruturas metálicas se consolidou como uma opção confiável e segura na construção civil brasileira, refletindo em obras que almejam qualidade, durabilidade e estética. (MACEDO, 2019).

O foco atual em reduzir os desperdícios na construção civil está alinhado com as necessidades econômicas do país, onde cada centavo conta. As construções em aço oferecem um grande diferencial, uma vez que a fabricação das peças é feita com precisão, resultando em pouco ou nenhum desperdício durante a obra. Mais ainda, a possibilidade de reciclagem do aço reforça sua sustentabilidade e atratividade (MACEDO, 2019).

Assim, as estruturas metálicas não só atendem às exigências de desempenho e segurança, como também se posicionam como uma solução inovadora e econômica para os desafios contemporâneos da construção civil no Brasil.

### 3.2 Vantagens e desvantagens do uso de estrutura metálica

Segue abaixo os pontos que destacam os principais fatores a serem considerados ao optar por estruturas metálicas, ajudando no planejamento e execução de projetos mais eficientes.

#### 3.2.1 Vantagens da utilização do aço estrutural

1. Alta resistência do material
  - O aço estrutural suporta grandes esforços, permitindo valores maiores de solicitação ou dimensões reduzidas dos elementos estruturais, em comparação a outros materiais (Junior, 2015).
2. Desempenho mecânico e segurança

- O aço apresenta propriedades mecânicas bem definidas, como resistência ao escoamento, tensão de ruptura e módulo de elasticidade. Isso proporciona maior segurança em estados de tração, compressão e flexão (Mallmann, 2021).

3. Sustentabilidade e reaproveitamento

- O aço pode ser reciclado ou reaproveitado em futuras construções, reduzindo o impacto ambiental e gerando economia em longo prazo (Mallmann, 2021).

4. Pré-fabricação e montagem rápida

- A possibilidade de pré-montagem em ambiente industrial, com processos mecanizados e planejados, minimiza erros e reduz o tempo e o custo total da obra (Junior, 2015).

### 3.2.2 Desvantagens da utilização do aço estrutural

1. Custo inicial elevado

- O aço estrutural geralmente apresenta um custo mais alto em comparação com materiais como o concreto (Junior, 2015).

2. Necessidade de mão de obra especializada

- A fabricação e montagem requerem profissionais capacitados e equipamentos específicos, o que pode ser uma limitação em algumas regiões.

3. Disponibilidade limitada de perfis

- Nem todos os perfis estruturais estão prontamente disponíveis no mercado, sendo necessário verificar com os fornecedores para evitar atrasos no cronograma (Junior, 2015).

4. Tratamento contra oxidação

- O aço exige tratamento superficial, como galvanização ou pintura, para prevenir corrosão causada pelo contato com água e ar (Junior, 2015).

5. Transporte e limitações logísticas

- As peças pré-fabricadas precisam ser transportadas ao local de montagem, o que pode ser um desafio logístico, tanto pelo tamanho das peças quanto pela quantidade de viagens necessárias. Isso aumenta os custos (Junior, 2015).

### 3.3 Princípios fundamentais do aço

O aço é amplamente reconhecido como a mais versátil das ligas metálicas devido à sua combinação única de resistência, ductilidade e capacidade de ser adaptado para diferentes aplicações. Sua composição típica inclui cerca de 98% de ferro e uma pequena porcentagem de carbono (entre 0,002% e 2%), que influencia diretamente suas propriedades mecânicas. Além disso, pequenas quantidades de outros elementos podem ser adicionadas para conferir características específicas, como resistência à corrosão, dureza ou maleabilidade (Junior, 2015).

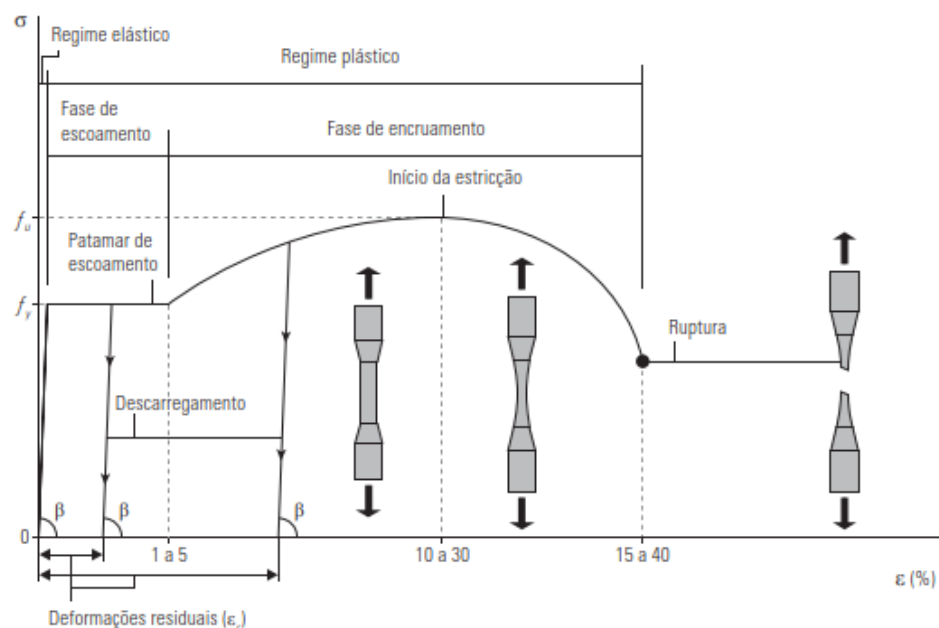
A fabricação do aço inicia-se com a obtenção e o preparo das matérias-primas principais: minério de ferro e carvão mineral, como essas substâncias não são encontradas puras na natureza, passam por processos para remoção de impurezas que poderiam reduzir a eficiência da produção e aumentar o consumo energético. O ferro purificado é então liquefeito em altos-fornos, onde recebe adições químicas para formar o aço com propriedades desejadas (Junior, 2015).

Os aços estruturais possuem propriedades específicas que os tornam ideais para aplicações em construções e estruturas sujeitas a esforços mecânicos. Essas propriedades incluem alta resistência, boa soldabilidade e comportamento previsível sob diferentes condições de carga.

Segundo Junior (2015) Para projetar com eficácia e segurança, é fundamental que os profissionais entendam o comportamento mecânico do aço. Isso é feito por meio de análises como a curva tensão-deformação como mostrado na FIGURA 2, que é uma representação gráfica essencial. Essa curva relaciona:

- Tensão ( $\sigma$ ): Força aplicada por unidade de área.
- Deformação ( $\epsilon$ ): Alteração relativa no comprimento do material devido à aplicação da força.

Figura 2: Curva tensão e deformação do aço.



Fonte: FAKURY, SILVA, CALDAS (2016, p. 14).

Essa curva fornece informações cruciais sobre o limite elástico, a resistência máxima e o ponto de ruptura do material, permitindo prever como o aço se comportará em diferentes situações.

### 3.4 Aço estrutural mais empregados na construção civil

Os principais critérios para os aços destinados a aplicações estruturais incluem: alta resistência ao escoamento, grande tenacidade, boa capacidade de soldagem, uniformidade, facilidade de corte a quente sem endurecimento e boa maleabilidade em outras operações, como perfuração e dobramento, evitando a formação de fissuras ou imperfeições (JUNIOR, 2015).

Entre os principais tipos de normas, destacam-se a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e a EN (Normas Europeias), cujos exemplos incluem as seguintes normas:

1. ASTM A572
  - Norma que especifica requisitos para aços estruturais de alta resistência e baixa liga. Ela define cinco graus de aço (A572-42, A572-50, A572-60, A572-65 e A572-70), sendo o A572-50 o mais utilizado, com uma resistência ao escoamento mínima de 345 MPa, oferecendo boa resistência à tração e soldabilidade.
2. ASTM-A7

- Muito utilizado nos Estados Unidos até 1960, quando foi substituído pelo ASTM-A36.
- 3. ASTM-A36
  - O aço estrutural mais comum e amplamente utilizado em projetos de engenharia.
- 4. MR250 (ABNT)
  - Equivalente ao ASTM-A36 no Brasil, é amplamente utilizado em construções metálicas.
- 5. ASTM-A307
  - Aplicado na fabricação de parafusos comuns, usados em conexões de estruturas menos exigentes.
- 6. ASTM-A325
  - Especificado para parafusos de alta resistência, amplamente utilizados em parafusos nas ligações metálicas.
- 7. S235 (EN)
  - Especificado pelas normas europeias, possui propriedades similares ao ASTM-A36.

Esses padrões de aço garantem o desempenho necessário em diversas condições estruturais e são escolhidos conforme as especificidades de cada projeto.

### 3.5 Análise das estruturas de cobertura em telhados: tipos, desafios e soluções de drenagem

A cobertura é o conjunto de elementos de uma construção destinado a proteger contra condições climáticas adversas, assegurando proteção e conforto aos espaços internos. Esse sistema pode ser subdividido em: telhas; estrutura auxiliar de suporte às telhas, denominada trama ou terças; estrutura principal de sustentação, formada por tesouras ou vigas; e elementos complementares, como correntes e contraventamentos, que têm a função de garantir a estabilidade do conjunto. As coberturas podem ser projetadas em diversos formatos, recebendo denominações específicas conforme o número de superfícies voltadas para o escoamento da água, conhecidas como "águas do telhado" (MALLMANN, 2021).

A FIGURA 3 ilustra alguns tipos usuais de coberturas, evidenciando a variedade de formas e aplicações.

Figura 3: Variedades de telhados



Fonte: Dryko (2024)

As coberturas do tipo "várias águas" podem ser implementadas em dois arranjos principais: tesoura ou treliça. A configuração em tesoura resulta em menor desperdício de área coberta, pois a estrutura permite um aproveitamento mais eficiente da área disponível sob a cobertura. No entanto, essa configuração exige uma viga de apoio mais alta em relação ao centro da edificação e demanda um projeto em balanço, o que pode aumentar os custos e a complexidade da construção. Por outro lado, o modelo com treliça oferece um maior aproveitamento do espaço interno, pois distribui a carga de forma mais eficiente, permitindo mais liberdade de uso da área coberta. No entanto, ele exige que a edificação tenha uma altura suficiente para acomodar a estrutura de apoio no eixo central, que é a linha que passa pelo meio da edificação e serve como referência para o posicionamento das cargas e da estrutura (MALLMANN, 2021).

A inclinação do telhado tem papel fundamental na segurança e funcionalidade da cobertura. Em casos de insuficiência de inclinação, pode ocorrer o acúmulo de água, gerando uma carga desbalanceada, com maior peso concentrado em uma extremidade da viga. Para prevenir o colapso estrutural causado pelo empoçamento, é crucial projetar telhados com a inclinação apropriada e um sistema de drenagem eficiente. Quando a inclinação do telhado é pequena em estruturas não defletidas, pontos baixos podem se formar sob a aplicação de cargas,

favorecendo o acúmulo de água. Nessa situação, tanto os sistemas de drenagem quanto os elementos estruturais internos devem ser projetados com robustez e rigidez adequadas para impedir a deformação progressiva, assegurando a estabilidade da construção (DENAVI; FISHER, 2024).

## 4 METODOLOGIA

Esta pesquisa se caracterizara como estudo de caso e de acordo com Gil (2008) o estudo de caso é definido pelo estudo aprofundado e minucioso de um tema para assim poder proporcionar um entendimento maior e aprofundado do mesmo, resume em um estudo empírico que averigua um evento recente dentro das circunstancias existentes com o propósito de “descrever a situação do contexto em que está sendo feita determinada investigação” (GIL, 2002).

Este trabalho investiga a análise estrutural e a modelagem digital de uma cobertura de rampa e escada, projetada para garantir o acesso seguro de público em diferentes tipos de edificações. O trabalho busca verificar o desempenho da estrutura, levando em consideração aspectos como resistência, durabilidade e funcionalidade para a circulação de pessoas com mobilidade reduzida ou em situações de emergência.

