



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE BOM JESUS DA LAPA
ENGENHARIA MECÂNICA**

RAMOM DE NOVAES DIAS

**PROJETO E DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM GALPÃO METÁLICO
PARA A UFOB – CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE BOM JESUS DA LAPA**

BOM JESUS DA LAPA – BA

RAMOM DE NOVAES DIAS

**PROJETO E DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM GALPÃO METÁLICO
PARA A UFOB – CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE BOM JESUS DA LAPA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de **Engenharia Mecânica**, do **Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa**, da **Universidade Federal do Oeste da Bahia**, como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Mecânica**.

ORIENTADOR: PROF. ME. LUCAS ANINGER DE BARROS ROCHA

BOM JESUS DA LAPA – BA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

D541

Dias, Ramom de Novaes

Projeto e dimensionamento estrutural de um galpão metálico para a UFOB – Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa. / Ramom de Novaes Dias. – 2025.

75f.: il.

Orientador: Prof. Me. Lucas Aninger de Barros Rocha

TCC - Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA, 2025.

1. Estruturas de Aço. 2. Engenharia Mecânica. I. Rocha, Lucas Aninger de Barros. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA. III. Título.

CDD 624.1821

Biblioteca Universitária de Bom Jesus da Lapa – UFOB

**PROJETO E DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM GALPÃO METÁLICO
PARA A UFOB – CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE BOM JESUS DA LAPA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de **Engenharia Mecânica**, do **Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa**, da **Universidade Federal do Oeste da Bahia**, como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Mecânica**.

Bom Jesus da Lapa, 18 de Dezembro de 2025.

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou este Trabalho de Conclusão de Curso:

Prof. Me. Iuri Benedito da Silva Santos
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Prof. Me. Gessica Silva Amorim
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Prof. Me. Lucas Aninger de Barros Rocha
Universidade Federal do Oeste da Bahia

AGRADECIMENTOS

Expresso minha sincera gratidão a todos que tornaram a conclusão deste trabalho possível. Primeiramente, a Deus, pela força, discernimento e permissão para passar por todo esse processo conforme a sua vontade.

Ao meu orientador, Prof. Me. Lucas Aninger de Barros Rocha, pela orientação técnica e pelo apoio constante. Agradeço também aos membros da banca examinadora pela análise crítica e pelas valiosas sugestões.

Estendo minha gratidão aos meus orientadores de estágio, Vinícius Bispo e Joheriques Reis, pelo acompanhamento atento, pelo apoio contínuo e por todo o conhecimento compartilhado ao longo do processo. A orientação de ambos contribuiu significativamente para o meu crescimento, não apenas profissional, mas também pessoal, ajudando-me a me tornar um profissional mais preparado e ético.

Dedico esta conquista à minha família, em especial aos meus pais, Osvaldo da Silva Dias e Telma Pereira de Novaes Dias, por serem minha rocha estrutural em toda essa caminhada e por me incentivarem nos momentos de fraqueza, tornando o percurso mais leve. À minha namorada, Raquel Dourado Pimenta, pelo incentivo e apoio emocional durante boa parte desse processo.

Aos meus amigos e colegas, Higor de Alcântara Durães, Ryan Alves dos Santos e Samuel de Souza Santos, pela amizade e suporte mútuo ao longo de toda a trajetória. Agradeço também a Fatima Rodrigues Bispo, amiga que me proporcionou momentos de descontração e conselhos valiosos.

A todos, meu muito obrigado. Que a graça de Deus esteja em abundância na vida de todos.

"Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres, porque eu sou o teu Deus; eu te fortaleço, e te ajudo, e te sustento com a destra da minha justiça."

Isaías 41:10

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresenta o projeto e o dimensionamento de uma estrutura metálica para a cobertura de uma quadra poliesportiva no campus da Universidade Federal do Oeste da Bahia, em Bom Jesus da Lapa. O objetivo foi desenvolver uma estrutura segura e economicamente viável em aço A-36, conforme as normas ABNT NBR 8800, NBR 6120 e NBR 6123. As cargas sobre a estrutura, como as cargas permanentes e acidentais, foram determinadas segundo as normas técnicas, enquanto as cargas de vento foram obtidas por meio do software Visual Ventos. O dimensionamento foi realizado no Cype 3D, com verificação dos Estados Limites Último (ELU) e de Serviço (ELS), e o detalhamento técnico foi desenvolvido no SolidWorks. Os resultados indicam que a estrutura atende aos requisitos normativos de resistência e estabilidade, comprovando a eficiência do projeto.

Palavras-chave: Estruturas Metálicas; Cype 3D; Aço A-36; Normas Técnicas Brasileiras (ABNT); Quadra Poliesportiva.

ABSTRACT

This Final Course Project presents the design and structural sizing of a steel structure for the roof of a multi-sport court at the Federal University of Western Bahia, in Bom Jesus da Lapa. The objective was to develop a safe and economically viable structure using A-36 steel, in accordance with ABNT standards NBR 8800, NBR 6120, and NBR 6123. The loads acting on the structure, including permanent and accidental loads, were determined according to the technical standards, while the wind loads were obtained using the Visual Ventos software. The structural sizing was performed in Cype 3D, with verification of the Ultimate Limit State (ULS) and Serviceability Limit State (SLS), and the technical detailing was developed in SolidWorks. The results indicate that the structure meets the normative requirements for strength and stability, confirming the efficiency of the design.

Keywords: Steel Structures; Cype 3D; A-36 Steel; Brazilian Technical Standards (ABNT); Sports Court.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Componentes de um galpão com colunas em perfis I e tesouras.....	19
Figura 2 - Edifício industrial duas águas com cobertura de tesoura e colunas em perfil I.....	20
Figura 3 - Geminado com quatro meias-águas.....	20
Figura 4 - Geminado com meias-águas no sentido transversal.....	21
Figura 5 - Galpão do tipo Shed com vigas mestras treliçadas.....	21
Figura 6 - Galpão em arco.....	22
Figura 7- Tesoura (treliça).....	22
Figura 8 - Pórtico.....	23
Figura 9 - Contraventamento treliçado dispostas em X e K.....	24
Figura 10 - Contraventamento isolado.....	24
Figura 11 - Diagrama TENSÃO X DEFORMAÇÃO de aços dúcteis.....	26
Figura 12 - Isopleta da velocidade base.....	31
Figura 13 - Flambagem em colunas.....	37
Figura 14 - Comprimento de flambagem.....	37
Figura 15 - Planta baixa da UFOB Campus de Bom Jesus da Lapa.....	42
Figura 16: Dados gerais do Cype 3D.....	43
Figura 17 - Hipóteses adicionais.....	44
Figura 18 - Geometria do galpão.....	45
Figura 19 - Velocidade base.....	45
Figura 20 - Fator S1.....	46
Figura 21 - Fator S2.....	46
Figura 22 - Fator S3.....	47
Figura 23 - CPe das paredes.....	47
Figura 24 - Cpe do telhado.....	48
Figura 25 - Cpi.....	48
Figura 26 - Combinações das CPI's com ventos a 0° e 90°.....	49
Figura 27 - Esforços aplicado a edificação.....	49
Figura 28 - Dimensionamento da tesoura.....	50
Figura 29 - Aplicação das cargas permanentes na tesoura.....	51
Figura 30- Aplicação das cargas acidentais da tesoura.....	52

Figura 31 - Representação dos esforços resultantes mais críticos de carga de vento na edificação.....	52
Figura 32 - Aplicação de cargas de vento pontuais na tesoura treliçada a 90°.....	53
Figura 33 - Aplicação de cargas de vento pontuais na tesoura treliçada a 0°.....	53
Figura 34 – Definição de etiquetas do projeto.....	57
Figura 35 – Vista frontal da estrutura em software.	57
Figura 36 – Cargas aplicadas na estrutura.	58
Figura 37 – Galpão desenvolvido.....	58
Figura 38 – Perfis que constituem o galpão.	59
Figura 39 – Estrutura pós verificação.....	60
Figura 40 – Conformidade dos elementos estruturais.	60
Figura 41 - Deformação estrutural.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aço-carbono genérico de perfis laminados, soldados ou dobrados.....	27
Tabela 2- Perfis laminados.	27
Tabela 3 - Perfis dobrados.	28
Tabela 4 - Tubos estruturais.....	29
Tabela 5 - Coeficiente de redução.	34
Tabela 6 - Estimativas de cargas permanente.	55
Tabela 7 - Cargas permanentes calculada.	55
Tabela 8 - Cargas acidentais calculadas.....	56
Tabela 9 - Cargas de vento calculadas.	56
Tabela 10 - Grau de criticidade dos elementos estruturais.	61
Tabela 11 - Verificação das sapatas da estrutura.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ELU	Estado Limite Último
ELS	Estado Limite de Serviço
MLE	Método da largura efetiva
MSE	Método da seleção efetiva
NBR	Norma Brasileira

LISTA DE SÍMBOLOS

A: Área;

A_e – Área efetiva da seção transversal da barra;

A_e – Área líquida efetiva da seção transversal da barra;

A_g – Área bruta da seção transversal da barra;

A_n – Área líquida da barra;

a_1 e a_2 - Coeficientes de ponderação das resistências dos materiais;

b_m – Parâmetro meteorológico;

C_e - Coeficiente de pressão externa;

C_i - Coeficiente de pressão interna;

C_t – Coeficiente de redução da área líquida;

\cos – Cosseno;

cm – Centímetros;

CV – Carga variável;

E – Módulo de elasticidade do aço;

E_c – Estimativa de peso do contraventamento (kgf/m^2);

E_d – Estimativa de peso de um elemento diverso (kgf/m^2);

E_t – Estimativa de peso das telhas (kgf/m^2);

E_{tc} – Estimativa de peso das terças (kgf/m^2);

F : Força / Força do vento;

f_u – Resistência de ruptura do aço;

f_y – Resistência ao escoamento do aço;

F_r – Fator de rajada;

h – Largura da alma;

K – Parâmetro de flambagem;

kN – Quilonewton;

K_v – Coeficiente de flambagem local por cisalhamento;

L - Comprimento da haste / Comprimento destravado;

I – Momento de inercia da seção transversal;

m – Metro;

m^2 - Metro quadrado;

mm – Milímetros;

MPa – MegaPascal;

M_{5d} : Momento fletor solicitante de cálculo;

M_{Rd} : Momento fletor resistente de cálculo;

$N_{c,Rd}$ – Força axial de compressão resistente de cálculo;

$N_{c,Sd}$ - Força axial de compressão solicitante de cálculo;

N_e – Força axial de flambagem;

p – Distância entre os pórticos/ Expoente da lei potencial de variação;

q - Pressão dinâmica (N/m^2)

$S1$ - Fator topográfico;

$S2$ - Fator de rugosidade do terreno;

$S3$ - Fator estático;

t – Espessura da alma;

V_0 - Velocidade básica do vento (m/s);

V_k - Velocidade característica do vento(m/s);

V_{Rd} - Força cortante resistente de cálculo;

V_{Sd} - Força cortante solicitante de cálculo;

$W_{e,ef}$ – Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação a fibra extrema comprimida;

x_{dist} – Fator de redução do momento fletor resistente, associado a flambagem distorcional;

X – Fator de redução associado a resistência a compressão;

γ_{a1} e γ_{a2} – Coeficientes de ponderação das resistências dos materiais;

Z – Altura;

λ_{dist} – Índice de esbeltez reduzido referente a flambagem distorcional;

λ_0 – Índice de esbeltez reduzido;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVO GERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 COMPONENTES DE GALPÕES METÁLICOS.....	19
2.1.1 Arquitetura estrutural.....	20
2.1.2 Tesouras.....	22
2.1.3 Pórticos.....	23
2.1.4 Terças.....	23
2.1.5 Contraventamento	23
2.2 AÇO ESTRUTURAL	25
2.2.1 Perfis Metálicos.....	27
2.3 CARGA DE VENTO	29
2.4 PEÇAS TRACIONADAS	32
2.5 PEÇAS COMPRIMIDAS.....	34
2.6 FLAMBAGEM.....	36
2.7 MOMENTO FLETOR.....	38
2.7.1 Início de escoamento da seção	38
2.7.2 Flambagem lateral com torção	39
2.7.3 Flambagem distorcional	39
2.7.3 Força cortante.....	40
2.7.4 Momento fletor e força cortante combinada	41
3 METODOLOGIA.....	42
3.1 CARGA DE VENTO	44
3.2 DIMENSIONAMENTO DA TESOURA	50
3.2.1 Carga permanente (CP)	50

3.2.2 Carga accidental (SC)	51
3.2.3 Cargas pontuais de vento.....	52
3.3 DESLOCAMENTO MÁXIMO.....	53
4. RESULTADOS.....	55
4.1 CARGAS CALCULADAS	55
4.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL EM <i>CYPE 3D</i>	56
4.3 RESISTÊNCIA DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS	60
4.4 DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS	61
4.5 DEFORMAÇÃO ESTRUTURAL	64
5. CONCLUSÃO.....	66
REFÊRENCIAS	68
ANEXO	

1. INTRODUÇÃO

As estruturas metálicas começaram a ganhar destaque em aplicações industriais no final do século XIX, impulsionadas pelo processo de fabricação Bessemer, desenvolvido por Henry Bessemer. Essa inovação transformou a produção do aço, tornando-o mais acessível e viabilizando seu uso em larga escala. No Brasil, o uso dessas estruturas teve início por volta de 1812, entretanto, foi com os avanços na fabricação de perfis metálicos em grande escala que se tornou possível a implantação das primeiras siderúrgicas no país (PINHEIRO, 2005).

Em construções convencionais, observa-se o uso predominante de madeira e concreto armado, materiais que proporcionam edificações robusta, porém que não atende às demandas de inovação, racionalização construtiva e sustentabilidade do setor da construção civil. Em contrapartida, a utilização de aços laminados tem se destacado como uma alternativa moderna e eficiente, promovendo impactos positivos tanto no aspecto socioambiental quanto no econômico. Tal realidade se deve as vantagens inerentes ao aço, como alta resistência a esforços de tração, compressão, cisalhamento e momento fletor, permitindo seu uso em grandes vãos e em arquiteturas de alta complexidade.

Além disso, os perfis de aço laminado possuem, em média, massa específica de 7.850 kg/m³, resultando em um peso próprio inferior ao de lajes concretadas e estruturas de madeira. Ademais, apresentam módulo de elasticidade da ordem de 200 GPa, conferindo uma ampla região de comportamento elástico. Isso garante que, mesmo sob cargas consideráveis, retornem integralmente à sua configuração original após a descarga, desde que solicitadas dentro do limite de elasticidade (PINHEIRO, 2005).

Tendo em vista as amplas vantagens do uso de perfis metálicos em construções de estruturas evidenciam a importância da elaboração de um projeto estrutural acompanhado por um engenheiro mecânico. Essas estruturas são construídas por diversos elementos com funções e comportamentos distintos, o que exige uma análise criteriosa. Para garantir o desempenho adequado do conjunto estrutural, torna-se fundamental o estudo minucioso das deformações e da estabilidade do conjunto (HIBBELER, 2009).