A definição das etapas para o estudo de caso tem como metodologia de operação os seguintes passos:

1° Análise de dados: nessa etapa será feita a análise dos dados do projeto como a inclinação da cobertura e modelo arquitetônico.

2° Descrição das cargas: mediante a análise dos dados nessa etapa será levantado o carregamento que a estrutura deverá suportar juntamente com as força do vento.

3° Modelo analítico: nessa etapa será apresentado o modelo analítico com os perfis utilizados e dimensões.

4° Carregamento e coeficientes: nessa etapa será exposto o carregamento adotado, os coeficientes de flambagem e flexão máximo para a análise de cálculo.

5° Resultados dos cálculos e modelo digital: nessa etapa será mostrado os resultados dos cálculos da estrutura e o modelo final da estrutura digitalizado.

A pesquisa de trabalho é definida como um procedimento formal e meticuloso da continuação do método técnico com o principal objetivo de explicar questões por meio de procedimentos científicos (GIL, 2002).

A pesquisa utilizada para objetivar o presente trabalho, foi à exploratória e de acordo com Gil (2002) o objetivo fundamental das pesquisas exploratórias é buscar desenvolvimento, esclarecimento e remodelar conceitos, no sentido de formular um conjunto de ideias mais claras ou hipóteses que possam ser pesquisadas em estudos futuros. “Habitualmente envolvem levantamento bibliográfico e documental, entrevistas não padronizadas e estudos de caso.” Visam proporcionar um conhecimento geral que se aproxima do tema pesquisado.

Os dados foram coletados por meio de pesquisas bibliográficas, elaboradas a partir de materiais já publicados, constituído principalmente de livros, e artigos científicos, atestando a confiabilidade e veracidade dos dados obtidos (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Também foi utilizada nesse trabalho a pesquisa explicativa, são as que mais assemelham o tema com a realidade porque tem o objetivo de identificar as causas que comprovam ou que colaboram para que os fenômenos ocorram, tem o objetivo de explicar a razão o porquê de as coisas acontecerem (GIL, 2002).

## **5 ESTUDO DE CASO**

O presente estudo de caso apresenta uma análise detalhada do dimensionamento de perfis metálicos utilizados em uma estrutura de cobertura. O trabalho aborda rotinas de cálculo que, na atividade habitual dos projetistas, frequentemente são simplificadas com base em suas experiências anteriores ou pelo uso de processos automatizados.

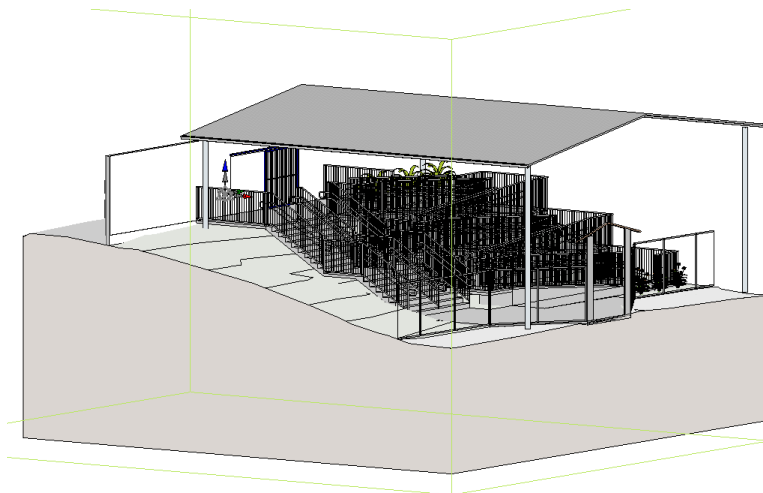
A análise foi conduzida conforme os critérios estabelecidos pelas normas técnicas brasileiras NBR 8800, NBR 6120 e NBR 6123, adotando integralmente o Sistema Internacional de Unidades (SI). O dimensionamento abrange os perfis das terças, tirantes, contraventamentos, vigas e pilares, fornecendo uma abordagem criteriosa e alinhada às melhores práticas da engenharia estrutural.

### **5.1 Descrição e considerações do projeto da cobertura**

A construção refere-se à cobertura de uma escada e de uma rampa de uma escola localizada no interior do estado de Goiás. A cobertura, conforme ilustrado na FIGURA 4,

abrange uma área aproximada de 225 m<sup>2</sup>, sendo composta por duas águas com inclinação de 15%, conforme especificações da telha selecionada na FIGURA 5.

Figura 4: Modelo 3D projeto arquitetônico.



Fonte: autor

Na elaboração dos projetos, foram considerados a proposta arquitetônica, as características do terreno e os carregamentos, incluindo as cargas das telhas, o peso próprio da estrutura, o vento e a sobrecarga. O dimensionamento do projeto foi realizado com base nas funcionalidades e recursos oferecidos por softwares amplamente utilizados na área, como o Cype 3D (CYPE Ingenieros, 2025), conforme as ferramentas acessíveis durante a elaboração do projeto em ambiente profissional.

## 5.2 Cargas utilizadas no dimensionamento

**Peso próprio dos perfis da estrutura:** As cargas decorrentes do peso próprio das peças dimensionadas são calculadas automaticamente por software.

**Sobrecarga:** A sobrecarga de 0,25 kN/m<sup>2</sup> utilizada para a cobertura está em conformidade com a norma, que estabelece que, "caso a cobertura possua um sistema de drenagem adequado e rigidez suficiente para evitar o fenômeno de empoçamento progressivo, poderá ser considerada uma carga variável uniformemente distribuída de 0,25 kN/m<sup>2</sup>." (NBR 6120:2019).

**Carga permanente:** A carga permanente considerada para o projeto refere-se ao peso das telhas. Foi selecionada a telha sanduíche térmica colonial de 20 mm de espessura, fabricada em aço/aço (isoeste ou similar), com um peso de 12 kg/m<sup>2</sup>, especificado pelo fabricante, conforme ilustrado na FIGURA 5.

Figura 5: Especificação técnica da telha

Detalhes Técnicos								
Espessura média isolante (mm)	Peso próprio (kg/m <sup>2</sup> )		U Coef. global de transm. calor (w/m <sup>2</sup> .k)	Largura útil (mm)	Vão máximo entre apoios (mm)	Inclinação mínima (%)*		
40	12,0		0,50	1000	1750	15		
Comprimentos Disponíveis (mm)**								
1750	2100	2450	2800	3150	3500	3850	4200	4550
4900	5250	5600	5950	6300	6650	7000	7350	

Fonte: kingspan-isoeste.com.br (2024)

### 5.3 Forças devidas ao vento

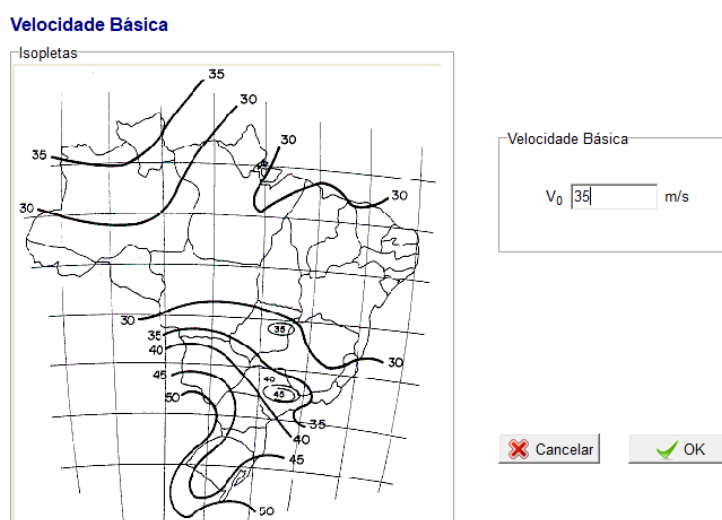
Para o dimensionamento das forças do vento, foi utilizado o software CICLONE, o software pode ser acessado no site da Universidade de São Paulo (USP), disponível em: <https://set.eesc.usp.br/software/>, uma ferramenta computacional que possibilita, por meio de seus recursos, a consideração dos efeitos do vento em estruturas comumente utilizadas na construção civil. A seguir, são apresentadas as características da cobertura inseridas no software para a obtenção dos fatores necessários ao cálculo das forças do vento, conforme especificado pela norma NBR 6123:2023.

#### 5.3.1 Velocidade básica do vento, $v_0$

Conforme estabelecido na NBR 6123:2023, a velocidade básica do vento,  $V_0$ , é definida como a velocidade de uma rajada de 3 segundos, medida a 10 metros de altura, em um terreno aberto e plano de uma cidade localizada no interior de Goiás, e que é superada, em média, uma vez a cada 50 anos.

A FIGURA 6 apresenta o gráfico das isopletras da velocidade básica do vento no Brasil, com a velocidade adotada no software CICLONE para o dimensionamento. Para este estudo, foi considerada uma velocidade básica de 35 m/s.

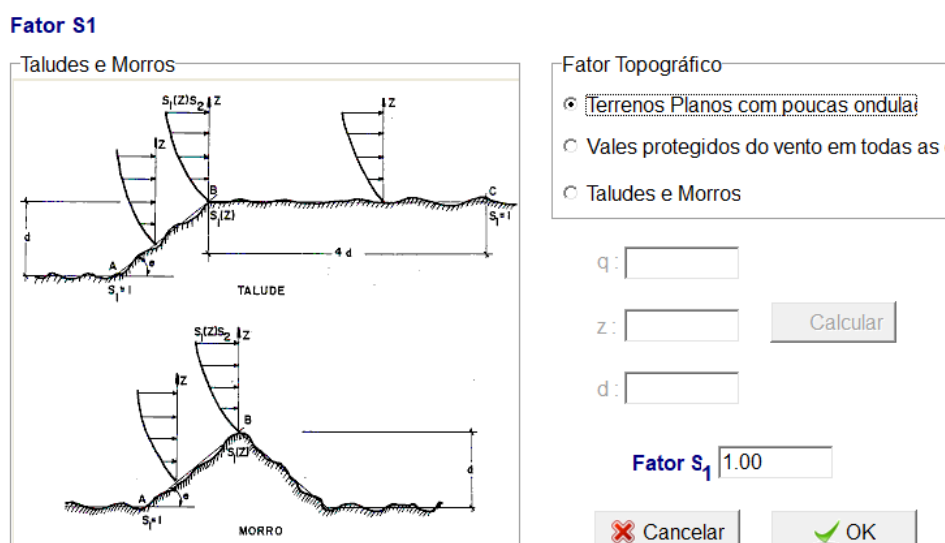
Figura 6: Gráfico isopletas



Fonte: autor

### 5.3.2 Fator topográfico, $S_1$

De acordo com a NBR 6123:2023, o fator topográfico  $S_1$  considera as variações do relevo do terreno. Para o cálculo da cobertura, adotou-se o tipo de terreno plano, com poucas ondulações, conforme ilustrado na FIGURA 7. Assim, foi utilizado  $S_1 = 1,00$ , condizente com as características de uma cidade localizada no interior de Goiás, marcada por construções de baixo porte.

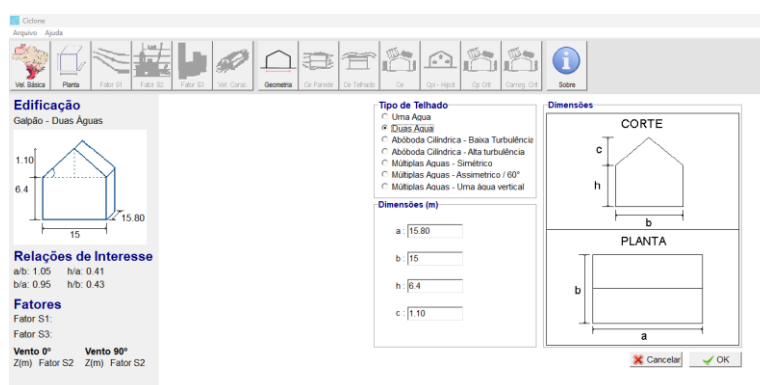
Figura 7: Determinação fator  $S_1$ 

Fonte: autor

### 5.3.3 Fator S2, rugosidade do terreno, dimensões da edificação

De acordo com a NBR 6123:2023, o fator S2 leva em consideração o efeito combinado da rugosidade do terreno, a variação da velocidade do vento com a altura acima do solo e as dimensões da edificação, estrutura ou componente em análise. Para a determinação do fator S2, foram inseridas no software as dimensões da cobertura, altura de 7,5 m, comprimento de 15,80 m e largura de 15 m, juntamente com a classificação do terreno e a categoria da edificação, conforme ilustrado nas FIGURAS 8, 9, 10 e 11. Com esses parâmetros, obteve-se  $S2 = 0,913$ .

Figura 8: Determinação das dimensões cobertura



Fonte: autor

Figura 9: Determinação categoria do terreno

**Classe do Terreno**

**Categoria do terreno**

- I Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5km de extensão, medida na direção e sentido do vento
- II Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1m. Exemplos: zonas costeiras planas; pântanos com vegetação rala; campos de aviação; pradarias e
- III Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3m. Exemplos: granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos, fazendas com sebes e/ou
- IV Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados em zona florestal, industrial ou urbanizada. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10m. Exemplos: zonas de parques e bosques com muitas árvores; cidades pequenas e seus arredores; subúrbios
- V Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25m. Exemplos: florestas com árvores altas de copas isoladas; centros de grandes cidade; complexo industriais

Fonte: autor

Figura 10: Terminação classe da edificação

**Classe da Edificação**

A (3 segundos)	Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação ou parte da edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal não exceda 20 metros.
B (5 segundos)	Toda edificação ou parte da edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros.
C (10 segundos)	Toda a edificação ou parte da edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 metros.

**Direção do Vento**

Direção do Vento 0°       Direção do Vento 90°

**Direção do Vento 0°**

Dimensão Vertical: 7.500 m  
 Dimensão Horizontal: 15.000 m  
 Maior dimensão: 15.000 m

**Direção do Vento 90°**

Dimensão Vertical: 7.500 m  
 Dimensão Horizontal: 15.800 m  
 Maior Dimensão: 15.800 m

**Classe:**  A (3 segundos)       A (3 segundos)  
 B (5 segundos)       B (5 segundos)  
 C (10 segundos)       C (10 segundos)

Fonte: autor

Figura 11: Determinação fator S2

**Fator S2**

Para se obter o Fator S2, tem que definir a Categoria do Terreno e a Classe da Edificação.

**Fator de Rugosidade do Terreno e Dimensões da Edificação**

CATEGORIA DO TERRENO      CLASSE DA EDIFICAÇÃO

Categoria do terreno: III

**Vento 0°**      **Vento 90°**

Classe da Edificação: A      Classe da Edificação: A

Z (m)	Fator S2
7.5	0.913

Z (m)	Fator S2
7.5	0.913

Intervalo de Cálculo (m): 7.5     

Fonte: autor

### 5.3.4 Fator estatístico, S3

De acordo com a NBR 6123:2023, o fator S3 é definido com base em critérios estatísticos, considerando o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação, estrutura ou componente. Por se tratar de um acesso público em uma escola, onde há grande circulação

e concentração de pessoas, adotou-se no software o valor  $S_3 = 1,00$ , conforme ilustrado na FIGURA 12.

Figura 12: Determinação fator  $S_3$

**Fator  $S_3$**

Fator Estatístico

Grupo	Descrição
<input type="radio"/> 1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros, centrais
<input checked="" type="radio"/> 2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e industria com alto fator
<input type="radio"/> 3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc)
<input type="radio"/> 4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc)
<input type="radio"/> 5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a fase de construção

Fator  $S_3$

Fonte: autor

### 5.3.5 Resultados obtidos do vento

Ao analisar os resultados gerados pelo software, conforme as FIGURAS 13, 14 e 15, para o carregamento do vento, foi selecionada a opção mais desfavorável, considerando-se uma força de vento na direção X de  $0,50 \text{ kN/m}^2$  e na direção Y de  $0,69 \text{ kN/m}^2$ .

Figura 13: Determinação da velocidade e pressão do vento

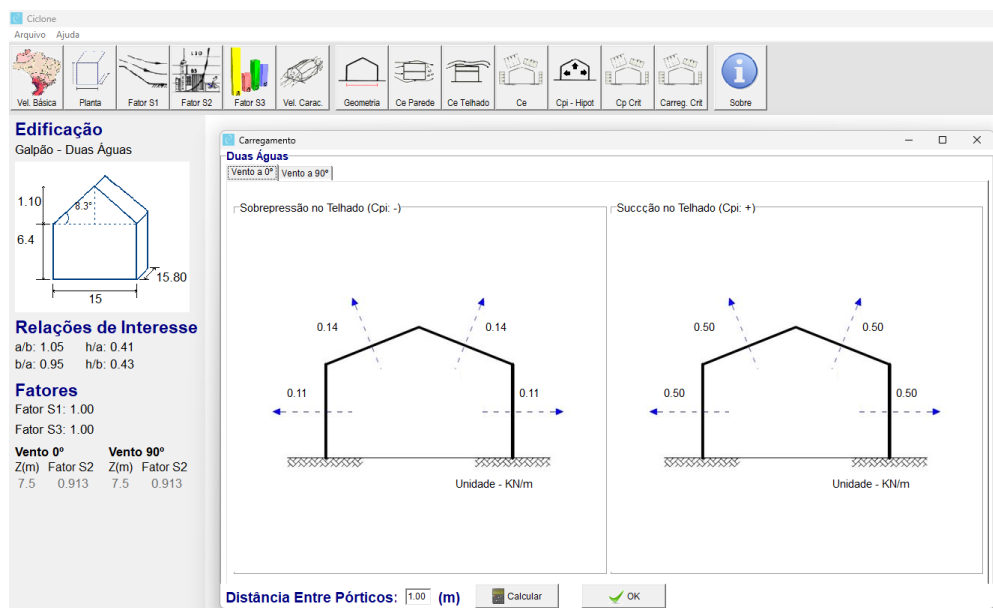
**Velocidade Característica e Pressão de Obstrução**

Direção do Vento 1				Direção do Vento 2					
Hi (m)	S2	Vk (m/s)	q (kN/m <sup>2</sup> )	qe (kN/m)	Hi (m)	S2	Vk (m/s)	q (kN/m <sup>2</sup> )	qe (kN/m)
7.5	0.913	31.97	0.63	9.90	7.5	0.91	31.97	0.63	9.40

Vk:  $S_1 \times S_2 \times S_3 \times V_0$   
 $q = 0,625 \times V_k^2$

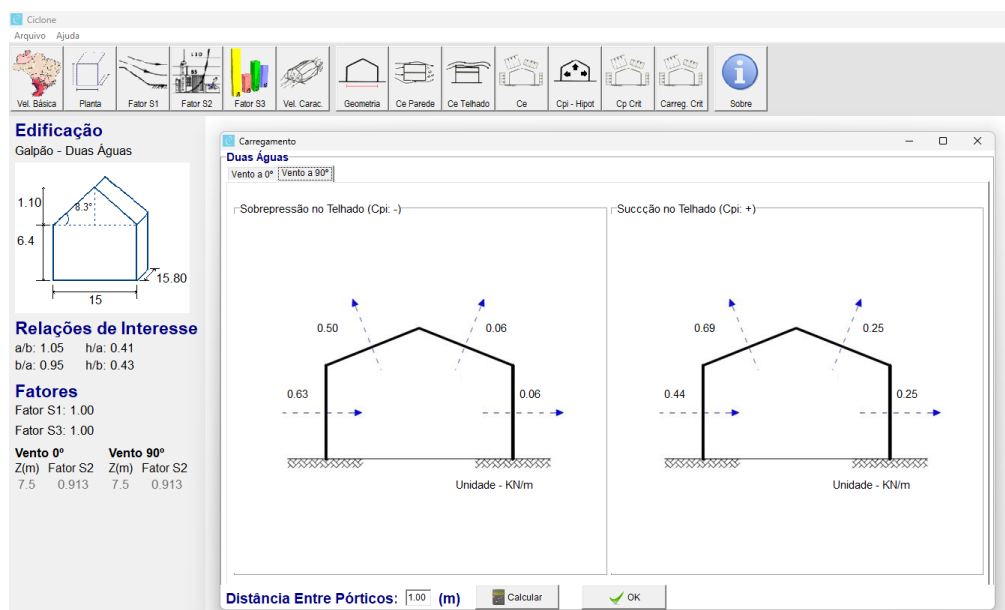
Fonte: autor

Figura 14: Determinação força direção X vento



Fonte: autor

Figura 15: Determinação força direção Y vento



Fonte: autor

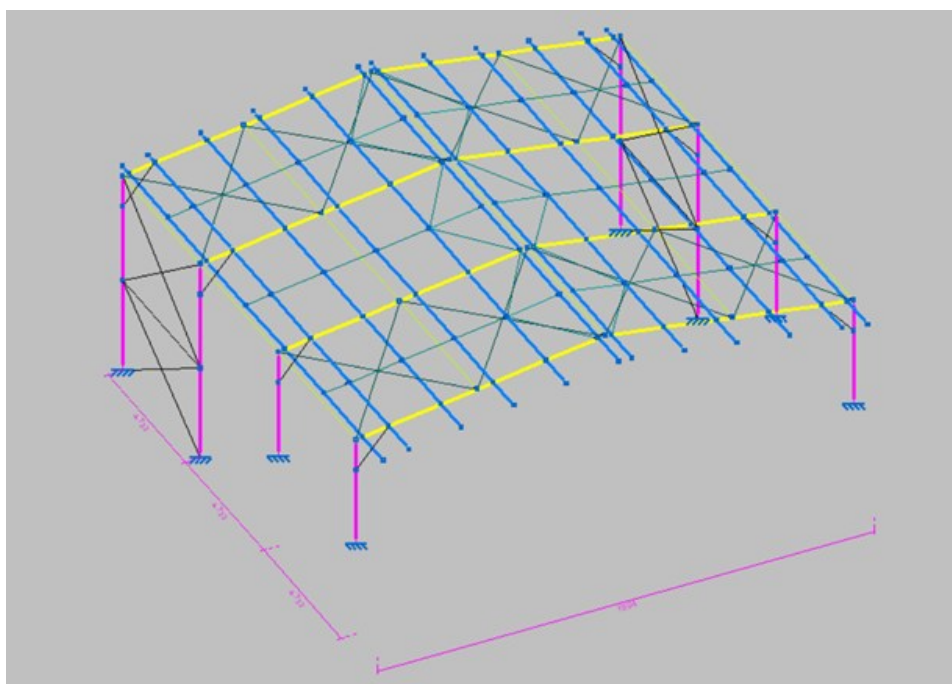
#### 5.4 Modelo computacional e perfis utilizados.

No modelo computacional, foram consideradas a arquitetura e a topografia do terreno, o que resultou em pórticos de pilares situados em alturas diferentes em relação aos eixos. A distância entre os pilares é de 15,04 metros, enquanto a distância entre os pórticos é de 4,722

metros, conforme ilustrado na FIGURA 16. Devido ao desnível do terreno, o pilar localizado na cota mais alta possui altura de 3,40 m, enquanto o pilar situado na cota mais baixa apresenta altura de 6,35 m.

Às terças foram posicionadas a uma distância de 1,58 metros entre elas, respeitando a distância máxima recomendada no catálogo das telhas, conforme especificação do fabricante, que estabelece um limite de 1,70 metros.