Destaca-se, ainda, a influência do vento, um fenômeno natural de elevada complexidade e, muitas vezes, imprevisível. Sua força pode provocar situações extremas, como desastres naturais, exercendo intensas cargas de arrasto que comprometem a estabilidade da estrutura, podendo, em casos críticos, levá-la ao colapso. Por isso, é fundamental que o profissional

responsável avalie cuidadosamente todas as possíveis solicitações atuantes na estrutura, garantindo um dimensionamento seguro e eficiente.

Conforme Azevedo (2023), para o desenvolvimento e a execução de projetos de estruturas metálicas, é indispensável a utilização das Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR), aprovadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com destaque para a NBR 6120, que trata das ações para o cálculo de estruturas de edificações; a NBR 6123, referente às forças devidas à ação do vento; e a NBR 8800, que estabelece os critérios para o projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto.

Nesse contexto, torna-se necessária a elaboração de um projeto estrutural dimensionado de forma segura e eficiente para a cobertura da quadra poliesportiva da Universidade Federal do Oeste da Bahia, localizada no município de Bom Jesus da Lapa. O projeto visa proporcionar conforto térmico aos usuários, por meio do sombreamento adequado da estrutura, considerando a elevada incidência solar na região, além de oferecer à comunidade acadêmica um ambiente apropriado para o desenvolvimento de atividades esportivas e extracurriculares.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver o projeto e o dimensionamento estrutural da cobertura de um galpão metálico para a Universidade Federal do Oeste da Bahia, localizada no município de Bom Jesus da Lapa – BA, utilizando o software Cype 3D, em conformidade com as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Determinar as medidas da área útil da quadra poliesportiva;
- Determinar melhor arquitetura das colunas e tesouras da estrutura metálica;
- Realizar o levantamento das cargas permanentes, acidentais, variáveis e sobrecargas submetidas a estrutura metálica com auxílio do *software* Visual Ventos;
- Gerar a arquitetura e aplicar as cargas previamente calculadas no *software* Cype 3D, gerando e analisando resultados das simulações, selecionando os melhores materiais;
- Desenho técnico detalhado em SolidWorks do projeto com lista de matérias para execução do projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O dimensionamento de estruturas metálicas consiste em um processo criterioso que envolve a análise de diversos elementos estruturais submetidos a diferentes tipos de carregamentos. Galpões e edifícios estruturais são, em sua maioria, construídos em aço e, frequentemente, projetados com apenas um pavimento, o que demanda atenção especial durante as etapas de concepção e dimensionamento. Dessa forma, torna-se fundamental a correta definição da geometria estrutural e das solicitações de estado limite que a estrutura deverá suportar ao longo de sua vida útil.

2.1 COMPONENTES DE GALPÕES METÁLICOS

De acordo com o Instituto Aço Brasil (2018), os galpões metálicos são edificações estruturadas em aço, geralmente constituídas por um único pavimento, formadas por sistemas estruturais compostos por pórticos espaçados, com cobertura superior apoiada em terças, vigas, tesouras e treliças. Essas construções apresentam grandes áreas cobertas e são amplamente utilizadas para fins comerciais, industriais e agrícolas.

A Figura 1 apresenta os principais elementos de uma estrutura metálica de duas águas, destacando-se a importância do sistema de contraventamento, responsável por conferir maior rigidez e estabilidade ao conjunto estrutural. Esses elementos são normalmente instalados em vigas, tesouras e terças, garantindo o adequado comportamento da estrutura frente as ações horizontais.

Figura 1 - Componentes de um galpão com colunas em perfis I e tesouras.

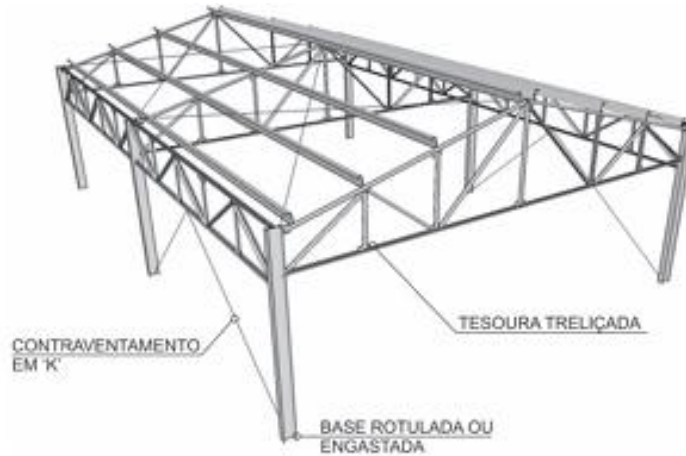


Fonte: Instituto Aço Brasil (2018).

2.1.1 Arquitetura estrutural

Ao se tratar de edificações industriais denominadas galpões, trata-se de espaços horizontais que necessitam ser protegidos, havendo diversas alternativas para isso. Segundo a Instituição Aço Brasil (2018), o levantamento das dimensões volumétricas da edificação (altura, largura e comprimento) constitui uma etapa preliminar essencial para o desenvolvimento do projeto estrutural. Com essas dimensões definidas, é possível determinar a arquitetura adequada da estrutura para melhor utilização do espaço disponível, considerando as soluções arquitetônicas presentes no mercado.

Figura 2 - Edifício industrial duas águas com cobertura de tesoura e colunas em perfil I.



Fonte: Instituto Aço Brasil (2018).

O edifício de duas águas apresentado na Figura 2 apresenta uma arquitetura convencional e simétrica, constituindo uma estrutura simples e econômica. Além disso, apresentam uma estrutura leve, boa eficiência no escoamento de águas pluviais e facilidade construtiva, sendo amplamente utilizado em galpões de pequeno e médio porte.

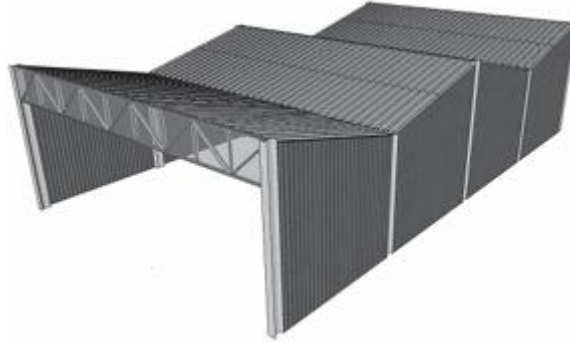
Figura 3 - Geminado com quatro meias-águas.



Fonte: Instituto Aço Brasil (2018).

A estrutura geminada apresentada na Figura 3 é composta por dois galpões interligados lateralmente, formando um conjunto com quatro águas, no qual duas delas se encontram na região central. Esse sistema resulta em uma solução estrutural contínua e compacta, frequentemente empregada em aplicações industriais.

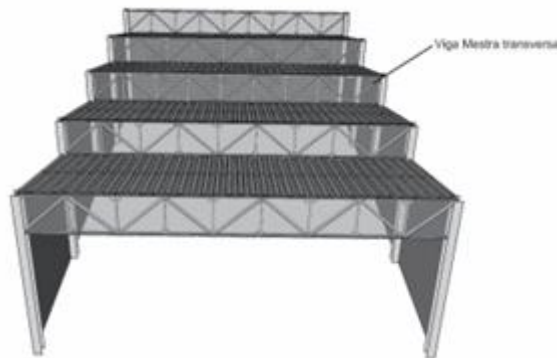
Figura 4 - Geminado com meias-águas no sentido transversal.



Fonte: Instituto Aço Brasil (2018).

De forma semelhante, os galpões geminados no sentido transversal, ilustrados na Figura 4, são interligados ao longo de sua largura de entrada, configurando-se como uma alternativa viável para edificações industriais que demandam ampliação modular.

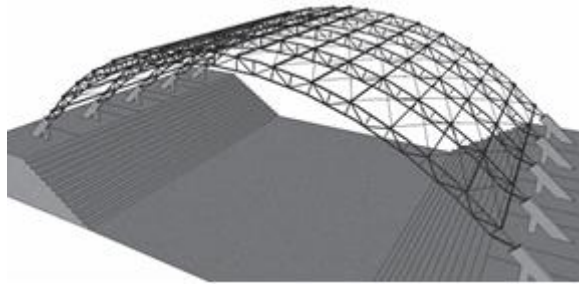
Figura 5 - Galpão do tipo Shed com vigas mestras treliçadas.



Fonte: Instituto Aço Brasil (2018).

Os galpões do tipo Shed, conforme mostrado na Figura 5, utilizam cobertura inclinada composta por módulos serrilhados em formato de zigue-zague. Essa configuração permite que uma das faces da cobertura apresente maior altura, favorecendo a entrada de iluminação natural e a ventilação do ambiente interno, sendo bastante aplicada em fábricas e oficinas.

Figura 6 - Galpão em arco.



Fonte: Instituto Aço Brasil (2018).

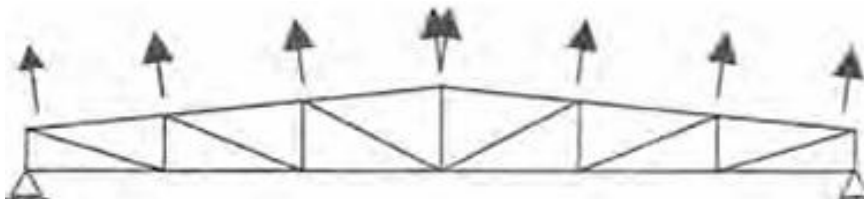
Por fim, os galpões de formato curvo ou em arco, como o da Figura 6, são produzidos com perfis metálicos arqueados ou dobrados, permitindo a cobertura de grandes vãos sem a necessidade de colunas internas, sendo denominados autoportantes, tornando-se ideais para aplicações em hangares, ginásios poliesportivos e arenas.

2.1.2 Tesouras

As tesouras, também denominadas treliças, constituem sistemas estruturais amplamente utilizados em coberturas de edificações industriais. Em modelos teóricos de análise estrutural, os nós das treliças são considerados articulados; entretanto, nas estruturas reais, esses nós apresentam comportamento parcialmente rígido, introduzindo momentos fletores nas barras. Contudo, como essas barras geralmente possuem elevada esbelteza, as tensões de flexão tendem a ser pouco significativas (PFEIL, 2009).

As estruturas metálicas treliçadas, como a da Figura 7, são compostas por banzos, montantes e diagonais. O banzo corresponde às barras superiores e inferiores que delimitam a treliça, os montantes são os elementos verticais que conectam os banzos, e as diagonais garantem a estabilidade da treliça que trabalham em tração e compressão simples.

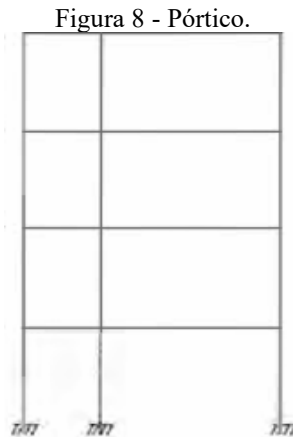
Figura 7- Tesoura (treliça).



Fonte: PFEIL (2009).

2.1.3 Pórticos

Os pórticos são sistemas estruturais formados pela associação de barras retilíneas ou curvilíneas, interligadas por conexões rígidas. De modo geral, consistem em um conjunto de pilares e vigas responsáveis por garantir a estabilidade global da edificação, além de suportar os esforços provenientes das tesouras e demais elementos estruturais da cobertura.



Fonte: PFEIL (2009).

2.1.4 Terças

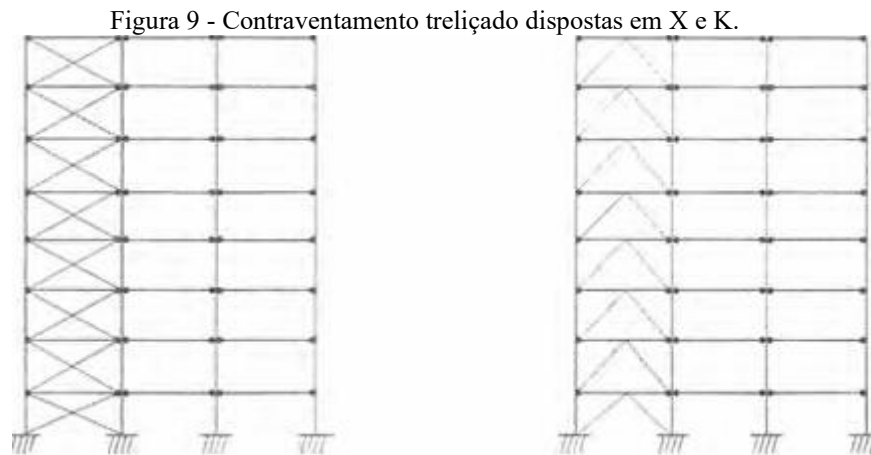
Segundo Pfeil (2009), as terças são vigas longitudinais dispostas nos planos da cobertura e destinadas a transferir as cargas do peso do telhamento, além das pressões e sucções decorrentes do vento, para as treliças. As cargas de vento produzem flexão reta em torno do eixo de maior inércia da terça, enquanto as cargas gravitacionais produzem flexão oblíqua no mesmo. Ademais, o espaçamento entre as terças é definido de acordo com o vão das chapas que compõem o telhamento, como pode ser visto na Figura 1.

2.1.5 Contraventamento

Antes de tudo, o esquema estrutural das edificações compostas por associações de pórticos depende do tipo de ligação entre vigas e pilares. São essas ligações que proporcionam um nível de rigidez vertical e horizontal à estrutura, admitindo pequenas flexões.

Estruturas com ligações viga-pilar rígidas apresentam capacidade adequada para resistir às ações verticais e horizontais. Em contrapartida, estruturas com ligações flexíveis são estáveis apenas sob a ação de cargas verticais, tornando indispensável a adoção de sistemas de

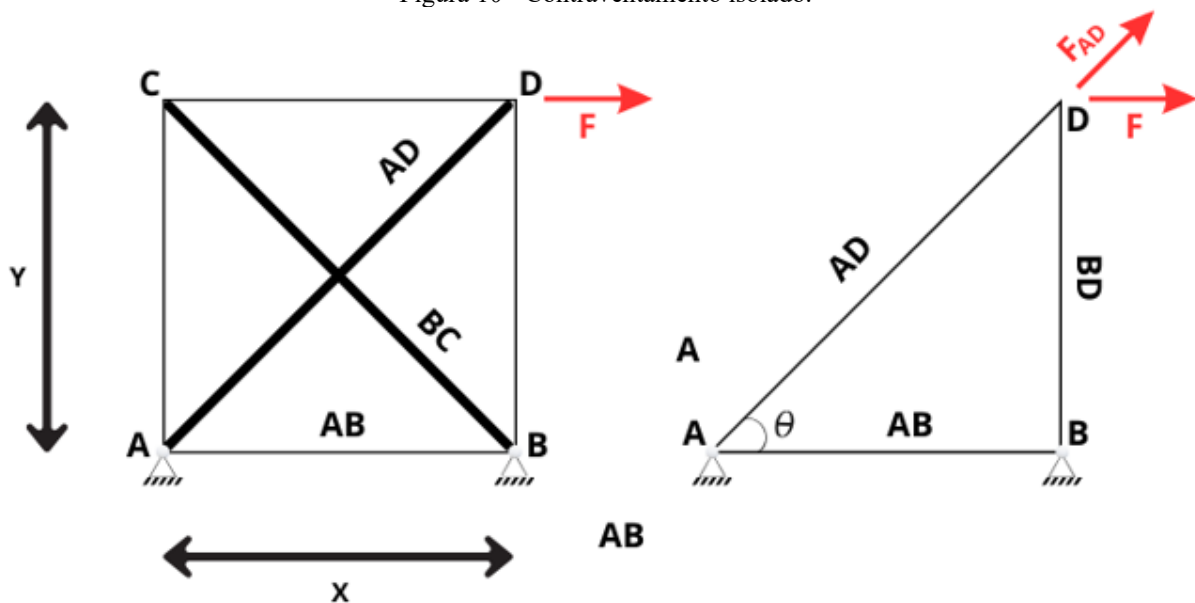
contraventamento. Esses sistemas têm a função de redistribuir as ações horizontais para as fundações de todos os pórticos, garantindo a estabilidade global da edificação. Entretanto, a utilização de contraventamentos treliçados pode gerar restrições do ponto de vista arquitetônico, limitando a instalação de aberturas, como portas e janelas, conforme destacado por Pfeil (2009).



Fonte: PFEIL (2009).

Além disso, o contraventamento também pode ser aplicado no plano da cobertura, proporcionando estabilidade lateral ao banzo superior das treliças e reduzindo os efeitos da flambagem. De acordo com a ABNT NBR 8800 (2024), os elementos de contraventamento podem ser analisados como elementos isolados, permitindo a avaliação independente dos carregamentos atuantes.

Figura 10 - Contraventamento isolado.



Fonte: Autor (2025).

Na Figura 10 é apresentado um sistema de contraventamento isolado, no qual os esforços de compressão do tirante BC são desprezados, pois não contribuem para a rigidez do sistema — ele simplesmente irá flambar, impossibilitando a transmissão de força e assumindo-se, portanto, contribuição nula no sistema. Removendo os componentes AC, CD e BC, é possível determinar o esforço que o tirante AD deve suportar, por meio da decomposição da força aplicada, determinando a carga de tração solicitada. Esse procedimento é aplicável em todos os planos de instalação (horizontal e vertical).

$$\sum F_x = 0$$

$$F = F_{AD} \times \cos \theta$$

$$F_{AD} = \frac{F}{\cos \theta} \quad (1)$$

Onde:

$\cos \theta$ – Cosseno de teta;

F_{AD} – Força diagonal de AD;

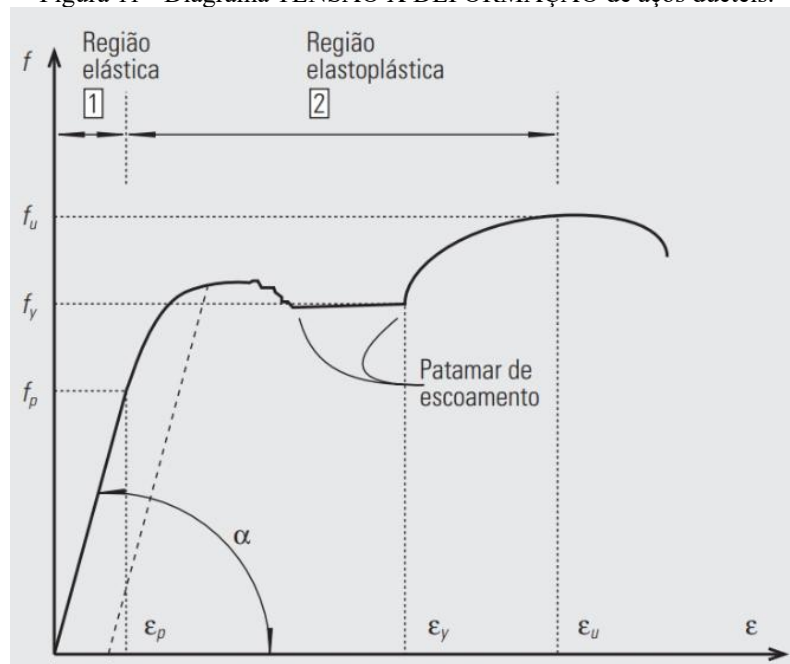
F – Força aplicada a estrutura.

2.2 AÇO ESTRUTURAL

A versatilidade da construção civil no Brasil vem sendo ampliada pela crescente utilização de perfis laminados em diversas etapas da obra. Isso ocorre devido ao modo como os aços estruturais são fabricados, garantindo características mecânicas e químicas desejáveis no produto final. Dessa forma, a definição do tipo de aço a ser empregado na edificação é estabelecida durante o dimensionamento dos elementos que compõem a estrutura.

A Figura 11 apresenta o diagrama tensão–deformação típico dos aços dúcteis, obtido a partir do ensaio de tração realizado em corpos de prova padronizados. Esse diagrama evidencia a relação entre a tensão aplicada e a deformação do material, permitindo a identificação de propriedades fundamentais para o comportamento estrutural do aço.

Figura 11 - Diagrama TENSÃO X DEFORMAÇÃO de aços dúcteis.



Fonte: PINHEIRO (2005).

Onde:

f – Tensão do material;

f_u – Tensão de resistência;

f_y – Tensão de escoamento;

f_p – Tensão limite de proporcionalidade;

ε – Deformação específica;

ε_u – Deformação específica quando ocorre a última tensão;

ε_y – Deformação específica limite quando ocorre a tensão de escoamento;

ε_p – Deformação específica quando ocorre a tensão de proporcionalidade;

α - Ângulo de inclinação da reta da região elástica.

Catalogando propriedades essenciais para aços estruturais, como:

- Ductilidade: capacidade do material se deformar sob ação de cargas;
- Fragilidade: característica de elementos frágeis em baixas temperaturas ambientes;
- Resiliência: capacidade do material absorver energia mecânica em regime elástico

- Tenacidade: capacidade do material absorver energia mecânica com deformações elásticas e plásticas.
- Dureza: resistência ao risco ou abrasão;
- Fadiga: resistência a carregamento cíclico.

Dessa forma, os aços estruturais são classificados e têm suas propriedades mecânicas devidamente especificadas. Destaca-se o aço ASTM A36, amplamente empregado em perfis laminados, soldados ou dobrados, sendo uma opção versátil e adequada para a concepção de galpões industriais (PINHEIRO, 2005). Na Tabela 1, apresentam-se os principais requisitos e características do aço A36.

Tabela 1 - Aço-carbono genérico de perfis laminados, soldados ou dobrados.

Classificação	Denominação	Produto	Grupo de Perfil	f_y Mpa	f_u Mpa
Aços-carbonos	A-36	Perfis	1, 2 e 3	250	400 a 550
		Chapas e barras	$t \leq 200\text{mm}$		

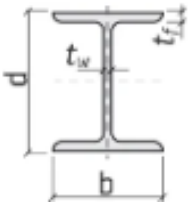
Fonte: ABNT NBR 8800 (2024).

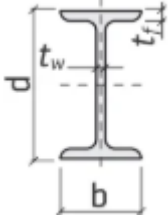
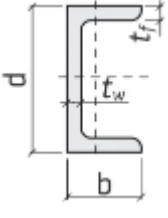
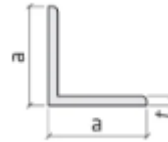
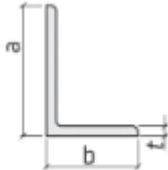
2.2.1 Perfis Metálicos

Existem diversos perfis metálicos empregados no desenvolvimento dos diferentes tipos de estruturas em aço. Para garantir a conformidade normativa e o atendimento aos estados limites desses elementos, destacam-se as normas ABNT NBR 14762 e ABNT NBR 6355. A NBR 14762 trata do dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio, enquanto a NBR 6355 estabelece a padronização dos perfis estruturais de aço formados a frio.

Diante disso as tabelas a seguir apresentara os principais perfis metálicos de aço A-36 utilizados nas construções de estruturas metálicas:

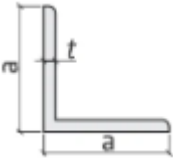
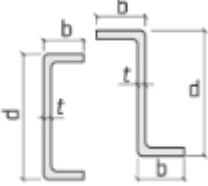
Tabela 2- Perfis laminados.

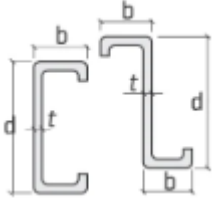
	TIPO DE MATERIAL	DIMENSÕES (mm)	DESIGNAÇÃO (exemplo)
	Perfil H	$d = W150$ $a 310$	H de $150 \times 37,1$ Perfil H com $d = 162$ mm e $37,10$ kg/m

	Perfil I	d = 76 a 152 d = W150 a 610	W de 150 × 18,0 Perfil I com d = 153 mm e 18,0 kg/m
	Perfil U	d = 76 a 381	U de 203 × 17,1 Perfil U com d = 203 mm e 17,10 kg/m
	Cantoneira de abas iguais	a = 25 a 203 t = 3 a 25	L de 51 × 6,4 Cantoneira de abas iguais com a = 51 mm e t = 6,4 mm
	Cantoneira de abas desiguais	a × b = 89 × 64 a 203 × 102 t = 6 a 25	L de 102 × 76 × 7,9 Cantoneira de abas desiguais com a = 102 mm, B = 76 mm e t = 7,9 mm

Fonte: Bellei (2025).

Tabela 3 - Perfis dobrados.

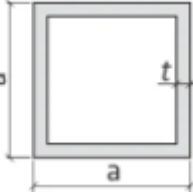
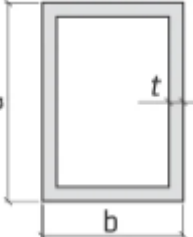

TIPO	DIMENSÕES (mm)	DESIGNAÇÃO (exemplo)
	a = 50 a 100 t = 1,5 a 5,0	a × t L de 50 × 2,25
	d = 50 a 200 t = 1,5 a 5,0	d × b × t U de 100 × 50 × 3,0

	$d = 50 \text{ a } 300$ $t = 1,5 \text{ a } 5,0$	$d \times b \times c \times t$ $Z \text{ de } 100 \times 50 \times 20 \times 2,0$
---	---	--

Fonte: Bellei (2025).

Além dos perfis, é utilizado também tubos metálicos em estruturas metálicas, tubos os quais são classificados em:

Tabela 4 - Tubos estruturais.

TUBOS	SEM COSTURAS		COM COSTURA	
TIPO	DIMENSÕES (mm)	DESIGNAÇÃO (exemplo)	DIMENSÕES (mm)	DESIGNAÇÃO (exemplo)
	$a \times a$ de 40×40 a 300×300 $t = 2,9 \text{ a } 16$	$a \times a \times t$ $40 \times 40 \times 2,9$	$a \times a$ de 16×16 a 140×140 $t = 1,00 \text{ a } 7,11$	$a \times a \times t$ $140 \times 140 \times 7,11$
	$a \times b$ de 50×30 a 300×200 $t = 2,9 \text{ a } 16$	$a \times b \times t$ $50 \times 30 \times 2,9$	$a \times b$ de 25×19 a 200×80 $t = 1,00 \text{ a } 7,11$	$a \times b \times t$ $25 \times 19 \times 3,0$
	$D = \text{de } 33,4 \text{ a } 355,6$ $t = 3,4 \text{ a } 15,9$	$D \times t$ $60,3 \times 3,4$	$D = 9 \text{ a } 254$ $t = 1,00 \text{ a } 7,11$	$D \times t$ $150 \times 5,00$

Fonte: Bellei (2025).

2.3 CARGA DE VENTO

Os ventos constituem um dos principais agentes capazes de conduzir uma estrutura ao colapso. Por isso, a estimativa precisa das cargas e pressões induzidas pelo vento é essencial para prevenir falhas e garantir o desempenho adequado da edificação. A norma responsável por orientar o procedimento de determinação dessas ações é a ABNT NBR 6123 (ABNT, 2023). Para uma correta aplicação da metodologia, algumas definições iniciais são fundamentais para o entendimento do processo de cálculo, tais como:

- Barlavento: Região de onde sopra o vento, em relação a edificação;

- Reticulado: Toda estrutura constituída por barras retas;
- Sobrepressão: Pressão efetiva acima da pressão atmosférica de referência;
- Sotavento: Região oposta àquela de onde sopra o vento, em relação a edificação;
- Sucção: Pressão efetiva abaixo da pressão atmosférica de referência (sinal negativo).

A princípio, a determinação da força estática baseia-se no produto da velocidade base de vento V_0 , e os fatores agravantes $S1, S2$ e $S3$, resultando na velocidade característica do vento, ficando:

$$V_k = V_0 * S1 * S2 * S3 \quad (2)$$

Onde:

V_k – Velocidade característica do vento;

V_0 – Velocidade base do vento;

$S1$ – Fator topográfico;

$S2$ – Fator de rugosidade do terreno;

$S3$ – Fator estatístico.

A velocidade básica do vento é determinada por meio do gráfico de isopletras do Brasil, apresentado na Figura 12. O fator topográfico $S1$ leva em consideração as variações do relevo do terreno, assumindo valor igual a 1 para terrenos minimamente acidentados, ou valores inferiores a 1 para terrenos excessivamente acidentados.

Já o fator de rugosidade do terreno $S2$, segundo a NBR 6123 (ABNT, 2023), considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do solo e das dimensões da edificação. Dessa forma, o terreno é classificado em cinco categorias apresentadas na norma. Posteriormente, em função da geometria da edificação, deve-se enquadrá-la em uma classe definida no item 5.3.2 da referida norma, determinando-se o fator $S2$ pela seguinte equação:

$$S_2 = b_m * F_r * (z / 10)^p \quad (3)$$

Onde:

b_m – Parâmetro meteorológico.

F_r – Fator de rajada;

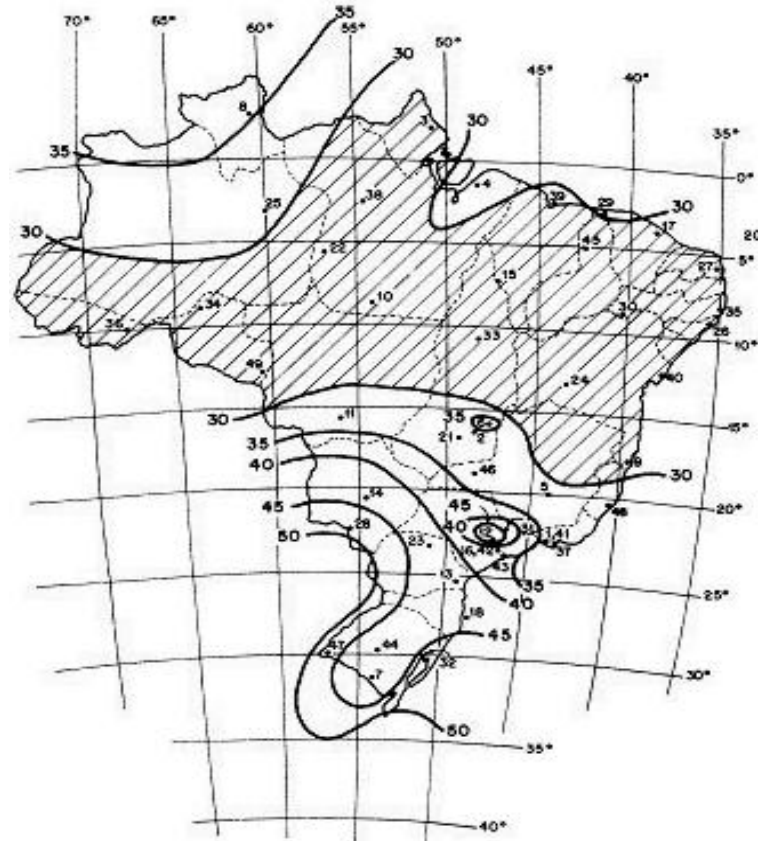
Z – Altura;

p – Expoente da lei potencial de variação.