Figura 16: Modelo computacional com medidas eixos.



Fonte: autor

A escolha dos perfis levou em consideração o comprimento destravado da cobertura, ou seja, a distância entre os pontos de apoio dos elementos estruturais que não estão restritos lateralmente. Este fator é fundamental, pois, ao se tratar de elementos com maior comprimento livre, como as vigas e pilares, é necessário garantir que esses componentes resistam adequadamente aos momentos fletores e forças de compressão solicitantes. Por isso, optou-se pelo uso de perfis laminados nos pilares e vigas, que apresentam excelentes propriedades mecânicas e asseguram a resistência necessária para suportar os esforços solicitantes. A seleção inicial dos perfis foi realizada com base na experiência do projetista, definindo-se seções preliminares compatíveis com o porte da estrutura. Em seguida, procedeu-se ao pré-dimensionamento, no qual essas seções foram avaliadas e ajustadas conforme os resultados das análises estruturais. Assim, embora estabelecidas inicialmente de forma empírica, as dimensões

finais dos pilares e vigas foram refinadas ao longo do processo de cálculo até a obtenção das seções adequadas.

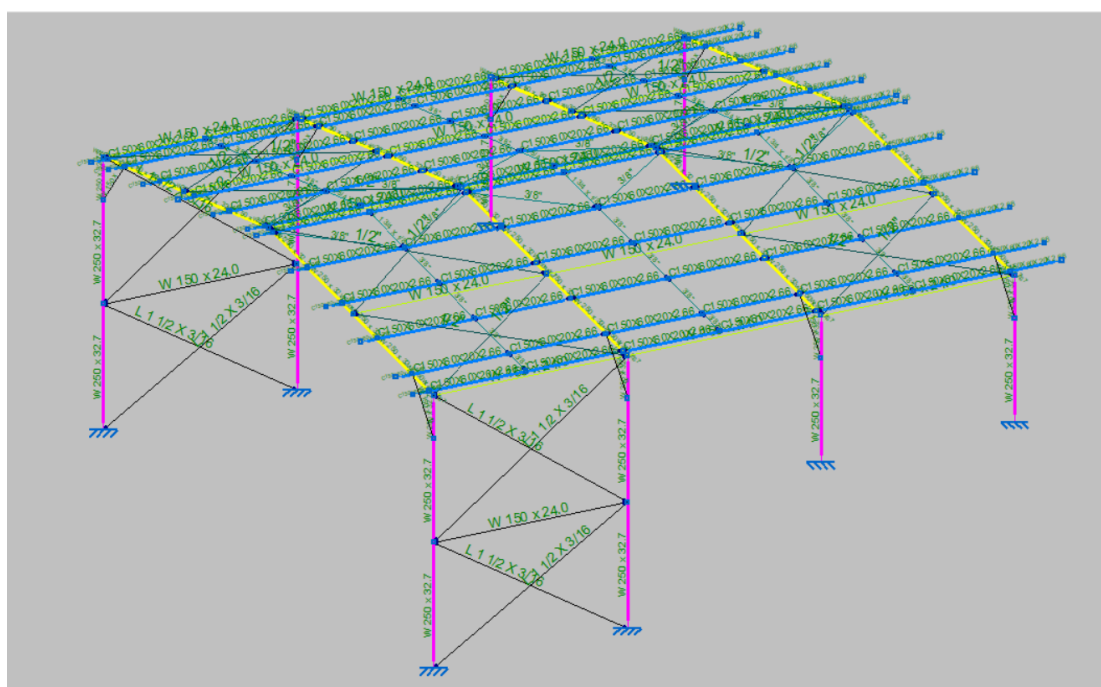
A TABELA 1 a seguir e a FIGURA 17 estão demonstrados os perfis seleccionados para o dimensionamento da cobertura.

Tabela 1 - Lista de perfis utilizados

Descrição	Perfil/Bitola	Material
Descrição	Perfil/Bitola	Material
Pilar / vigas	W 250x32,7 kg/m	ASTM – A572 345 MPa
Viga travamento	W 150x24,0 kg/m	
Mão francesa	W 150x13 kg/m	
Terças	UE 150x60x20x2,65	ASTM – A36
Contraventamento pilar	L 1.1/2"x3/16"	
Travamento comprimido das terças	L 1.3/4"x1/8"	
Tirante de travamento das terças	Ø 3/8"	
Contraventamento cobertura	Ø 5/8"	

Fonte: autor

Figura 17: Modelo computacional com determinação perfis

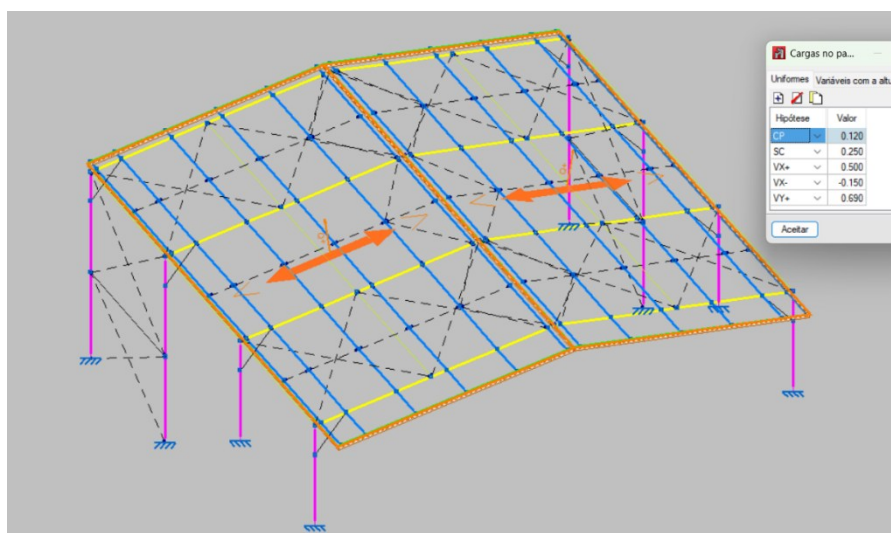


Fonte: autor

## 5.5 Definição do Carregamento Final para Projeto Estrutural

Para a inserção das cargas, foi criado um pano em cada lado da queda d'água sobre as terças da cobertura, com o objetivo de considerar as cargas distribuídas e as forças devido ao vento que atuam de forma constante sobre os respectivos panos, a fim de realizar a análise estrutural. a FIGURA 18 exemplifica esse procedimento.

Figura 18: Estrutura com aplicação das cargas nos panos



Fonte: autor

As cargas aplicadas na cobertura estão detalhadas na TABELA 2 a seguir, conforme descrito anteriormente.

Tabela 2 - Tabela de cargas

Descrição	Abreviação	Carga (KN/m <sup>2</sup> )
Peso próprio	PP	Calculado automaticamente
Carga permanente	CP	0,12
Sobrecarga	SC	0,25
Vento 0°	VX+	0,50
Vento 180°	VX-	-0,15
Vento 90°	VY+	0,69

Fonte: autor

As combinações de ações utilizadas para o Estado Limite Último (ELU) e o Estado Limite de Serviço (ELS) na cobertura estão detalhadas conforme ilustrado na FIGURA 19.

Figura 19 : Combinações utilizadas no cálculo.

Comb. selecionada	Comb. selecionada
Aço dobrado	Aço laminado e soldado
PP+CP	1.5 PP+CP+1.5 SC+0.84 VX-
PP+CP	PP+CP
1.25 PP+CP	1.5 PP+CP
PP+1.25 CP	PP+1.5 CP
1.25 PP+1.25 CP	1.5 PP+1.5 CP
PP+CP+1.5 SC	PP+CP+1.5 SC
1.25 PP+CP+1.5 SC	1.5 PP+CP+1.5 SC
PP+1.25 CP+1.5 SC	PP+1.5 CP+1.5 SC
1.25 PP+1.25 CP+1.5 SC	1.5 PP+1.5 CP+1.5 SC
PP+CP+1.4 VX+	PP+CP+1.4 VX+
1.25 PP+CP+1.4 VX+	1.5 PP+CP+1.4 VX+
PP+1.25 CP+1.4 VX+	PP+1.5 CP+1.4 VX+
1.25 PP+1.25 CP+1.4 VX+	1.5 PP+1.5 CP+1.4 VX+
PP+CP+1.05 SC+1.4 VX+	PP+CP+1.05 SC+1.4 VX+
1.25 PP+CP+1.05 SC+1.4 VX+	1.5 PP+CP+1.05 SC+1.4 VX+
PP+1.25 CP+1.05 SC+1.4 VX+	PP+1.5 CP+1.05 SC+1.4 VX+
1.25 PP+1.25 CP+1.05 SC+1.4 VX+	1.5 PP+1.5 CP+1.05 SC+1.4 VX+
PP+CP+1.5 SC+0.84 VX+	PP+CP+1.5 SC+0.84 VX+
1.25 PP+CP+1.5 SC+0.84 VX+	1.5 PP+CP+1.5 SC+0.84 VX+
PP+1.25 CP+1.5 SC+0.84 VX+	PP+1.5 CP+1.5 SC+0.84 VX+
1.25 PP+1.25 CP+1.5 SC+0.84 VX+	1.5 PP+1.5 CP+1.5 SC+0.84 VX+
PP+CP+1.4 VX-	PP+CP+1.4 VX-
1.25 PP+CP+1.4 VX-	1.5 PP+CP+1.4 VX-
PP+1.25 CP+1.4 VX-	PP+1.5 CP+1.4 VX-
1.25 PP+1.25 CP+1.4 VX-	1.5 PP+1.5 CP+1.4 VX-
PP+CP+1.05 SC+1.4 VX-	PP+CP+1.05 SC+1.4 VX-
1.25 PP+CP+1.05 SC+1.4 VX-	1.5 PP+CP+1.05 SC+1.4 VX-
PP+1.25 CP+1.05 SC+1.4 VX-	PP+1.5 CP+1.05 SC+1.4 VX-
1.25 PP+1.25 CP+1.05 SC+1.4 VX-	1.5 PP+1.5 CP+1.05 SC+1.4 VX-
PP+CP+1.5 SC+0.84 VX-	PP+CP+1.5 SC+0.84 VX-
1.25 PP+CP+1.5 SC+0.84 VX-	1.5 PP+CP+1.5 SC+0.84 VX-
PP+1.5 CP+1.5 SC+0.84 VX-	PP+1.5 CP+1.5 SC+0.84 VX-
1.5 PP+1.5 CP+1.5 SC+0.84 VX-	1.5 PP+1.5 CP+1.5 SC+0.84 VX-
PP+CP+1.4 VY+	PP+CP+1.4 VY+
1.5 PP+CP+1.4 VY+	1.5 PP+CP+1.4 VY+
PP+1.5 CP+1.4 VY+	PP+1.5 CP+1.4 VY+
1.5 PP+1.5 CP+1.4 VY+	1.5 PP+1.5 CP+1.4 VY+
PP+CP+1.05 SC+1.4 VY+	PP+CP+1.05 SC+1.4 VY+
1.5 PP+CP+1.05 SC+1.4 VY+	1.5 PP+CP+1.05 SC+1.4 VY+
PP+1.25 CP+1.05 SC+1.4 VY+	PP+1.25 CP+1.05 SC+1.4 VY+
1.5 PP+1.25 CP+1.05 SC+1.4 VY+	1.5 PP+1.25 CP+1.05 SC+1.4 VY+
PP+CP+1.5 SC+0.84 VY+	PP+CP+1.5 SC+0.84 VY+
1.5 PP+CP+1.5 SC+0.84 VY+	1.5 PP+CP+1.5 SC+0.84 VY+
PP+1.5 CP+1.5 SC+0.84 VY+	PP+1.5 CP+1.5 SC+0.84 VY+
1.5 PP+1.5 CP+1.5 SC+0.84 VY+	1.5 PP+1.5 CP+1.5 SC+0.84 VY+