As variáveis B , F_r , z e P são definidas com base na categoria e na classe exigidas para o projeto, conforme os valores apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3 do item 5.3.3 da NBR 6123:2023.

Por fim, o fator estatístico S_3 é considerado como um parâmetro de segurança da edificação para um período de 50 anos, levando em conta a finalidade da construção. Esse fator pode ser interpretado como o coeficiente de segurança global do projeto e é apresentado na Tabela 4 do item 5.4 da ABNT NBR 6123:2023.

Figura 12 - Isopleta da velocidade base.



Fonte: NBR 6123 (ABNT, 2023)

Dessa forma, a velocidade característica do vento, permite determinar a pressão dinâmica pela seguinte expressão:

$$q = 0,613 * V_k^2 \quad (4)$$

Onde:

q : Pressão dinâmica.

V_k – Velocidade característica do vento;

Logo, a força do vento sobre um elemento plano de uma edificação de área A é dada pela seguinte equação:

$$F = (C_e * C_i) * q * A \quad (5)$$

Onde:

F – Força do vento;

C_e – Coeficiente de forma externa;

C_i – Coeficiente de forma interna;

A – Área.

Ademais, os coeficientes de pressão interna e externa (C_i e C_e) são determinados exclusivamente pelo formato da edificação. O coeficiente interno é definido pelas aberturas presentes na construção, que permitem a entrada e saída de ar, gerando sobrepressão e sucção, respectivamente. Para a determinação dos coeficientes interno e externo, a NBR 6123:2023 (item 6.1.1) apresenta diversas combinações e condições possíveis, de acordo com a geometria da edificação.

2.4 PEÇAS TRACIONADAS

Segundo Pfeil (2009), as peças tracionadas são elementos estruturais submetidos predominantemente à ação de forças axiais de tração. Esses elementos são amplamente empregados em estruturas metálicas, apresentando diversas configurações, tais como:

- Tirantes ou pendurais;
- Contraventamentos de torres
- Travejamentos de vigas ou colunas, geralmente com dois tirantes em X;
- Tirantes de viga armada;
- Barras tracionadas de treliças.

Peças tracionadas podem ser constituídas por barras de seção simples ou composta, como barras redondas, chatas, perfis simples (L, U, I) ou perfis laminados compostos.

Conforme a ABNT NBR 8800:2024, o dimensionamento de barras prismáticas submetidas à força axial de tração deve atender às seguintes condições:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd} \quad (6)$$

Onde:

$N_{t,Sd}$ - Força axial de tração solicitante de cálculo;

$N_{t,Rd}$ - Força axial de tração resistente de cálculo.

A força axial de tração resistente de cálculo corresponde ao menor valor entre os resultados obtidos, exceto no caso de barras redondas com extremidades rosqueadas e barras conectadas por pinos. Nesses casos, considera-se o estado limite último de escoamento da seção bruta e de ruptura da seção líquida, conforme as equações apresentadas a seguir:

a) Escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (7)$$

b) Ruptura da seção líquida:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad (8)$$

Onde:

A_g - Área bruta da seção transversal da barra

A_e - Área líquida efetiva da seção transversal da barra;

f_y - Resistência ao escoamento do aço;

f_u - Resistência do aço a ruptura;

γ_{a1} e γ_{a2} - Coeficientes de ponderação das resistências dos materiais.

A determinação dos valores do coeficiente de ponderação das resistências dos materiais, é dada pela conferência da tabela 3, do item 4.9.2.3 da ABNT NBR 8800 (2024). Já a área líquida efetiva, A_e , é determinada pela seguinte equação:

$$A_e = C_t A_n \quad (9)$$

Onde:

A_n – área líquida da barra;

C_t – Coeficiente de redução da área líquida.

O coeficiente de redução da área líquida segundo Pinheiro (2005), é dada pela seguinte tabela.

Tabela 5 - Coeficiente de redução.	
C_t	Características
1,0	Quando a transmissão de esforços é feita por todos os elementos da peça
0,9	Para perfis I e H onde $bf \geq (2/3)d$ e perfis T cortados desses perfis, com ligações nas mesas, tendo, no caso de ligações parafusadas, o número de parafusos ≥ 3 por linha de furação na direção da solicitação. Onde bf é a largura da mesa e d a altura do perfil.
0,85	Para perfis I e H em que $bdf < (2/3)d$, perfis T cortados desses perfis e, todos os demais perfis, incluindo barras compostas, tendo, no caso de ligações parafusadas, o número de parafusos ≥ 3 por linha de furação na direção da solicitação.
0,75	Todos os casos quando houver apenas 2 parafusos por linha de furação na direção da solicitação.

Fonte: Pinheiro (2005).

2.5 PEÇAS COMPRIMIDAS

De acordo com Pfeil (2009), peças comprimidas axialmente são comuns em componentes de treliças, sistemas de travamento e em pilares de estruturas contraventadas com ligações rotuladas. A compressão é uma ação que tende a acentuar as imperfeições geométricas iniciais existentes no perfil.

Segundo a ABNT NBR 8800 (2024), as barras prismáticas submetidas a esforços axiais de compressão devem atender à seguinte condição para um dimensionamento adequado, conforme expresso por:

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (10)$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ - Força axial de compressão solicitante de cálculo;

$N_{c,Rd}$ – Força axial de compressão resistente de cálculo.

Na qual a força axial de compressão resistente de cálculo é dada por:

$$N_{t,Rd} = \frac{X A_e f_y}{\gamma_{a1}} \quad (11)$$

Onde:

X – Fator de redução associado a resistência a compressão;

A_e – Area efetiva da seção transversal da barra.

Na qual, o fator de redução associado a resistência a compressão, é calculado pelas seguintes equações:

- Para $\lambda_0 \leq 1,5$:

$$x = 0,658 \lambda_0^2 \quad (12)$$

- Para $\lambda_0 > 1,5$:

$$x = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \quad (13)$$

Onde:

λ_0 – Índice de esbeltez reduzido

Índice o qual é calculado pela seguinte equação:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A g f_y}{N_e}} \quad (14)$$

Onde:

N_e – Força axial de flambagem

Os elementos das seções transversais, exceto os tubos circulares, são classificados conforme o tipo de apoio de suas bordas, ambas apoiadas ou uma borda livre. A área efetiva da seção pode ser igual à área bruta quando a razão entre largura e espessura (b/t) de cada componente estiver dentro dos limites estabelecidos na Tabela 4 do item 5.2.4.2 da ABNT NBR 8800 (2024). Caso algum componente ultrapasse esse limite, torna-se necessário calcular a largura efetiva de cada parte para, então, determinar a área efetiva da seção.

2.6 FLAMBAGEM

A flambagem é um fenômeno de instabilidade caracterizado pelo surgimento de deslocamentos laterais em elementos comprimidos, ocorrendo antes que o material atinja sua resistência máxima. Esse comportamento é especialmente relevante em peças esbeltas, nas quais pequenas imperfeições geométricas podem resultar em perda significativa de capacidade resistente (PFEIL, 2009).

Considerando:

- Coluna isenta de imperfeições geométricas e tensões residuais;
- Material de comportamento elástico linear;
- Carga perfeitamente centradas

A força axial de flambagem (N_e) de uma barra com seção transversal simétrica, conforme a ABNT NBR 8800 (2024) é dada pela seguinte equação:

$$N_e = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (15)$$

Onde:

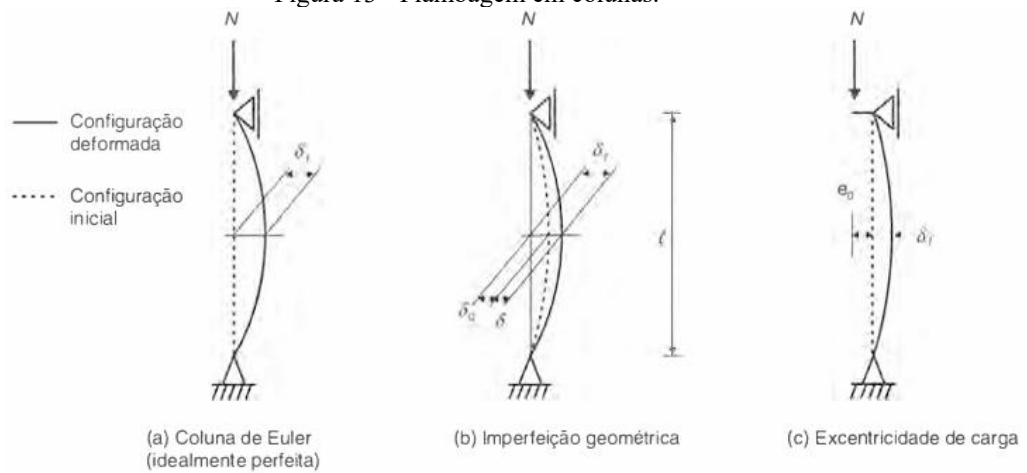
L – Comprimento destravado.

I – Momento de inercia da seção transversal;

E – Modulo de elasticidade do aço;

Caso a carga ultrapasse a força axial de flambagem, o elemento comprimido passa a estar sujeito à flexocompressão, resultando em deslocamentos laterais. Segundo Pfeil (2009), as colunas de aço, além de apresentarem imperfeições geométricas inerentes ao processo de fabricação, também estão sujeitas a tensões residuais, que intensificam a propensão à flambagem, fenômeno ilustrado na Figura 13, item b.

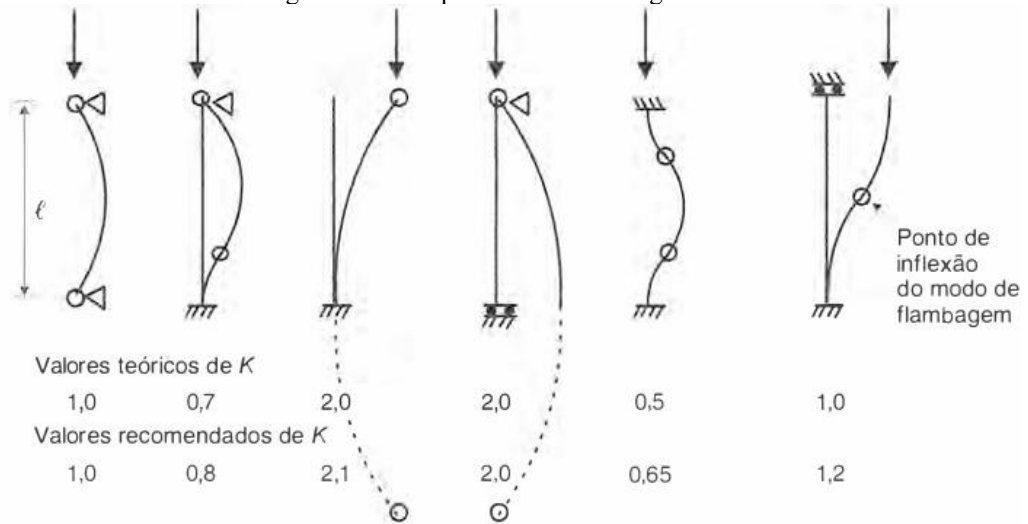
Figura 13 - Flambagem em colunas.



Fonte: PFEIL (2009)

Como apresentado por Pfeil (2009), o comprimento de flambagem de uma haste é definido como a distância entre os pontos de momento nulo da barra comprimida, que sofre deformação lateral em diferentes situações, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 14 - Comprimento de flambagem.



Fonte: Pfeil (2009).

Comprimento destravado de flambagem dada pela seguinte equação:

$$L_{ft} = KL \tag{16}$$

Onde:

K – Parâmetro de flambagem;

L - Comprimento da haste.

2.7 MOMENTO FLETOR

Uma peça estrutural está submetida à flexão simples quando sofre a ação combinada de um momento fletor e de uma força cortante (Pfeil, 2009). O processo de dimensionamento desses elementos consiste basicamente em:

- Determinar os esforços atuantes;
- Verificar a resistência do perfil frente a esses esforços;
- Avaliar possíveis instabilidades, como flambagem lateral e flambagem local.

É importante destacar que, além dos esforços atuantes, fatores como flambagem local e flambagem lateral com torção influenciam diretamente a resistência das vigas submetidas à flexão. Para garantir a segurança estrutural, o dimensionamento deve atender à seguinte condição de resistência:

$$\begin{aligned} M_{Sd} &\leq M_{Rd} \\ V_{Sd} &\leq V_{Rd} \end{aligned} \quad (17)$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo;

M_{Rd} : Momento fletor resistente de cálculo;

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo;

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo.

2.7.1 Início de escoamento da seção

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} , deve ser tomado como o menor valor calculado, expresso pela seguinte equação:

$$M_{Rd} = \frac{w_{ef} f_y}{\gamma} \quad \gamma = 1,10 \quad (18)$$

Onde:

w_{ef} – Modulo de resistência elástica da seção efetiva em relação a fibra externa que atinge o escoamento, calculado com base em duas opções de construção:

- Método da largura efetiva (MLE);

- Método da seleção efetiva (MSE).

f_y – Resistência ao escoamento do aço.

Considerando que o método MLE é utilizado para avaliar elementos classificados como AA (duas bordas conectadas a outros elementos longitudinais) e AL (uma única borda conectada). Já o método MSE é dado por:

$$w_{ef} = w \quad \text{para } \lambda_p \leq 0,673 \quad (19)$$

$$W_{ef} = W \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \frac{1}{\lambda_p} \quad \text{para } \lambda_p > 0,673 \quad (20)$$

Onde:

W – é o modulo de resistência elástica da seção bruta em relação a fibra extrema que atinge o escoamento.

Já a determinação do λ_p , é feita pelo item 9.8.2.1 da ABNT NBR 14762 (2010), conforme a sua aplicação.

2.7.2 Flambagem lateral com torção

O momento fletor resistente de cálculo referente a flambagem lateral com torção, deve ser calculado por:

$$M_{Rd} = \frac{x_{FLT} W_{e,ef} f_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10) \quad (21)$$

Onde:

$W_{e,ef}$ – Modulo de resistência elástico da seção efetiva em relação a fibra extrema comprimida, calculada com base nos métodos MLE e MSE pelas equações presentes no item 9.8.2.2 da ABNT NBR 14762 (2010), garantindo um dimensionamento seguro.

f_y – Resistencia ao escoamento do aço.

2.7.3 Flambagem distorcional

Este tipo de flambagem afeta perfis de seções abertas, na qual pode ser determinado por:

$$m_d = \frac{x_{dist} W_{e,ef} f_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10) \quad (22)$$

Onde:

f_y – Resistência ao escoamento do aço;

$W_{e,ef}$ – Modulo de resistência elástico da seção efetiva em relação a fibra estrema comprimida;

x_{dist} – Fator de redução do momento fletor resistente, associado a flambagem distorcional, calculado por:

$$x_{dist} = 1 \quad \text{para } \lambda_{dist} \leq 0,673 \quad (19)$$

$$x_{dist} = W \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{dist}} \right) \frac{1}{\lambda_{dist}} \quad \text{para } \lambda_{dist} > 0,673 \quad (20)$$

Onde:

λ_{dist} – Índice de esbeltez reduzido referente a flambagem distorcional.

2.7.3 Força cortante

A resistência ao cisalhamento depende da relação entre altura e espessura da alma da haste, que deve ser calculado por:

- Para $h/t \leq 1,08 \left(\frac{EK_v}{f_y} \right)^{0,5}$

$$V_{Rd} = \frac{0,6f_y h t}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10) \quad (21)$$

- Para $1,08 \left(\frac{EK_v}{f_y} \right)^{0,5} < h/t \leq 1,4 \left(\frac{EK_v}{f_y} \right)^{0,5}$

$$V_{Rd} = 0,65 t^2 (K_v f_y E)^{0,5} / \gamma \quad (\gamma = 1,10) \quad (22)$$

- Para $h/t > 1,4 \left(\frac{EK_v}{f_y} \right)^{0,5}$

$$V_{Rd} = \frac{(0,905 EK_v t^3 / h)}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10) \quad (23)$$

Onde:

t – Espessura da alma;

h – Largura da alma;

K_v – Coeficiente de flambagem local por cisalhamento.

2.7.4 Momento fletor e força cortante combinada

Em elementos sem enrijecedores transversais de alma, deve-se considerar a combinação das solicitações de momento e cortante. A verificação é feita por:

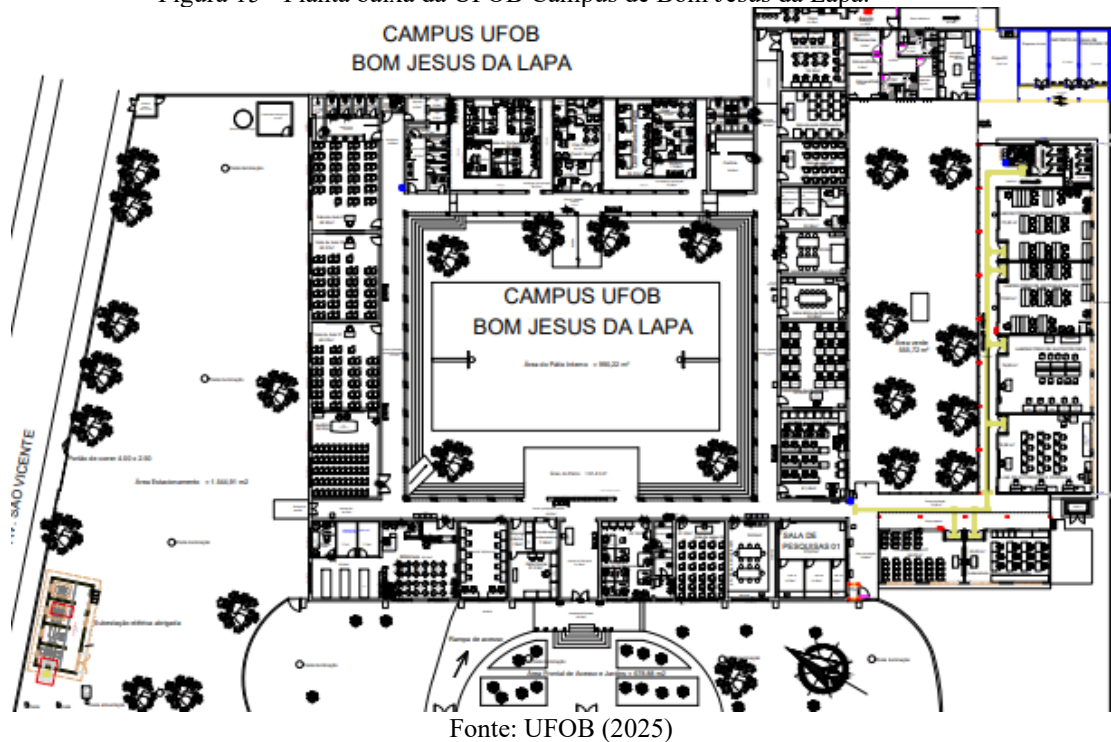
$$(M_{sd}/M_{Rd})^2 + (V_{sd}/V_{rd})^2 \leq 1,0 \quad (24)$$

Por fim, multiplica-se o valor da expressão por 100 para expressá-lo em porcentagem, indicando quanto da capacidade resistente do perfil está sendo utilizada.

3 METODOLOGIA

Conforme as normas ABNT já apresentadas, o presente projeto tem como principal direcionamento a análise dos cálculos do Estado Limite Último e Estado Limite de Serviço, estados no qual demonstram se a estrutura está de acordo com as normas de segurança. Assim elaborando um projeto de uma cobertura para o pátio interno da UFOB de Bom Jesus da Lapa-BA, localizada ao centro do campus, conforme a Figura 15.

Figura 15 - Planta baixa da UFOB Campus de Bom Jesus da Lapa.



A princípio, foram utilizados dois *softwares* de apoio para a análise estrutural, o Visual Ventos e o *Cype 3D*. Por se tratar de um *software* que utiliza como base a ABNT NBR 6123/1988, o Visual Ventos ainda é uma ferramenta atualmente ideal para o cálculo das cargas de vento em edificações de arquitetura de duas águas, tendo em vista que existe conformidade e igualdade nos modos de calcular das cargas de vento da ABNT NBR 6123/2023.

Já o *Cype 3D* utilizado, usa as normas ABNT NBR 6118/2023 para dimensionamento de concreto, ABNT NBR 14762/2010 para dimensionamento de aço dobrado e a ABNT NBR 8800/2008 para aços laminados. A norma NBR 8800 mais atualizada, apresenta um critério mais rigoroso para a relação F_y / F_u buscando maior controle sobre o comportamento plástico do material, visto que na norma de 2008 essa relação exigia que $F_y / F_u \geq 1,18$, enquanto a

versão de 2024 estabelece um valor mínimo de 1,15 e um valor certificado mínimo de 1,10. Além disso, a nova norma introduz critérios adicionais de ductilidade, exigindo deformação mínima de 15% na ruptura, com base de medição definida.

Ainda assim, a norma ABNT NBR 8800/2008 continua sendo válida para aplicação em projetos de edificações atualmente, garantindo segurança e confiabilidade. Dessa forma, é possível utilizar o *software* disponibilizado pela Cype, por meio de uma licença temporária, para fins de análise e dimensionamento conforme essa versão da norma.

A princípio, ao acessar o *software*, definiu-se os dados gerais, as normas e aço a serem utilizados para o dimensionamento estrutural, definindo em qual categoria de uso a estrutura será utilizada (ex: edifícios residenciais, comerciais ou oficinas), como mostra a Figura 16.

Figura 16: Dados gerais do Cype 3D.

A janela 'Dados gerais' do software Cype 3D apresenta as seguintes configurações:

- Normas:** ABNT NBR 6118:2023, ABNT NBR 14762: 2010, ABNT NBR 8800:2008, NBR 7190 e Eurocódigo 9
- Perfis:**
 - Aço laminado: A-36 250Mpa
 - Aço dobrado: A-36
 - Madeira: Serrada - Coníferas - C20
 - Alumínio: EN AW-5083 - F
 - Concreto: C20, em geral
- Concreto armado:**
 - Concreto para pilares: C20, em geral
 - Concreto para vigas de laje: C20, em geral
 - Concreto para elementos de fundação: C20, em geral
 - Aço de barras: CA-50 e CA-60
 - Características do agregado: Granito (15 mm), 30 mm
- Ações:**
 - Com sismo dinâmico
 - Resistência ao fogo
 - Estados limites (combinações)
 - Hipóteses adicionais
 - Fundação
 - Processo construtivo
- Opções:**
 - Pilares
 - Fundação
 - Vigas
 - Ligações
- Terreno de fundação:**
 - Verificar deslizamento de sapatas
 - Tensões admissíveis do terreno:
 - Combinações fundamentais: 0.200 MPa
 - Combinações sísmicas e acidentais: 0.300 MPa
- Estacas (Concreto armado):**
 - Excentricidade para o momento mínimo: 0.10 m
 - Considerar esforços com um esforço axial reduzido
 - Estacas que trabalham por fuste: 0.00 · Axial
 - Estacas que trabalham só por ponta: 0.80 · Axial
 - Coefficiente de flambagem: 1.00
 - Análise da estabilidade lateral da estaca

Botão de ação: Aceitar

Fonte: Cype 3D.

Em seguida, foram estabelecidas as hipóteses adicionais, correspondentes às cargas permanentes, às cargas acidentais e às ações do vento, às quais a estrutura metálica deverá resistir, conforme a Figura 17.

Figura 17 - Hipóteses adicionais.



Fonte: *Cype 3D*.

3.1 CARGA DE VENTO

De acordo com a Instituição Aço Brasil (2018), em primeiro lugar deve-se definir as configurações das dimensões volumétricas do edifício, como altura x largura x comprimento. Levando isso em consideração, o presente projeto possui as seguintes dimensões, 6m x 19m x 28m respectivamente. Considerando que o edifício será de duas águas por ser considerado uma estrutura simples e econômica, onde a cobertura do galpão apresenta uma angulação de 12%, ou 7° aproximadamente, garantindo conformidade ao item 11.6 da NBR 8800, que enfatiza a utilização de inclinação de coberturas superior a 5%, assegurando que a água não venha a se acumular na cobertura.

Para início, foi incluso os dados apresentados ao *software* Visual Ventos, para determinação das cargas de vento.

Figura 18 - Geometria do galpão.

VisualVentos

Ler Arquivo Gravar Arquivo Sair Notações Ajuda Sobre o Programa

Geometria

Dimensões

Medidas

a 28 m h 6 m Distância entre pórticos p 5,6 m

b 19 m a1 7,00 m

b1 9,50 m a2 7,00 m β 7 ° h1 1,17 m

Confirmar

Área das aberturas

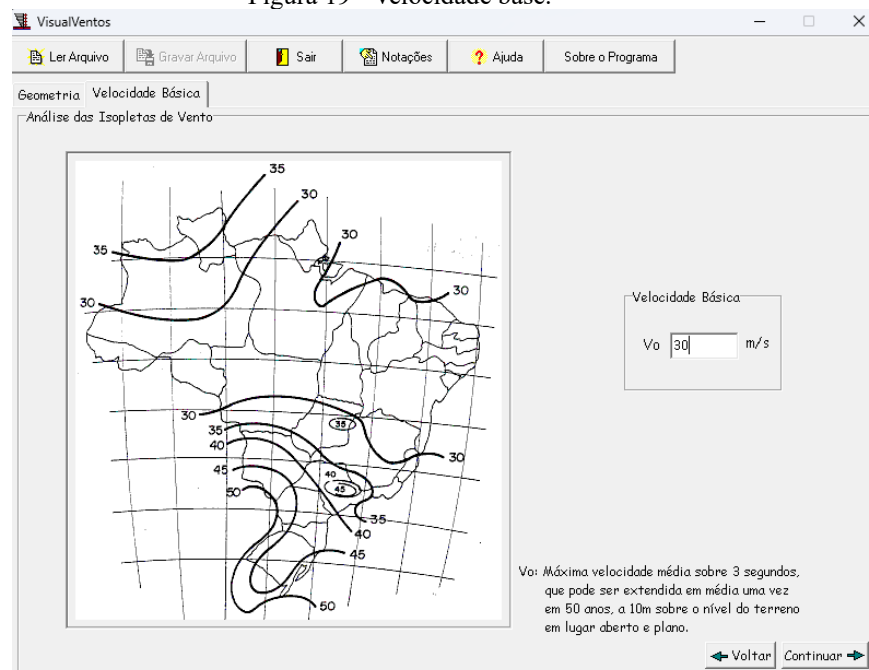
Face	Fixa	Móvel
A1	0 m ²	0 m ²
A2	0 m ²	0 m ²
A3	0 m ²	0 m ²
B1	0 m ²	0 m ²
B2	0 m ²	0 m ²
B3	0 m ²	0 m ²
C1	0 m ²	0 m ²
C2	0 m ²	0 m ²
D1	0 m ²	0 m ²
D2	0 m ²	0 m ²

Continuar

Fonte: Visual ventos.

A velocidade do vento (V_0), na região nordeste do estado da Bahia de acordo com a isopleta da ABNT NBR 6123 é de 30m/s, apresentado na Figura 17:

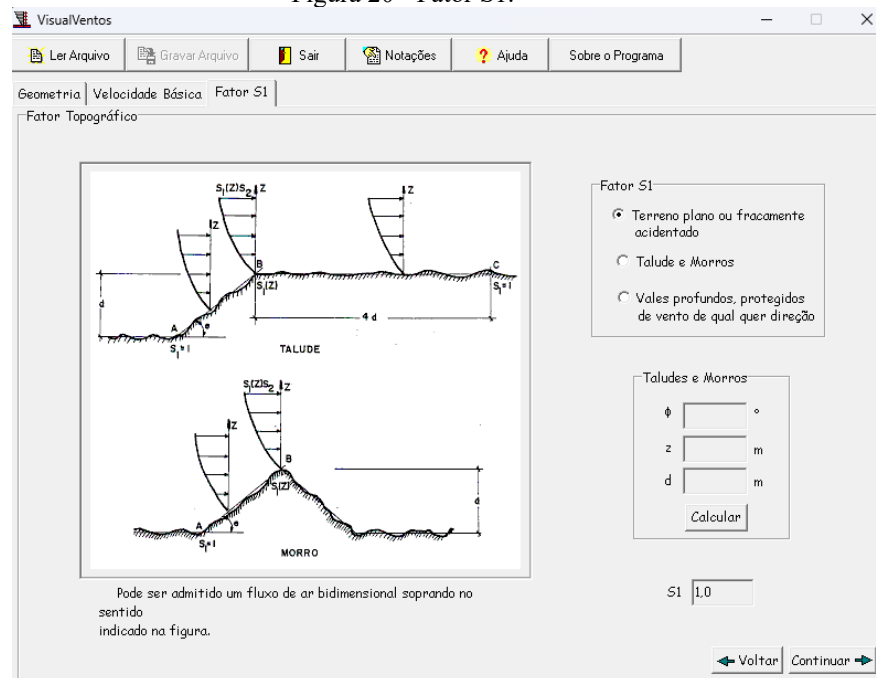
Figura 19 - Velocidade base.



Fonte: Visual ventos.

Para o fator topográfico S_1 , refere-se ao fator topográfico, ou seja, as características físicas do terreno.