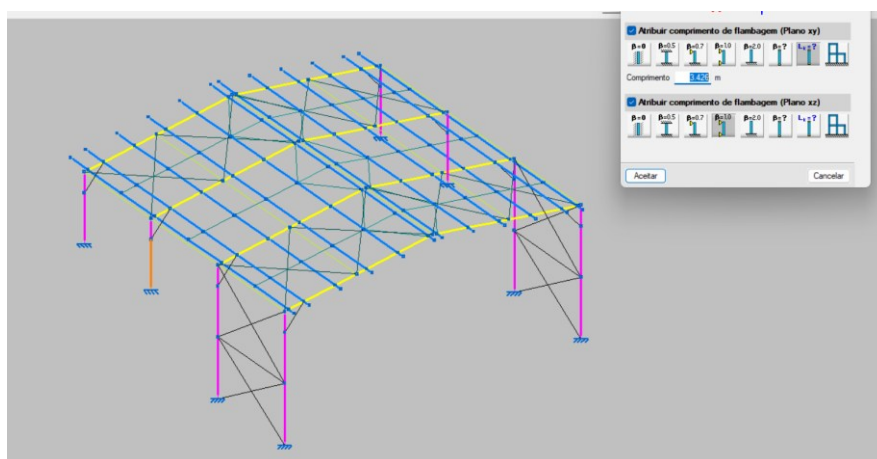
Fonte: autor

## 5.6 Flambagem

A flambagem é um fenômeno que ocorre em elementos esbeltos submetidos a compressão e também pode ser desencadeada pela presença de momentos fletores. Trata-se de um aspecto crítico no dimensionamento de terças em coberturas metálicas, pois essas peças frequentemente trabalham sob combinações de esforços que favorecem a instabilidade. Quando não há contenção lateral suficiente, a terça pode apresentar flambagem lateral com torção, reduzindo significativamente sua capacidade resistente. Para evitar esse tipo de instabilidade, é comum o uso de tirantes, que funcionam como apoios intermediários e limitam o deslocamento lateral das terças, reduzindo seu comprimento de flambagem efetivo. Conforme a NBR 8800:2024, é fundamental garantir a estabilidade das peças comprimidas por meio de

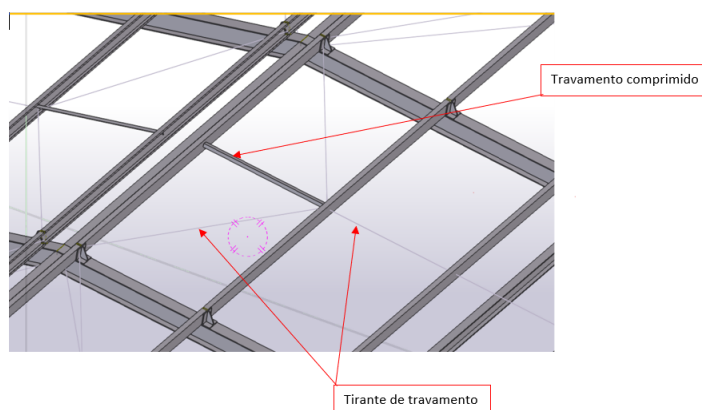
dispositivos que limitem o deslocamento lateral. Além disso, elementos submetidos à flexão também podem apresentar instabilidade lateral, exigindo igual atenção às condições de apoio e travamento. Segundo Vasconcelos (2012), a correta utilização de tirantes melhora o desempenho estrutural e permite a adoção de perfis mais leves e econômicos. A FIGURA 20 ilustra as considerações feitas no projeto para as barras, além das terças. Na direção  $xy$ , adotou-se o comprimento equivalente ao do pilar, 3,40 m, enquanto na direção  $xz$  foi utilizado o coeficiente igual a 1,0, conforme os critérios de estabilidade definidos para a análise, enquanto a FIGURA 21 apresenta os elementos utilizado como tirantes, que contribui para a resistência da estrutura, permitindo uma distribuição mais eficiente das forças e proporcionando maior estabilidade.

Figura 20: Critérios de flambagem adotados para os perfis



Fonte: autor

Figura 21: Tirantes utilizados na estrutura.

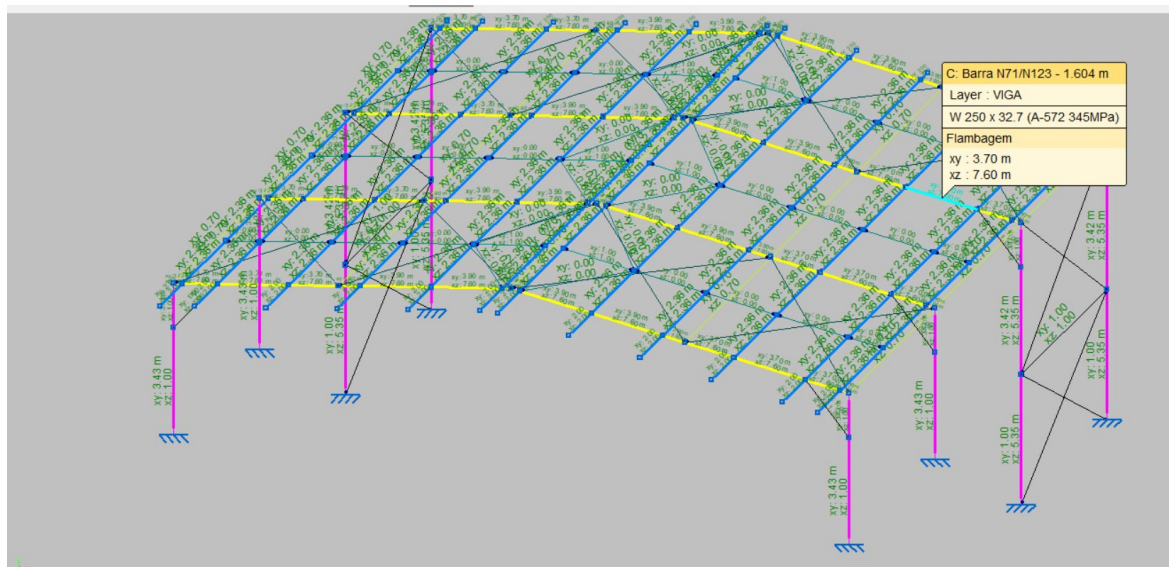


Fonte: autor

A FIGURA 22 e a FIGURA 23 apresentam os perfis estruturais com os principais modos de flambagem representados. Nessas imagens, o software indica, para cada barra, os comprimentos

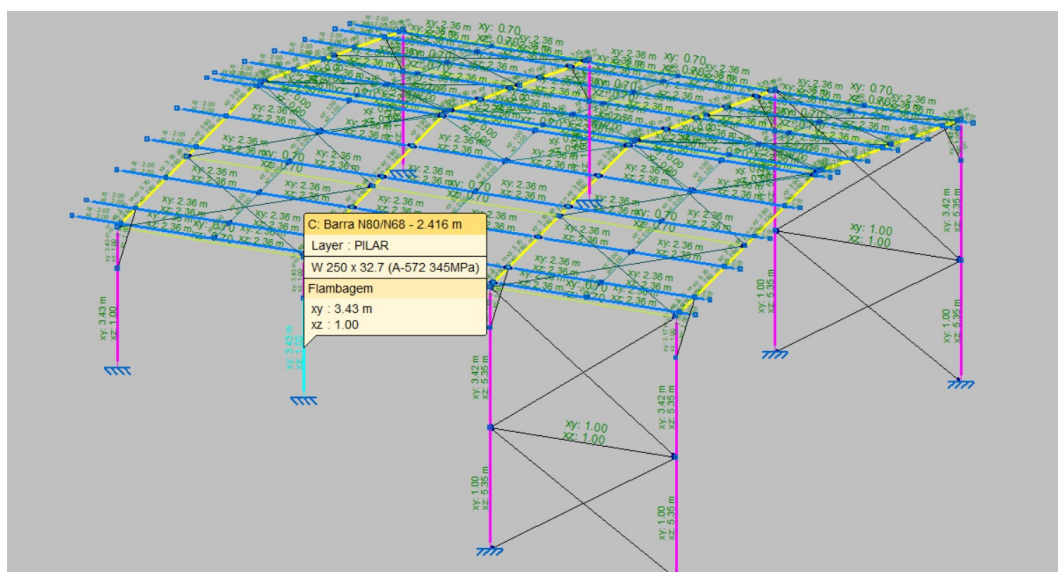
de flambagem nas direções  $xy$  e  $xz$ , mostrados ao lado dos elementos em forma de valores numéricos. Esses comprimentos correspondem aos modos de instabilidade considerados no dimensionamento, permitindo visualizar como cada perfil pode perder estabilidade em cada eixo principal.

Figura 22 - Perfis estruturais - viga com indicação do comprimento de flambagem.



Fonte: autor

Figura 23 -Perfis estruturais - pilar com indicação do comprimento de flambagem.



Fonte: autor

## 5.7 Flexão

Conforme a NBR 8800:2024, no cálculo dos deslocamentos verticais, que devem ser comparados com os valores máximos estabelecidos na tabela da FIGURA 24, é possível determinar a contra flecha da viga, limitada pela flecha proveniente das ações permanentes. Para evitar estados-limites de serviço, os deslocamentos da estrutura, calculados a partir da combinação das ações de serviço, não podem ultrapassar os valores máximos permitidos pela norma.

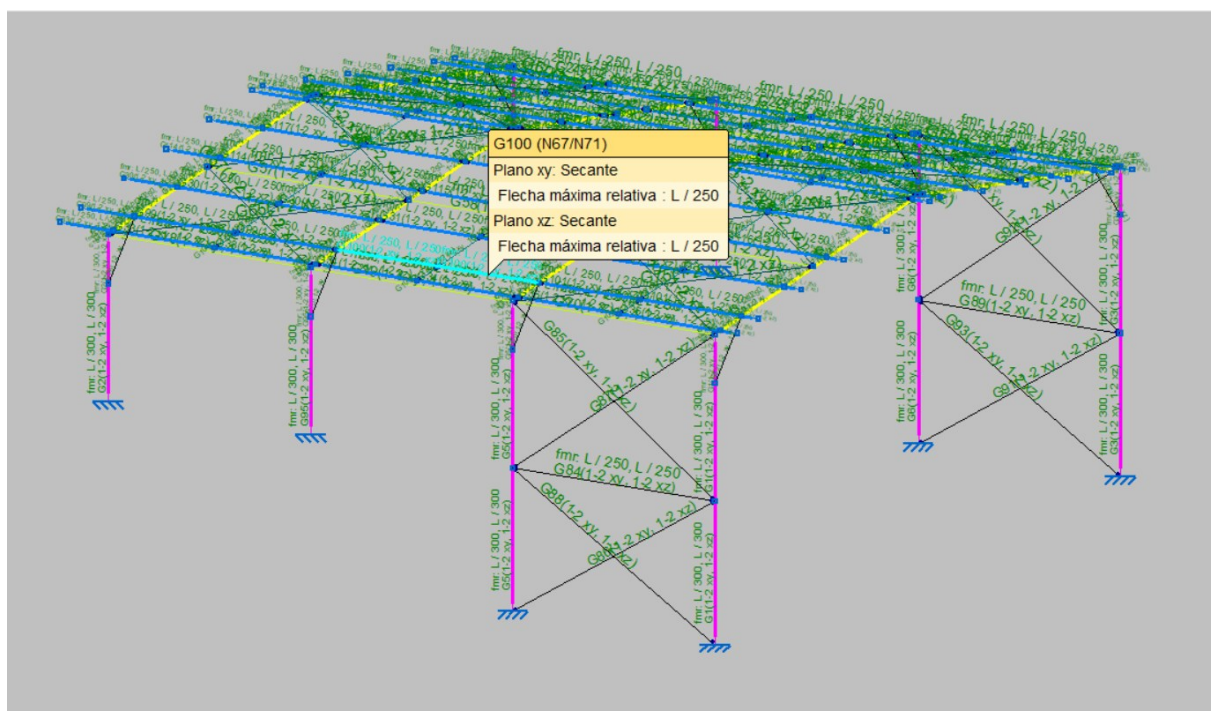
Figura 24: Deslocamentos máximos

<b>Descrição</b>	<b><math>\delta^a</math></b>
Travessas de fechamento	$L/250^b$
Terças de cobertura <sup>d</sup>	$L/250^c$
Vigas de cobertura <sup>d</sup>	$L/250$
Vigas de piso	$L/350^e$
Vigas que suportam pilares	$L/500^e$
Pilares de fechamento em relação a base	$H/250$
Pilares de fechamento entre os apoios	$L/250$
Vigas de rolamento (para pontes rolantes classificadas conforme o regime de trabalho) <sup>j</sup> :	
— Deslocamento vertical:	$L/750^f$
— Leve ou de uso eventual e moderado	$L/1000^f$
— Pesado	$L/1250^f$
— Severo	$L/500$
— Deslocamento horizontal	$L/750$
— Todos os regimes de trabalho, exceto o severo	
— Severo	
Galpões em geral e edificações de um pavimento:	
— Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/300$
— Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	$H/500^{g,h}$
Edificações de dois ou mais pavimentos:	
— Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/400$
— Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$h/500^i$
Lajes mistas	Ver Anexo N