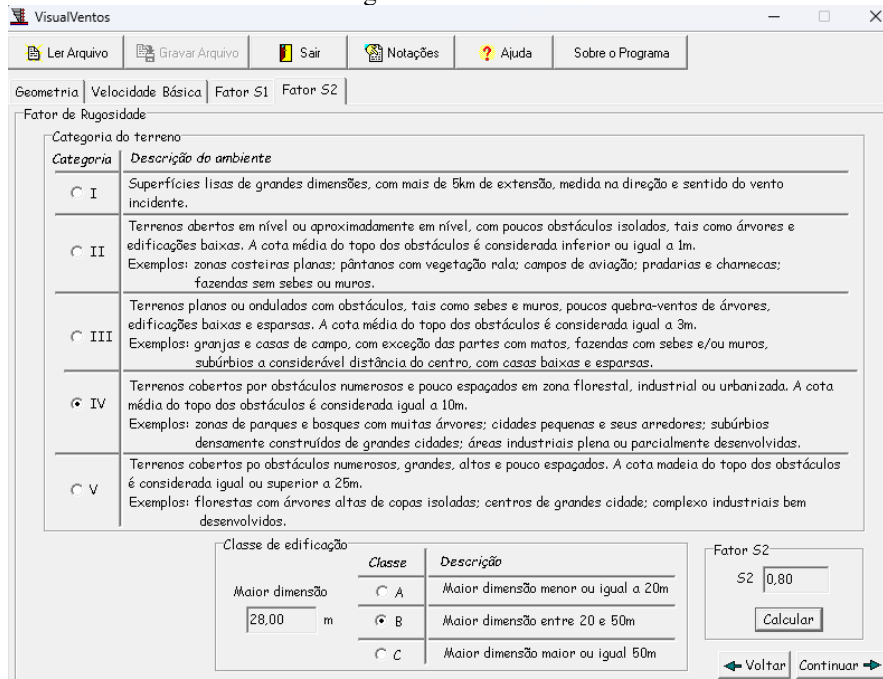
Figura 20 - Fator S1.



Fonte: Visual ventos.

Já o fator S2, que se refere a rugosidade do terreno, foi determinado pela equação 5, onde, no *software*, selecionamos a categoria IV e classe B, e apertamos em calcular, nos dando automaticamente o resultado.

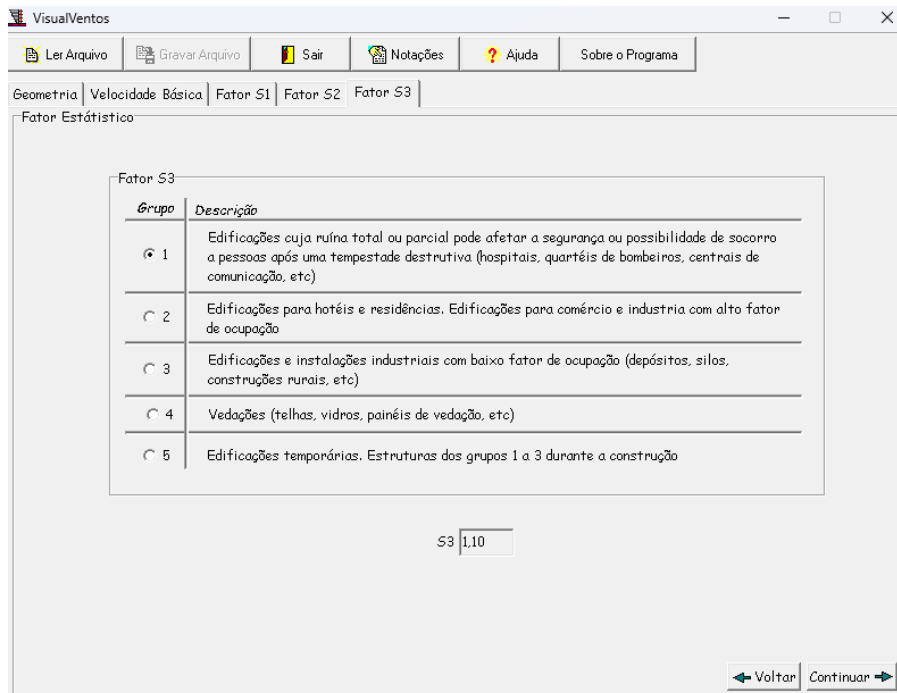
Figura 21 - Fator S2.



Fonte: Visual ventos.

Por fim, o fator estático S3, fator o qual é considerado como um grau de segurança da edificação, subdivididos em grupo, aplicando-o o mais adequado ao projeto, sendo o Grupo 1.

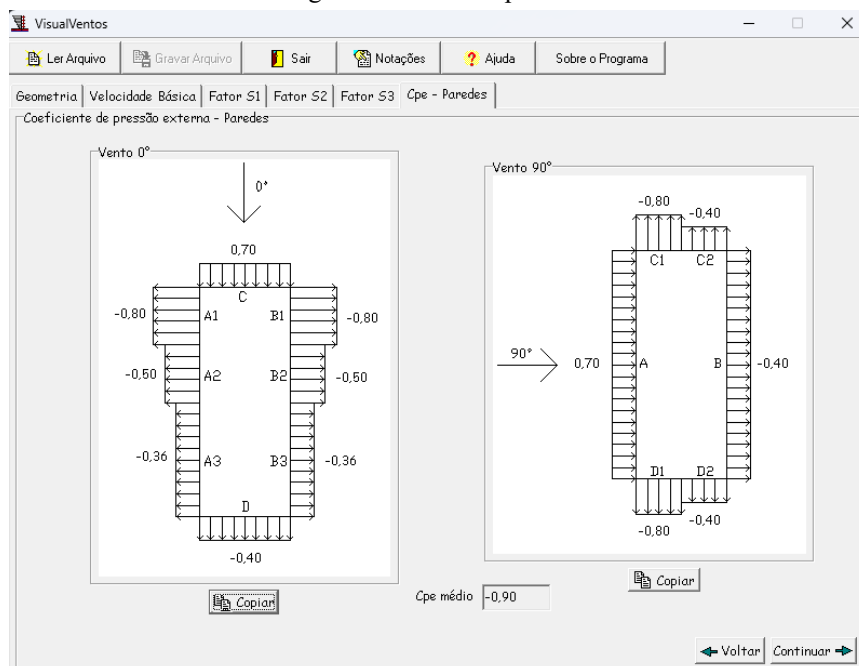
Figura 22 - Fator S3.



Fonte: Visual ventos.

Partindo para o coeficiente de pressão das paredes externas, é dado em duas situações distintas, com ventos a 0° e a 90° , como mostra a Figura 23.

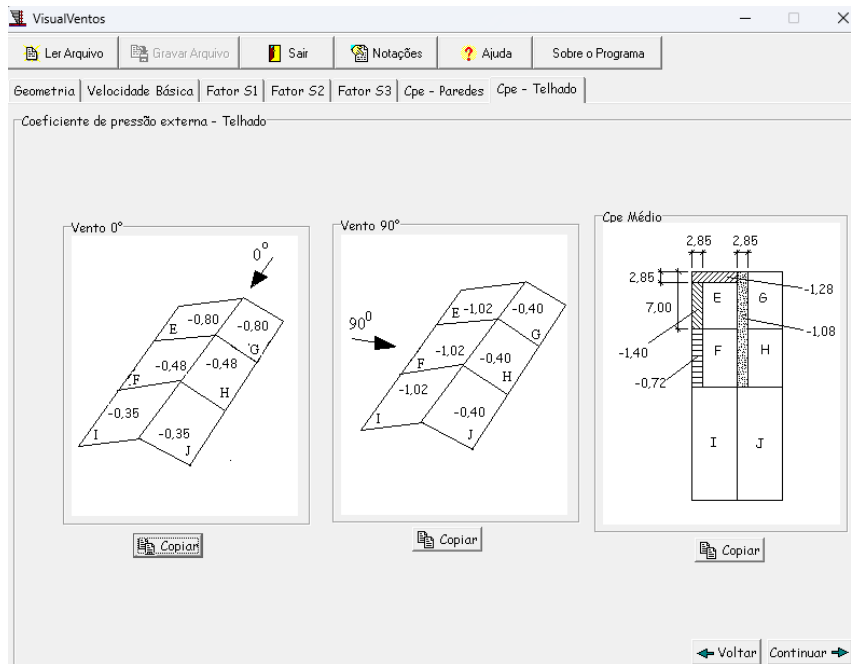
Figura 23 - CPe das paredes.



Fonte: Visual ventos.

Assim como, para o coeficiente de pressão externa para telhados, os estudos são realizados em duas situações, indicados na Figura 24.

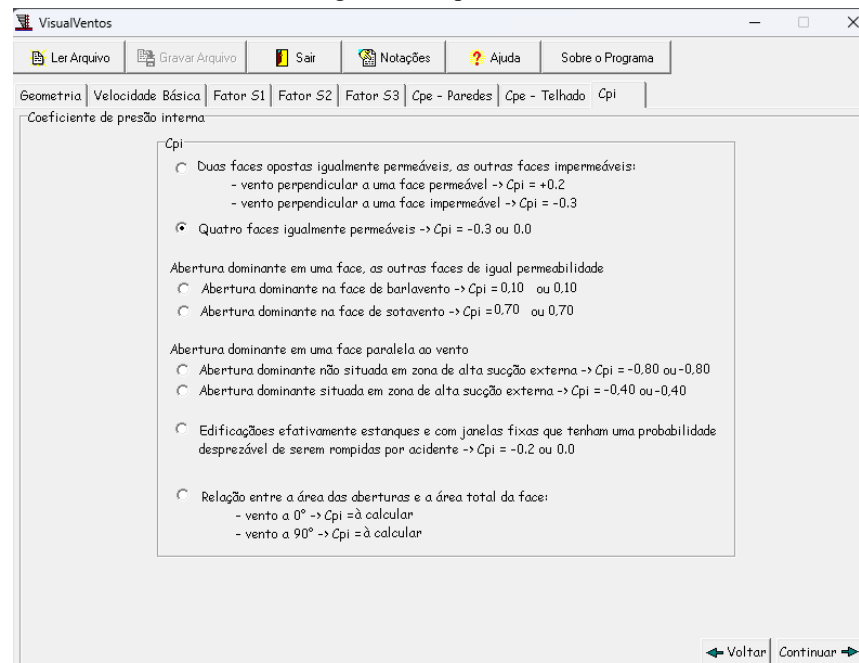
Figura 24 - Cpe do telhado.



Fonte: Visual ventos.

A diante, para determinar o coeficiente de pressão interna, consideramos que o galpão possuirá as quatro faces igualmente permeáveis, indicado na Figura 25.

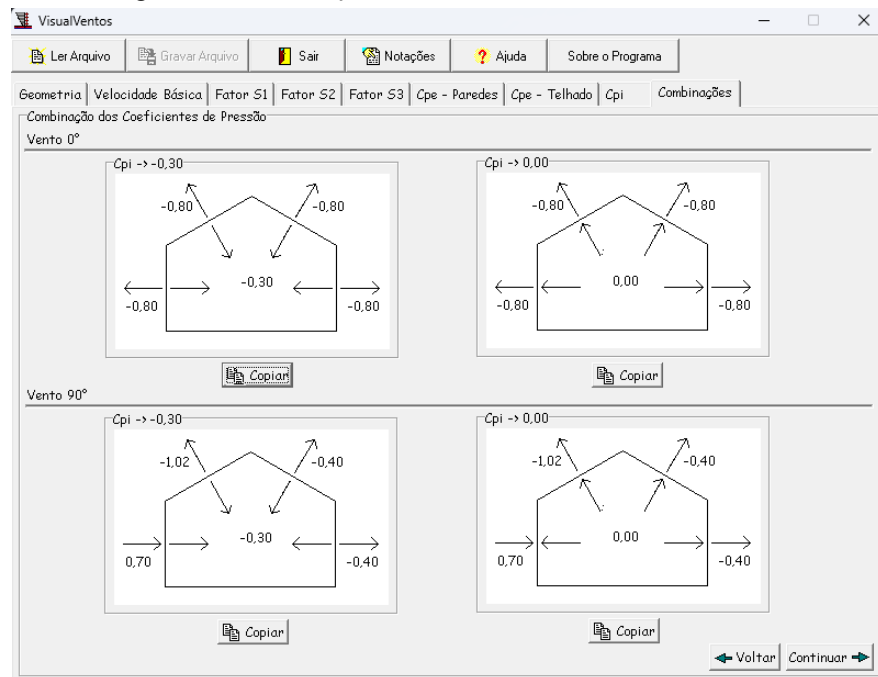
Figura 25 - Cpi.



Fonte: Visual ventos.

Determinando essas condições, o *software* nos apresentara as combinações dos coeficientes de pressão, como mostra a Figura 26.

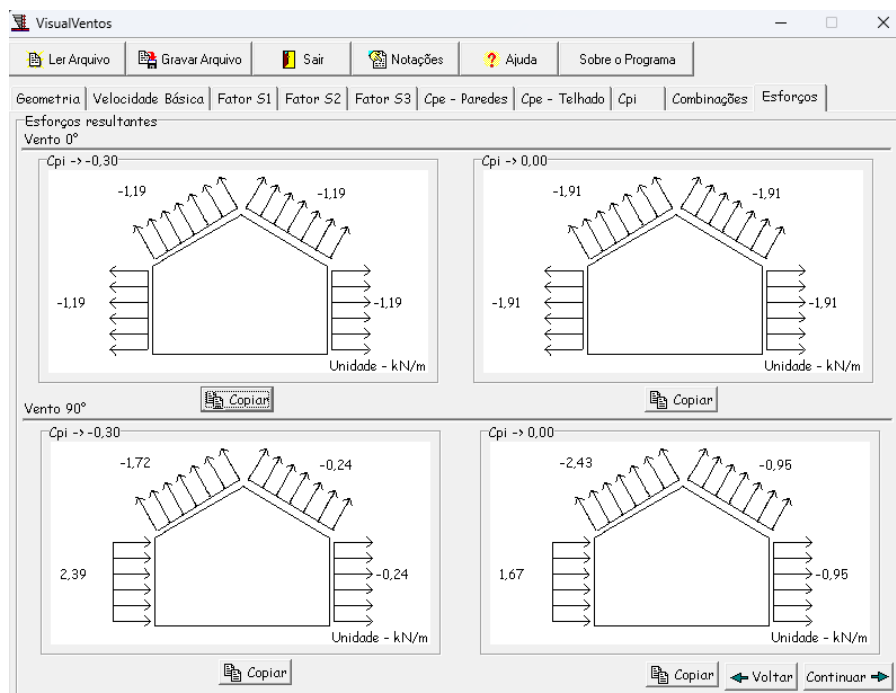
Figura 26 - Combinações das Cpi's com ventos a 0° e 90°.



Fonte: Visual ventos.

Posteriormente, foram apresentados os esforços resultantes nas condições de vento a 0° e ventos a 90°, como mostra a Figura 27.

Figura 27 - Esforços aplicado a edificação.

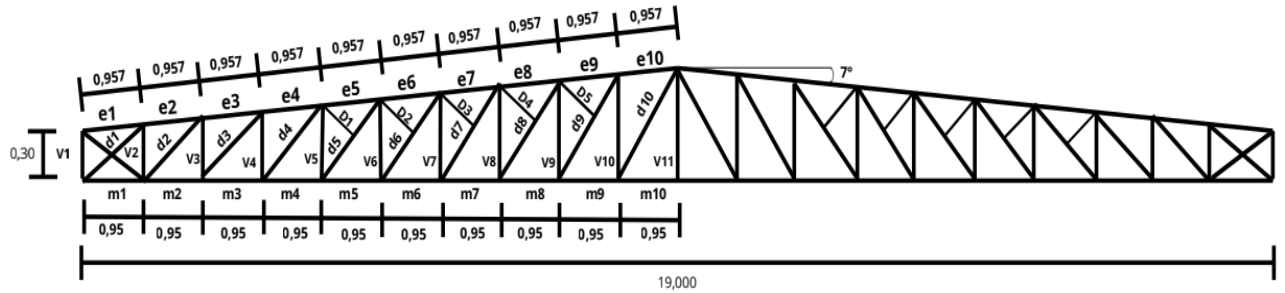


Fonte: Visual ventos.

3.2 DIMENSIONAMENTO DA TESOURA

Para o dimensionamento da tesoura, foram considerados as seguintes condições e dimensões em metros:

Figura 28 - Dimensionamento da tesoura.



Fonte: Autor.

Onde:

$$D1 = 0,545m / D2 = 0,576m / D3 = 0,611m / D4 = 0,649m / D5 = 0,690m$$

$$e1 = e2 = e3 = e4 = e5 = e6 = e7 = e8 = e9 = e10 = 0,957 m$$

$$m1 = m2 = m3 = m4 = m5 = m6 = m7 = m8 = m9 = m10 = 0,95 m$$

$$V_n = 0,30 + (0,95 * (n - 1)) * tg7^\circ \quad (25)$$

$$d_n = \sqrt{0,95^2 + (v_{(n+1)})^2} \quad (26)$$

3.2.1 Carga permanente (CP)

Segundo Pinheiro (2005), para se calcular o peso próprio (Pp) de uma tesoura, utiliza-se a seguinte equação de Pratt, que é dada por:

$$Pp = 2,3 * (1 + (0,33 * v\tilde{a}o)) \quad (27)$$

Além disso, soma-se a carga dos elementos que serão instalados sobre a tesoura, determinando a carga permanente aplicada na tesoura:

$$CP = Pp + Etc + Ec + Et + Ed \quad (28)$$

Onde:

Pp- Peso próprio;

Etc – Estimativa de peso das terças (kgf/m²);

Ec – Estimativa de peso do contraventamento (kgf/m²);

Et – Estimativa de peso das telhas (kgf/m²);

Ed – Estimativa de peso de um elemento diverso (kgf/m^2).

Estimativas encontrada na seção 5 da ABNT NBR 6120 (2019). Considerando que as cargas serão aplicadas aos nós da tesoura, determinamos as cargas pontuais com as seguintes equações e aplicadas da seguinte forma:

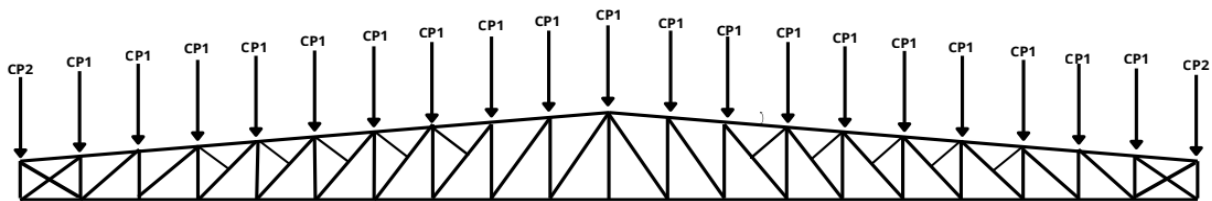
$$CP1 = CP * (m_n * p) \quad (29)$$

$$CP2 = CP * \left(\frac{m_n}{2} * p\right) \quad (30)$$

Onde:

p – Distância entre os pórticos.

Figura 29 - Aplicação das cargas permanentes na tesoura.



Fonte: Autor

3.2.2 Carga acidental (SC)

Segundo a ABNT NBR 6120 (2019), conforme o item 6.4, a carga variável para coberturas e telhados em geral acessíveis apenas para manutenção é de $0,25 \text{ kN/m}^2$, para coberturas com inclinação superior a 3%. Tendo em vista que segundo a norma ABNT NBR 8800 (2024), a inclinação de telhados de estruturas metálicas não deve ser inferior a 5%, logo, o valor de carga acidental a ser utilizados será de $0,25 \text{ KN/m}^2$.

Então, para determinar as cargas acidentais aplicada aos nós da tesoura, foram aplicadas as seguintes equações na seguinte configuração de aplicação:

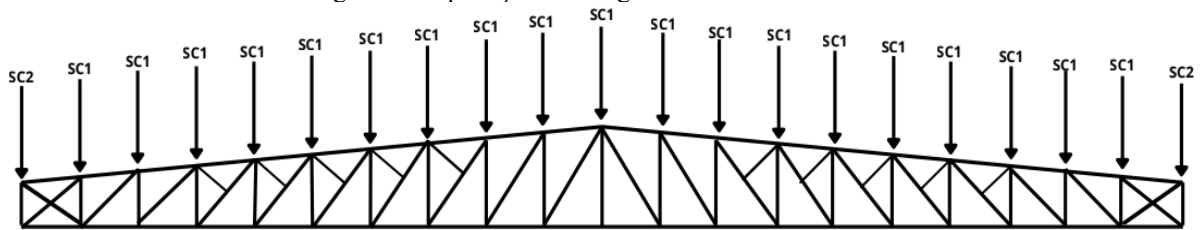
$$SC1 = CV * (m_n * p) \quad (31)$$

$$SC2 = CV * \left(\frac{m_n}{2} * p\right) \quad (32)$$

Onde:

CV – Carga variável.

Figura 30- Aplicação das cargas acidentais da tesoura.

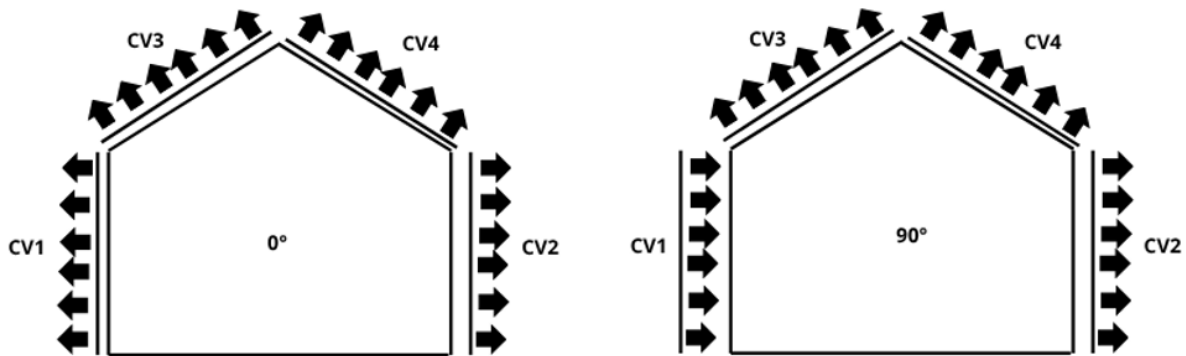


Fonte: Autor.

3.2.3 Cargas pontuais de vento

Para determinação das cargas pontuais de vento, será utilizado as representações e cargas dos esforços resultantes apresentado na Figura 27, adotando a seguinte representatividade nas condições mais críticas a ventos a 0° e 90° na Figura 31 (PINHEIRO, 2005).

Figura 31 - Representação dos esforços resultantes mais críticos de carga de vento na edificação.



Fonte: Autor.

Posto isso, para converter as cargas igualmente distribuída na edificação em cargas pontuais, foram utilizados as seguintes equações e modo de aplicação na estrutura treliçada:

Para ventos a 90° e a CPI mais crítico.

$$V1 = CV1 * (v1/2) \quad (33)$$

$$V2 = CV2 * (e2/2) \quad (34)$$

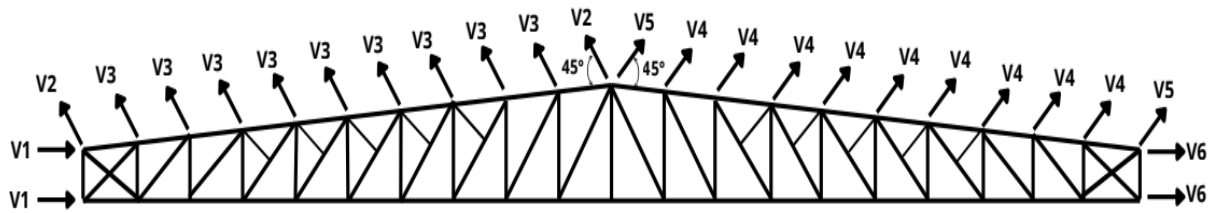
$$V3 = CV3 * e3 \quad (35)$$

$$V4 = CV4 * e4 \quad (36)$$

$$V4 = CV4 * (e1/2) \quad (37)$$

$$V6 = CV2 * (v1/2) \quad (38)$$

Figura 32 - Aplicação de cargas de vento pontuais na tesoura treliçada a 90°.



Fonte: Autor.

Para ventos a 0° e a CPI mais crítico.

$$V7 = CV1 * (v1/2) \quad (39)$$

$$V8 = CV2 * (e2/2) \quad (40)$$

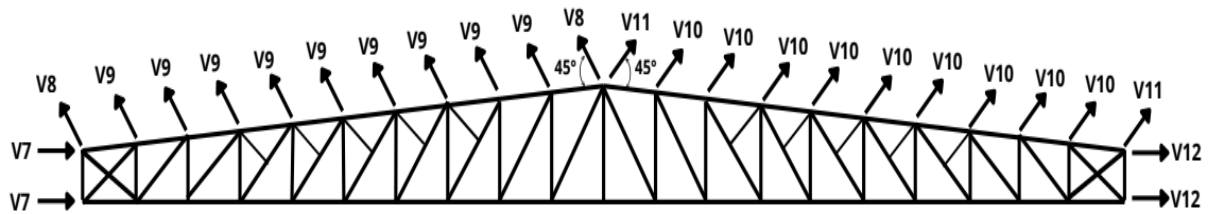
$$V9 = CV3 * e3 \quad (41)$$

$$V10 = CV4 * e4 \quad (42)$$

$$V11 = CV4 * (e1/2) \quad (43)$$

$$V12 = CV2 * (v1/2) \quad (44)$$

Figura 33 - Aplicação de cargas de vento pontuais na tesoura treliçada a 0°.



Fonte: Autor.

Ademais, as cargas CV1 e CV2 nas condições mais críticas determinadas anteriormente de acordo com os esforços resultantes da Figura 27, foram aplicadas de forma igualmente distribuída nos pórticos da edificação.

3.3 DESLOCAMENTO MÁXIMO

Segundo a ABNT NBR 8800 (2024), item 11.3, os deslocamentos das barras e conjuntos estruturais, como pisos, coberturas, divisórias e paredes externas, devem atender aos critérios do Anexo B da norma. Além disso, os deslocamentos laterais e os movimentos horizontais relativos entre pisos, sob combinações de ações de serviço, não podem causar colisões com edificações vizinhas, também respeitando os requisitos estabelecidos no Anexo B.1. Posto isso

foram adotados L/250 para as tesouras e contraventamento e L/500 para os pilares da edificação.

4. RESULTADOS

Com base na metodologia adotada e nas dimensões previamente definidas para a edificação, foi possível realizar o dimensionamento estrutural da cobertura proposta, bem como a sua modelagem e representação digital por meio do *software* CYPE 3D, possibilitando a análise do comportamento estrutural do sistema adotado.

4.1 CARGAS CALCULADAS

Conformes às equações 27 a 30 já apresentadas no tópico 3.2.1, foram determinadas as cargas permanentes atuantes na estrutura, considerando-se as estimativas de peso dos elementos estruturais e dos componentes que compõem o sistema de cobertura.

Tabela 6 - Estimativas de cargas permanente.

ELEMENTOS	ESTIMATIVA (Kgf/m²)
Pp	16,7
Etc	5
Ec	1
Et	5
Ed	15

Fonte: Autor.

Onde o Ed se refere-se às placas fotovoltaicas, cuja instalação futura foi considerada no projeto estrutural. Dessa forma, as cargas permanentes adotadas foram definidas conforme apresentado a seguir.

Tabela 7: Cargas permanentes calculada.

CARGA	Kgf	KN
CP	42,7	-
CP1	227,16	2,22
CP2	113,58	1,11

Fonte: Autor.

Contudo, apesar do *software* calcular o peso próprio dos perfis estruturais, esta função foi desativada, pois esta carga já está inclusa no valor de cargas permanentes calculadas

Ademais, conforme as equações 31 e 32 do tópico 3.2.2, tem-se as seguintes cargas acidentais aplicados a estrutura:

Tabela 8 - Cargas acidentais calculadas.

CARGA	Kgf	KN
SC1	133	1,30
SC2	66,5	0,65

Fonte: Autor.

Por fim, conforme as equações 33 a 44 do tópico 3.2.3, as cargas de vento calculadas são:

Tabela 9 - Cargas de vento calculadas.

CARGA DE VENTO	Kgf	KN
V1	25,79	0,25
V2	79,91	0,78
V3	159,84	1,56
V4	62,68	0,61
V5	31,34	0,30
V6	14,73	0,14
V7	29,47	0,28
V8	62,68	0,61
V9	125,36	1,22
V10	125,36	1,22
V11	62,68	0,61
V12	29,47	0,28

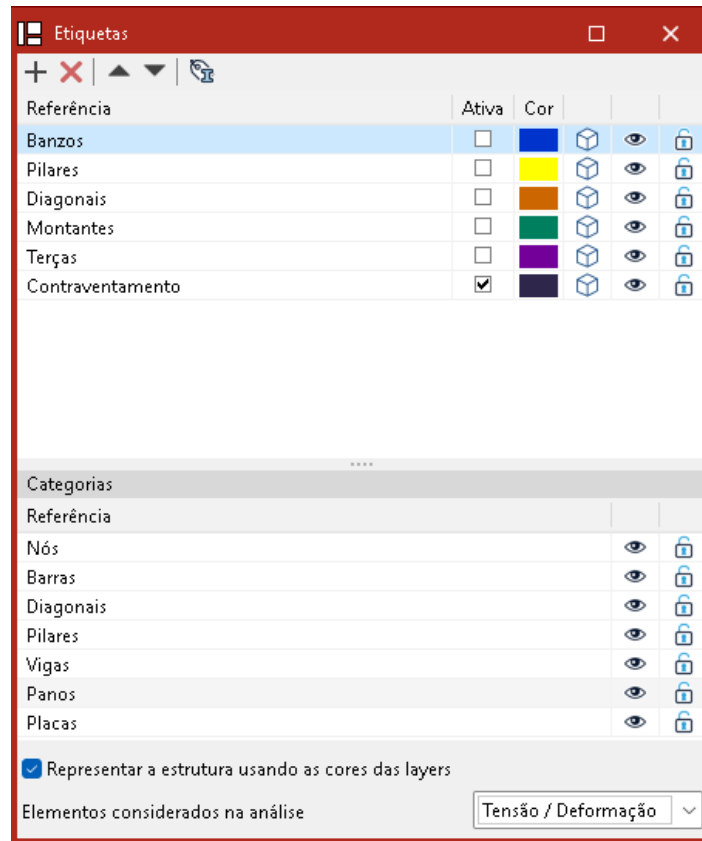
Fonte: Autor.