Fonte: NBR 8800:2024

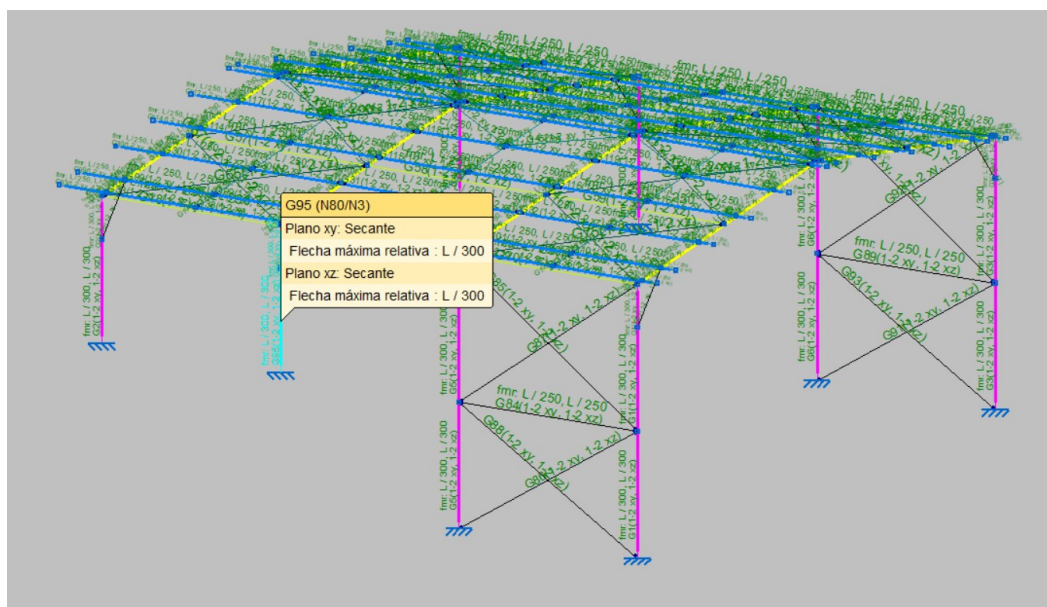
As FIGURAS 25 e 26 ilustram os valores de flechas utilizados no projeto para vigas, pilares e terças.

Figura 25: Determinação da flecha máxima vigas e terças



Fonte: autor

Figura 26: Determinação da flecha máxima pilar

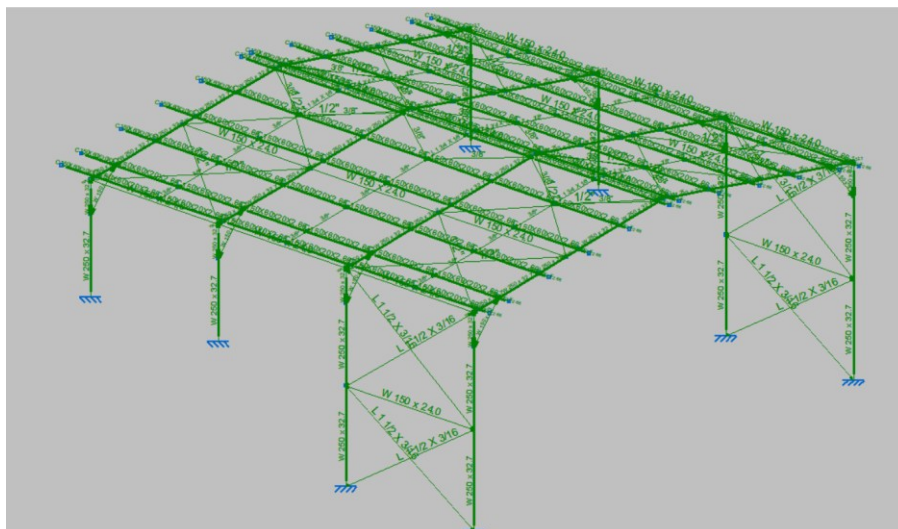


Fonte: autor

## 5.8 Resultados dos Cálculos da Estrutura

Com base nos processos descrito anteriormente, o cálculo da estrutura foi realizado utilizando recursos de softwares especializados, que verificam se os perfis atendem às solicitações de dimensionamento. Para demonstrar o atendimento às condições exigidas, os perfis são destacados em verde, como ilustrado na FIGURA 27.

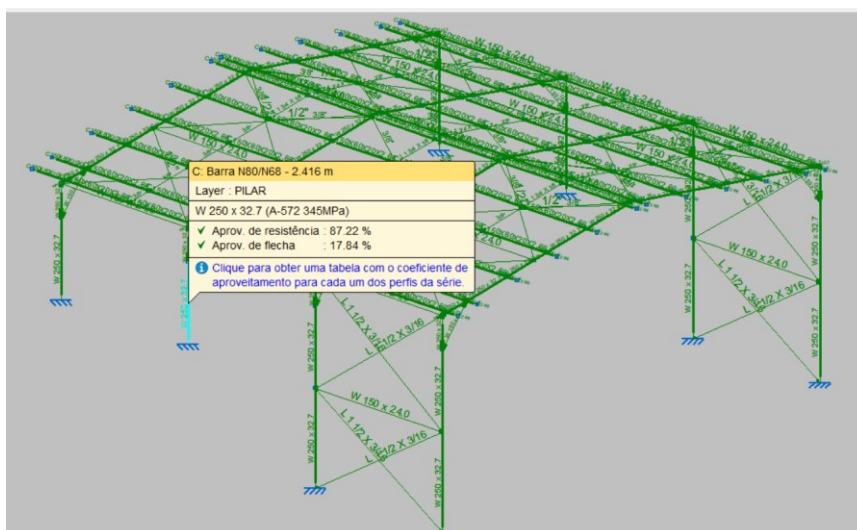
Figura 27: Resultado de cálculo



Fonte: autor

A taxa de aproveitamento do pilar mais solicitado é de 87,22%, conforme demonstrado na FIGURA 28.

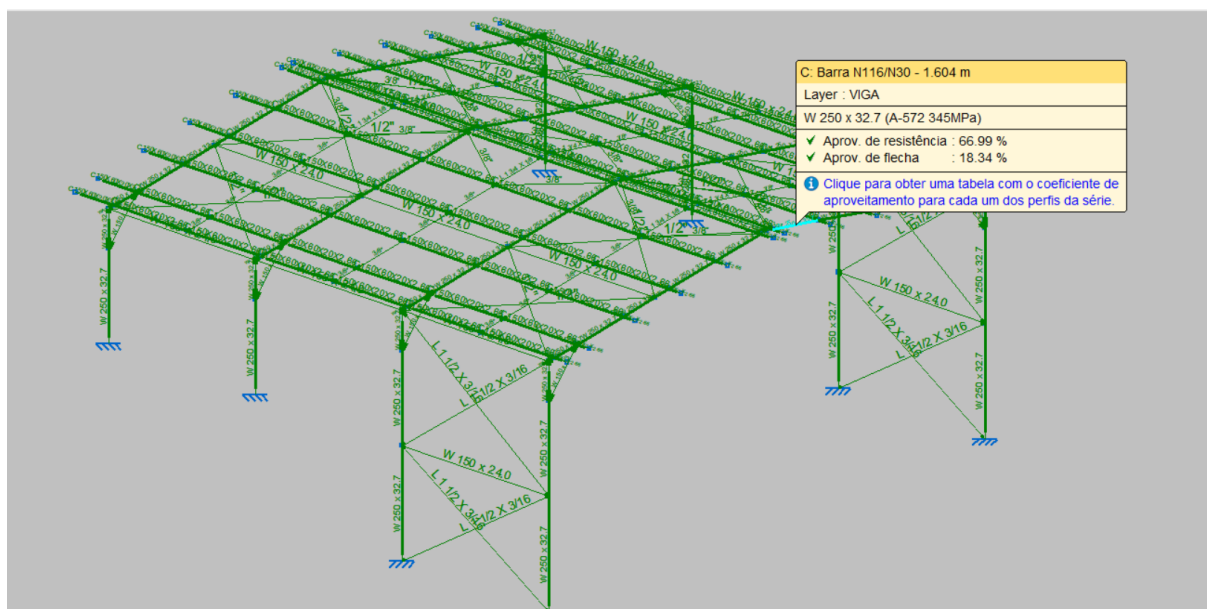
Figura 28: Taxa aproveitamento pilar



Fonte: autor

A taxa de aproveitamento da viga mais solicitada é de 66,99%, conforme demonstrado na FIGURA 29.

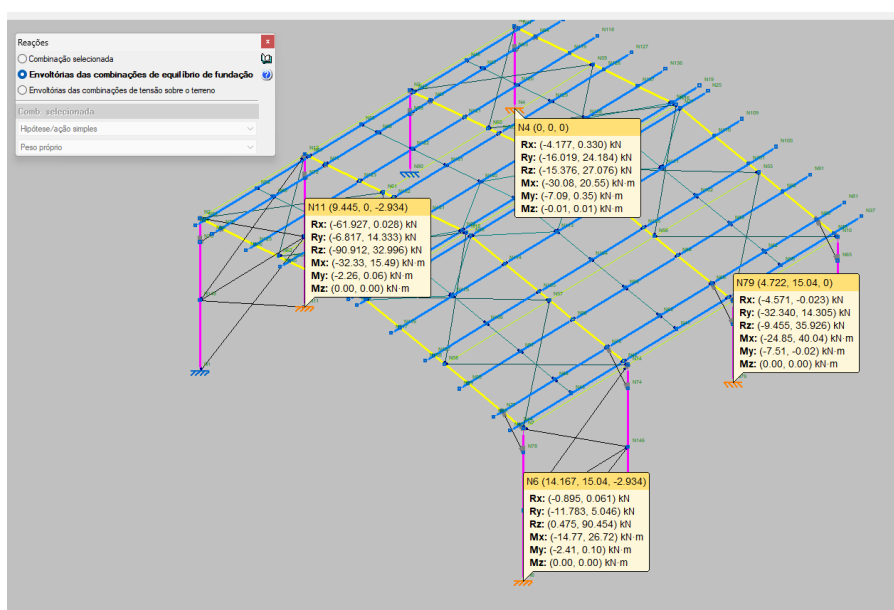
Figura 29: Taxa aproveitamento viga



Fonte: autor

A FIGURA 30 mostra as reações nos nós dos eixos globais dos pilares que as fundações deverão absorver, considerando as envoltórias das combinações de equilíbrio.

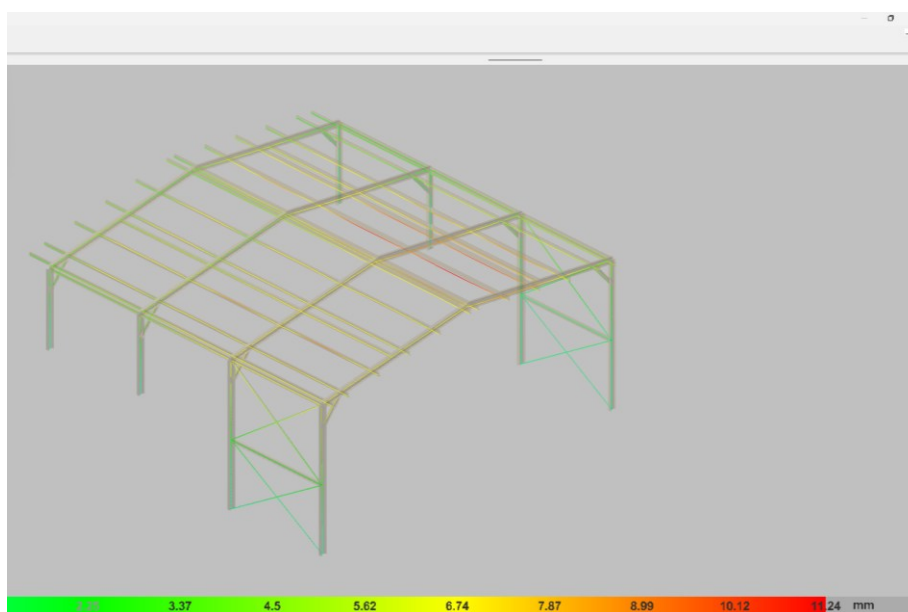
Figura 30: Reações nos pilares para fundação



Fonte: autor

A FIGURA 31 mostra os deslocamentos calculados pela ferramenta do software, representando as variações nas posições dos elementos estruturais sob as condições de carga aplicadas.

Figura 31: Deslocamento da estrutura



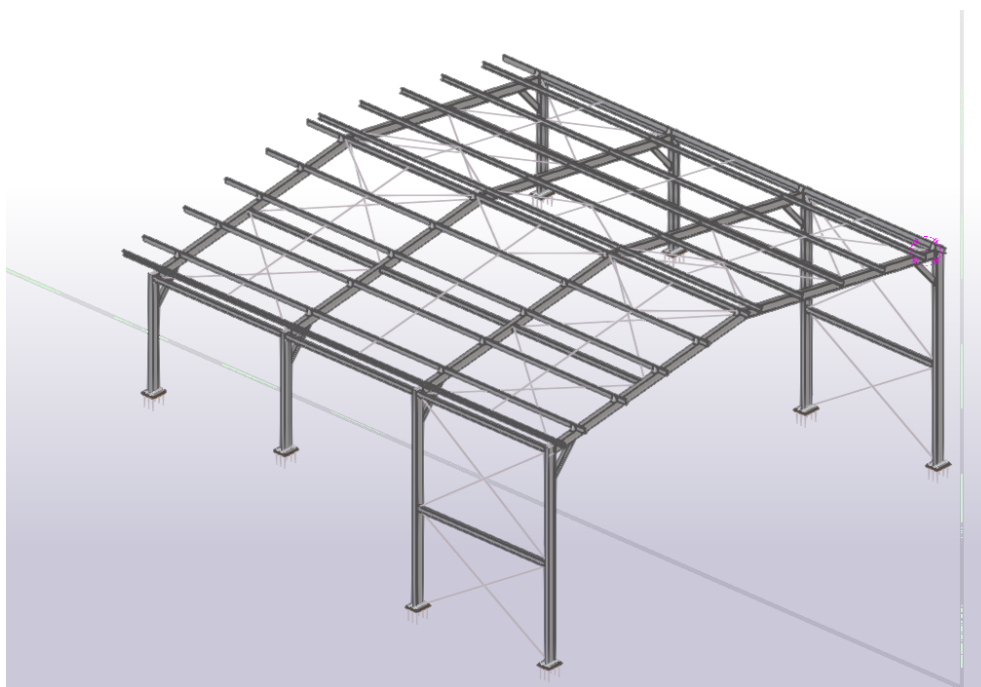
Fonte: autor

Conforme demonstrado anteriormente, pode-se destacar que a estrutura apresenta segurança, atendendo aos requisitos de estabilidade e funcionalidade, o que viabiliza o projeto para execução. Todos os cálculos e verificações realizados indicam que os elementos estruturais estão dimensionados adequadamente para suportar as cargas previstas, garantindo a integridade e o desempenho da edificação ao longo de sua vida útil.

## 5.9 Modelagem Digital da Estrutura

Para a modelagem da estrutura, foi utilizado o software Tekla Structures (Trimble Solutions Corporation, versão 2025). Nesta etapa final, os perfis são ajustados e apresentados de forma realista, proporcionando uma visualização detalhada da estrutura concluída. Abaixo, segue a FIGURA 32 representando o modelo digital, que permite uma análise precisa das dimensões e conexões dos elementos, facilitando a verificação das interferências e garantindo a qualidade da execução. Esse modelo também serve como base para a elaboração de todos os documentos necessários para a construção, incluindo as listas de materiais e os detalhes construtivos.

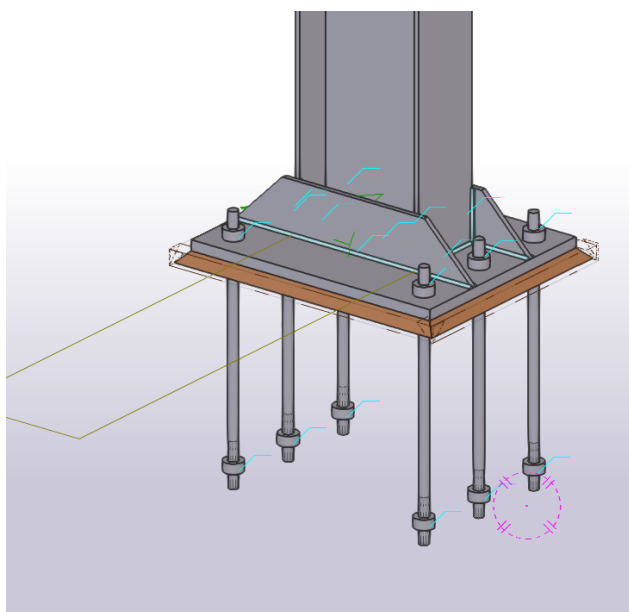
Figura 32: Modelo final da estrutura



Fonte: autor

A placa de base atua como elemento de ligação entre o pilar metálico e a fundação, garantindo a transferência eficiente das cargas estruturais. Proporciona estabilidade ao conjunto, distribuindo os esforços para a base de concreto de forma segura. Seu dimensionamento segue os critérios normativos para resistência e ancoragem, a FIGURA 33 representa a placa de base da estrutura.

Figura 33 – Placa de base



Fonte: autor

Tabela 3 - Lista de material

Descrição	Perfil/Bitola	Material	Qnt. (m)	Peso (kg)
Pilar / vigas	W250x32,7 kg/m	ASTM–A572 345 MPa	99,90	3301,39
Viga travamento	W150x24,0 kg/m		80,28	1985,14
Mão francesa	W 150x13 kg/m		12,05	156,98
Terças	UE 150x60x20x2,65	ASTM– A36	189,81	1158,68
Contraventamento pilar	L 1.1/2"x3/16"		45,55	123,01
Travamento comprimido das terças	L 1.3/4"x1/8"		9,62	20,54
Tirante de travamento das terças	Ø 3/8"		67,85	37,99
Contraventamento cobertura	Ø 5/8"		97,01	150,83
TOTAL				6.934,56
Área da cobertura 225 m <sup>2</sup>				
TOTAL 30,82 Kg/m <sup>2</sup>				

Fonte: autor

Na TABELA 3 está a lista de materiais utilizados na estrutura, detalhando os tipos e quantidades de cada componente necessário para a execução do projeto.

## 6 CONCLUSÃO

Como resultado final deste trabalho, obteve-se o projeto de uma cobertura em estrutura metálica, abrangendo todas as etapas de projeção: informacional, conceitual, preliminar e detalhado. Isso permitiu a criação de uma cobertura completa e segura para a rampa e escada da escola, atendendo às necessidades funcionais e de segurança.

Cabe destacar que foi realizada a verificação em todos os elementos estruturais, incluindo a análise das ligações soldadas e parafusadas, cujos modelos representativos podem ser consultados no *Anexo – Modelo de Ligação*. O projeto da cobertura é composto por elementos como: viga de travamento, viga do pórtico, pilar, terças, tirantes e contraventamentos. Para cada um desses componentes, foram adotadas soluções ideais, considerando as exigências do projeto, as normas de segurança e a proteção dos usuários contra intempéries, como chuva e sol, proporcionando um ambiente confortável.

Entre as principais soluções adotadas, destaca-se o uso de vigas principais e pilares em perfis "W" laminados, com propriedades estruturais adequadas, terças espaçadas e travadas nas vigas, e telhas termo acústicas dispostas de maneira padronizada na cobertura.

Quanto aos objetivos iniciais, todos foram atingidos de maneira integral, com base no desenvolvimento das etapas do trabalho. Foram realizadas a revisão bibliográfica sobre os temas relevantes, a definição e classificação dos requisitos, a elaboração de concepções, a determinação dos componentes, o modelamento digital, o dimensionamento e a verificação estrutural das partes principais de acordo com as normas, além da elaboração da lista de materiais.

Por fim, pode-se concluir que o objetivo geral foi plenamente atendido, proporcionando à escola um projeto de cobertura em estrutura metálica que atende às necessidades dos usuários. O uso do aço, especialmente em estruturas metálicas, tem ganhado cada vez mais espaço na construção civil.

Com a adoção da estrutura metálica, os projetos tornam-se mais sofisticados, ampliando as possibilidades arquitetônicas, com maior liberdade de desenho e inovação. As técnicas construtivas tornam-se mais flexíveis, permitindo a criação de espaços maiores e mais eficientes, atendendo melhor às necessidades dos clientes. A estrutura metálica, ao substituir as soluções convencionais em madeira e concreto, oferece maior rapidez de execução, elevada capacidade resistente com menor peso e melhor potencial de manutenção e reciclagem, enquanto a engenharia civil, por meio de pesquisa, técnica e experiência, desempenha um papel essencial no avanço e na modernização do país.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas Para o Cálculo de Estruturas de Edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

DENAVI, Mark D.; FISHER, James M.. Rain Loads: and Ponding. **American Institute of Steel Construction**, Estados Unidos, nov./2024. Disponível em: <https://www.aisc.org/Design-Guide-40-Rain-Loads-and-Ponding>. Acesso em: 17 nov. 2024.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**: Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4. ed. SÃO PAULO: EDITORA ATLAS S.A., 2002. p. 44-55.

JUNIOR, Marcelo Pratti. ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO DE PERFÍS DE COBERTURA METÁLICA: ESTUDO DE CASO. **UFSC**, Joinville, dez./2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/157233>. Acesso em: 17 nov. 2024.

MACEDO, E. C. C. D. ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE UMA COBERTURA: ESTRUTURA METÁLICA VERSUS ESTRUTURA DE MADEIRA. **UFERSA**, ANGICOS, dez./2019. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br>. Acesso em: 17 nov. 2024.

MALLMANN, Felipe. PROJETO DE COBERTURA EM ESTRUTURA METÁLICA DO TIPO SHED PARA O NÚCLEO DE AUTOMAÇÃO E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO: (NAFA). **UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**, Santa Maria - RS, dez./2021. Disponível em: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/>. Acesso em: 17 nov. 2024.

NASCIMENTO, S. A. F. D. ANÁLISE ESTÁTICA E DINÂMICA DE ESTRUTURA METÁLICA TENSIONADA: COBERTURA DE TELHAS ALTERNATIVAS. **SISTEBIB**, MANAUS, dez./2019. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7329>. Acesso em: 17 nov. 2024.

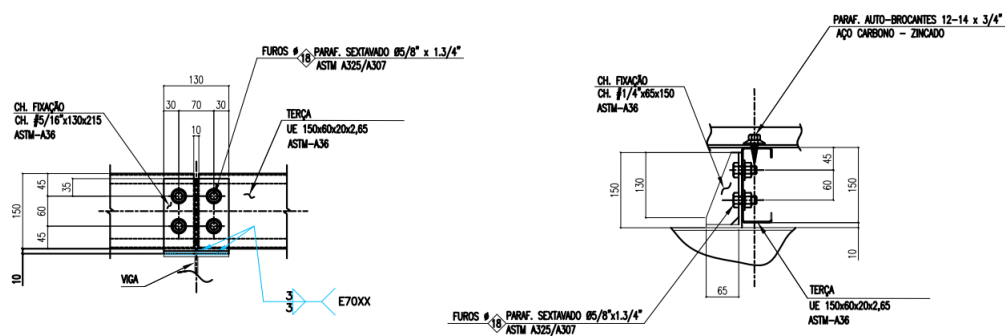
PORTAL METÁLICA. **Histórico da Estrutura Metálica**. Disponível em: <https://metalica.com.br/historico-da-estrutura-metalica-2/>. Acesso em: 24 nov. 2024.

PORTAL SIDERURGIA BRASIL. **Instituto Aço Brasil – Iniciada a recuperação do setor**. Disponível em: <https://siderurgiabrasil.com.br/2024/>. Acesso em: 17 nov. 2024.

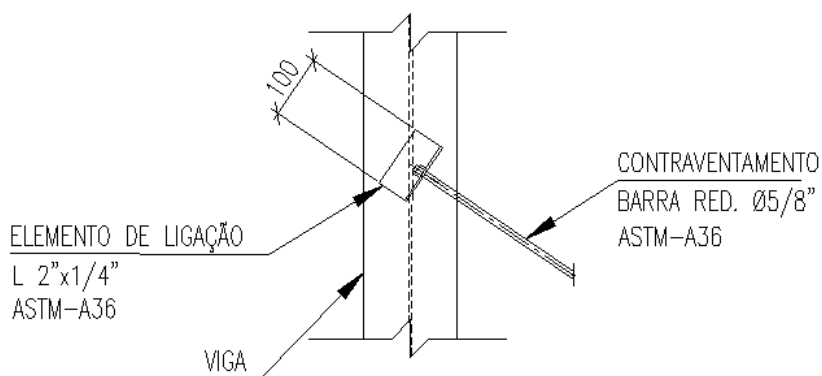
PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, E. C. D. **Metodologia do trabalho científico**: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo - Rio Grande do Sul - Brasil: EDITORA FEEVALE, 2013. p. 36-39.

VASCONCELOS, G. M. **Estruturas metálicas: dimensionamento de elementos estruturais segundo a NBR 8800**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

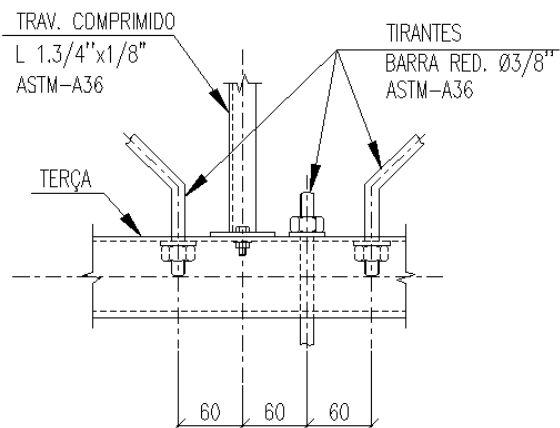
## ANEXOS – MODELO DE LIGAÇÃO



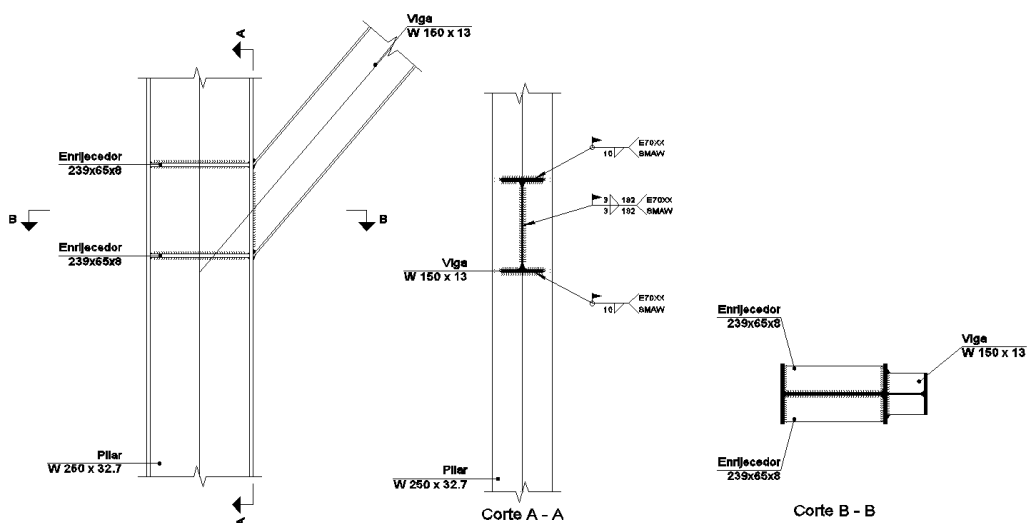
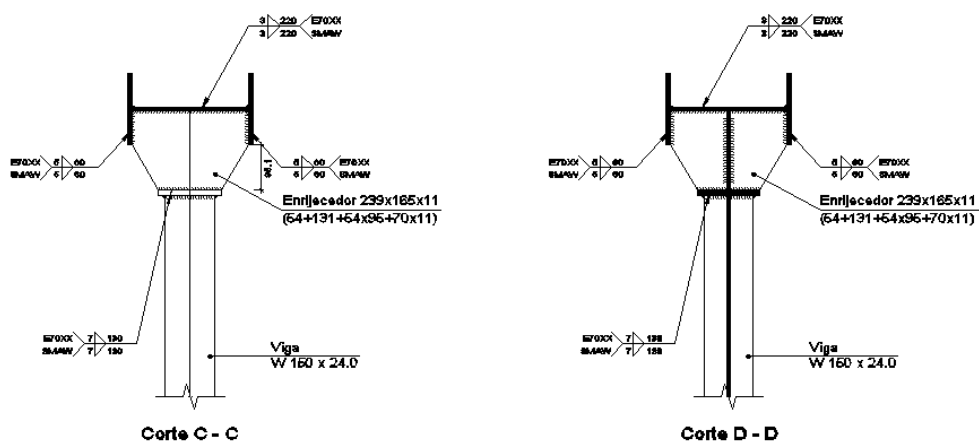
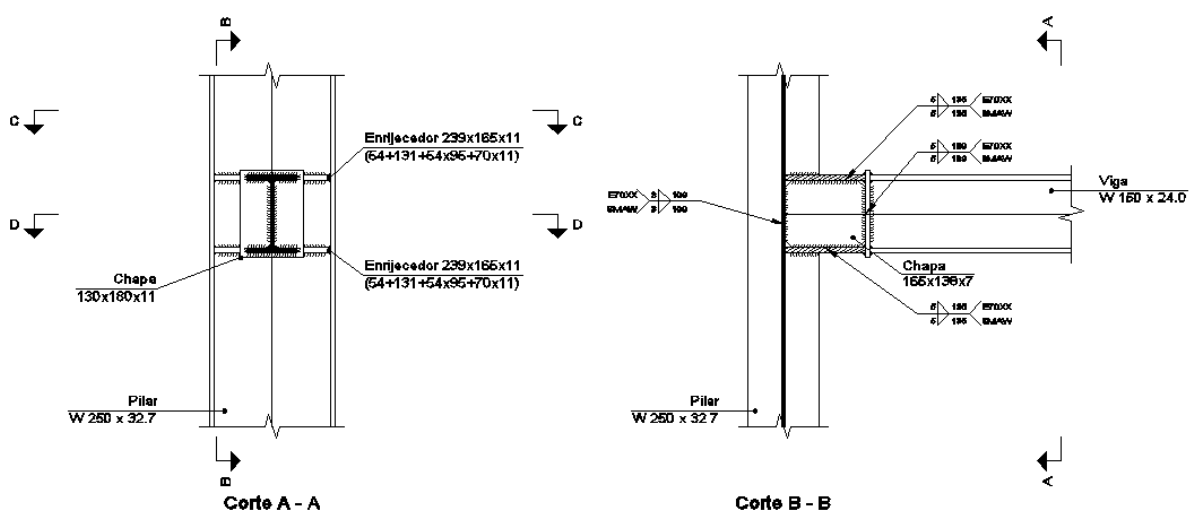
DETALHE TIP. – FIXAÇÃO DA TERÇA  
ESCALA 1:5

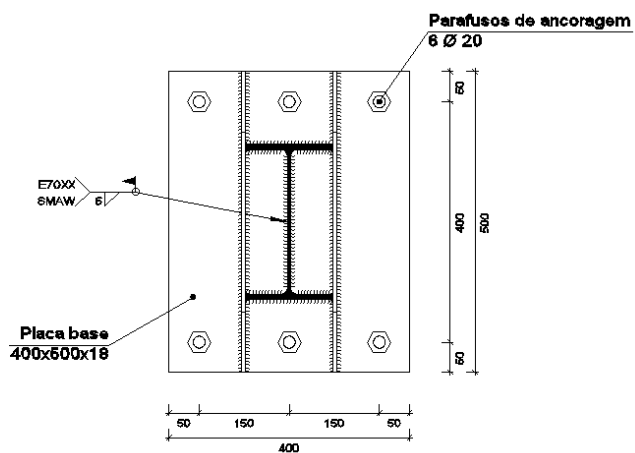
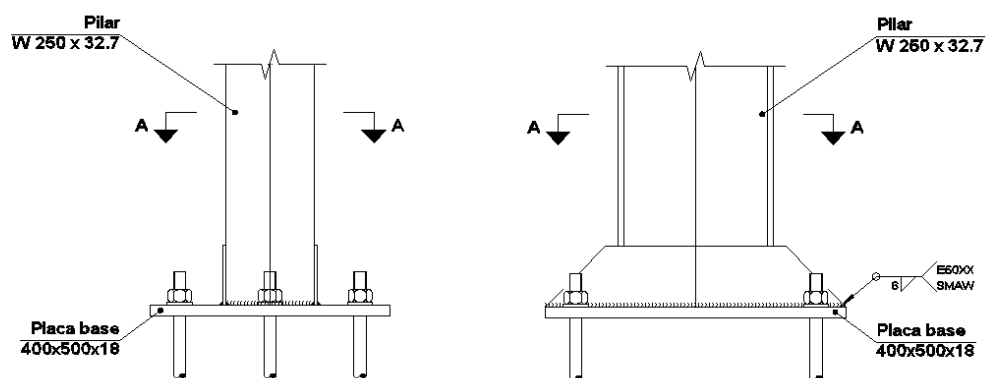


DETALHE – LIGAÇÃO CONTRAVENTAMENTOS  
SEM ESCALA



DETALHE – LIGAÇÃO DOS TIRANTES  
SEM ESCALA





Corte A - A