Vale destacar que para transformar Kgf para KN, faz-se a divisão Kgf/102. Transformação necessária, pois se trata de uma unidade do Sistema Internacional (SI) utilizado pelo *software* Cype 3D.

4.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL EM *CYPE 3D*

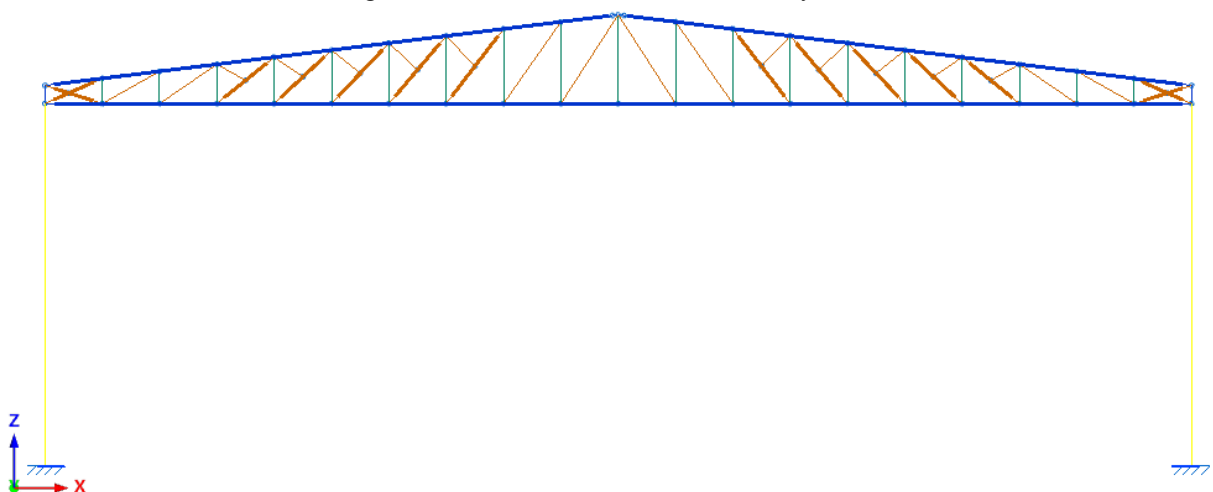
Após a definição dos dados gerais e das hipóteses adicionais, conforme ilustrado nas Figuras 16 e 17, iniciou-se o processo de dimensionamento estrutural. Nessa etapa, foram lançados os nós correspondentes aos pilares e às treliças, que posteriormente foram interligados por meio de barras genéricas. Além disso, foram atribuídas cores distintas a cada elemento da estrutura metálica, denominadas etiquetas, com o objetivo de facilitar a identificação e proporcionar uma melhor visualização das peças estruturais.

Figura 34 – Definição de etiquetas do projeto.



Fonte: Cype 3D.

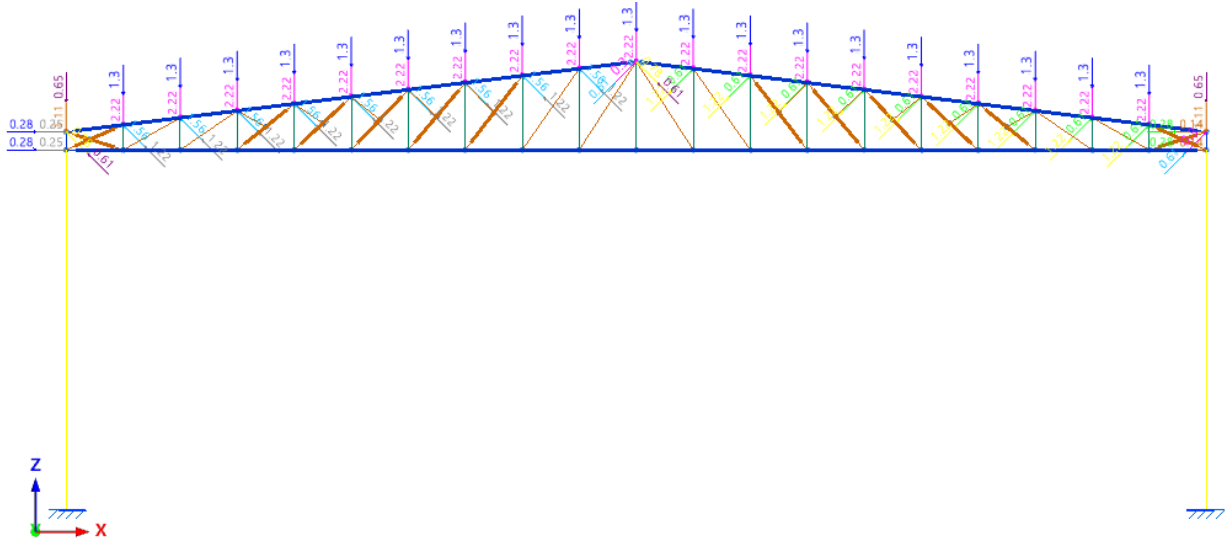
Vale destacar que os nós da treliça, bem como aqueles que a conectam aos pilares, foram definidos como “vinculações internas” do tipo articulada. Por sua vez, os nós localizados nas extremidades inferiores dos pilares foram configurados como “vinculações c/ exterior” do tipo engastada, o que impede tanto o deslocamento quanto a rotação dos pilares em quaisquer direções.

Figura 35 – Vista frontal da estrutura em *software*.

Fonte: Cype 3D.

Posteriormente, as cargas pontuais previamente calculadas foram aplicadas à estrutura, conforme ilustrado nas Figuras 28, 29, 31 e 32, resultando na seguinte configuração:

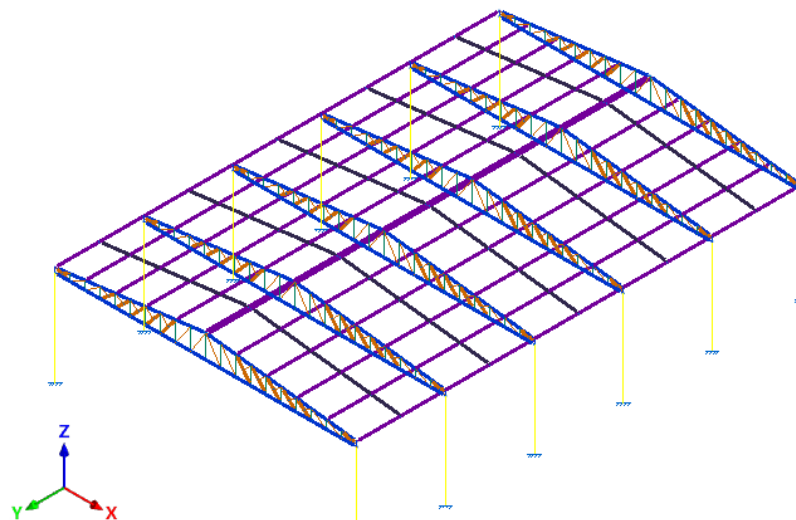
Figura 36 – Cargas aplicadas na estrutura.



Fonte: Cype 3D.

Em seguida, o pórtico foi duplicado e posicionado conforme as medidas previamente definidas, compondo a estrutura da cobertura do galpão. Nessa etapa, foram aplicados as terças e os contraventamentos, de modo a assegurar a estabilidade global do conjunto. Além disso, os perfis estruturais de cada elemento da estrutura metálica foram definidos por meio de um processo contínuo de substituição das peças, com verificações sucessivas realizadas a partir da execução iterativa do programa.

Figura 37 – Galpão desenvolvido.



Fonte: Cype 3D.

Além disso, as condições de deslocamento, conforme apresentadas no item 3.3, foram aplicadas à estrutura. Adicionalmente, o comprimento de flambagem foi atribuído aos pilares, conforme ilustrado na Figura 14 ($k = 2,0$), garantindo a conformidade com os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 8800:2008. Com o apoio dos catálogos técnicos da ArcelorMittal Brasil (2025) e da Gerdau S.A. (2025), procedeu-se à definição dos perfis metálicos que compõem a estrutura, considerando as características geométricas, propriedades mecânicas e recomendações de aplicação fornecidas pelos fabricantes. Dessa forma, a estrutura final é composta por:

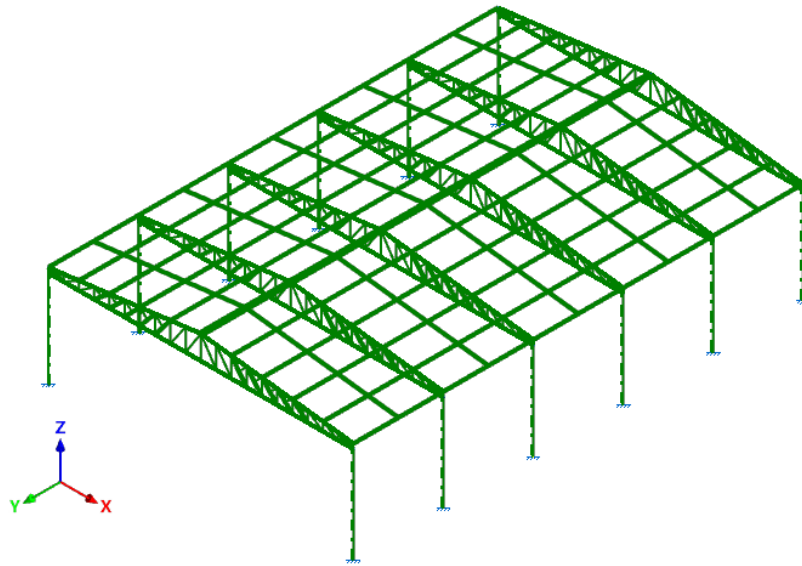
Figura 38 – Perfis que constituem o galpão.

ELEMENTOS	PERFIL
Banzos	U 150mm x 50mm x 4.75mm
Pilares	W 200mm x 31.3Kg/m
Diagonais	U 150mm x 50mm x 2mm
Montantes	U 150mm x 50mm x 2mm
Terças	U ENRJ 150mm x 50mm x 17mm x 2mm
Contraventamento	L 50mm x 50mm x 4mm

Fonte: Autor.

Em seguida, após a realização de todas as verificações pelo *software*, são exibidos em cores distintas os resultados das análises, sendo a cor verde atribuída aos perfis que atenderam satisfatoriamente aos esforços decorrentes das cargas aplicadas à estrutura, e a cor vermelha aos perfis que não apresentaram desempenho adequado.

Figura 39 – Estrutura pós verificação.

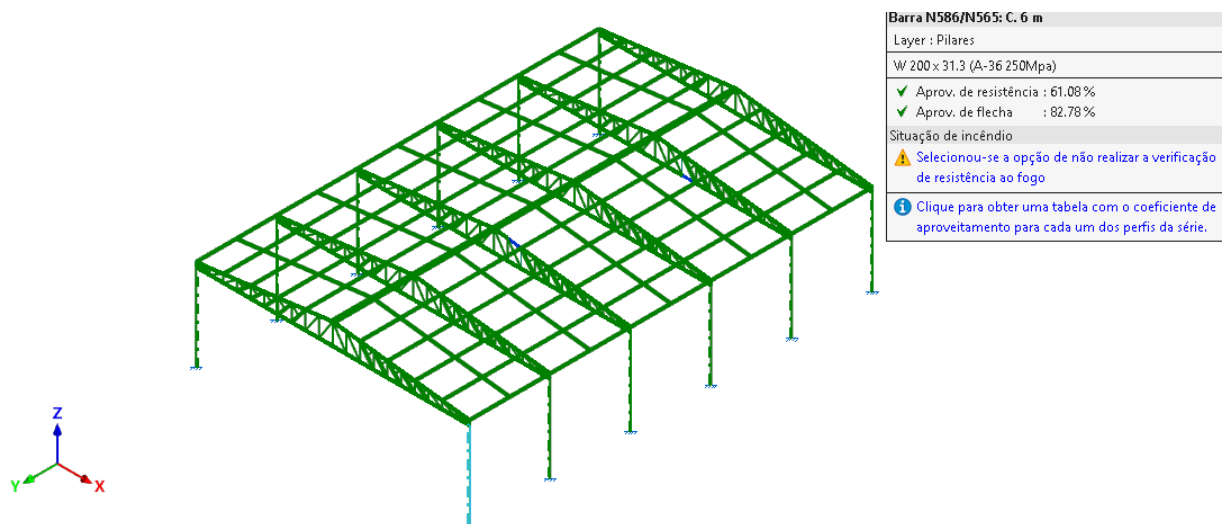


Fonte: Cype 3D.

4.3 RESISTÊNCIA DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Com base nas verificações realizadas, é possível avaliar o grau de conformidade dos elementos estruturais em relação à resistência e ao limite de flecha aplicado a cada componente. Essas informações são apresentadas no canto superior direito da interface do *software*, quando o cursor é posicionado sobre o elemento analisado, conforme ilustrado na Figura 40.

Figura 40 – Conformidade dos elementos estruturais.



Fonte: Cype 3D.

Vale destacar que, caso os valores de aprovação ultrapassem 100%, o elemento estrutural não atenderá aos requisitos de resistência nem ao limite de flecha estabelecido, tornando-se, portanto, inadequado ao projeto. Ademais, quanto mais próximo o valor estiver do

limite de aprovação (100%), maior será a suscetibilidade do elemento à falha. Diante do exposto, a Tabela 10 apresenta os principais elementos da estrutura e seus respectivos níveis de criticidade, destacando aqueles com os maiores e menores índices, de forma a evidenciar um dimensionamento otimizado e economicamente viável.

Tabela 10 - Grau de criticidade dos elementos estruturais.

	Grau de Aprovação			
	Maior criticidade		Menor criticidade	
	Aprovação de	Aprovação de	Aprovação de	Aprovação de
	resistência	flexa limite	resistência	flexa limite
	(%)	(%)	(%)	(%)
Banzo Superior	81.24	0.37	22.67	0.14
Banzo Inferior	64.97	0.00	15.26	0.00
Montante	12.03	0.00	0.14	0.00
Diagonal	80.25	0.00	0.28	0.00
Pilar	61.21	95.50	61.08	82.72
Terças	0.24	0.03	0.00	0.03
Contraventamento	3.13	29.66	2.14	16.26

Fonte: Autor.

4.4 DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS

O dimensionamento das sapatas foi realizado a partir das reações de apoio obtidas no software CYPE 3D, considerando as cargas transmitidas pelos pilares à fundação. O procedimento de cálculo baseou-se nas prescrições normativas da ABNT NBR 8800:2008, assegurando o atendimento aos critérios de resistência, estabilidade e deformabilidade exigidos para este tipo de fundação.

As análises foram realizadas de modo a garantir a adequada transferência de esforços entre os elementos estruturais e o solo de apoio, promovendo o desempenho global e a integridade do sistema. Os principais parâmetros obtidos e as verificações correspondentes estão apresentados na Tabela 11, que apresenta os resultados do dimensionamento da sapata metálica.

Tabela 11 - Verificação das sapatas da estrutura.

Referência: -Placa base: Largura X: 550 mm Largura Y: 450 mm Espessura: 20 mm -Parafusos: 4Ø22 mm L=60 cm Dobra a 180 graus -Disposição: Posição X: Centrada Posição Y: Centrada -Enrijeecedores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x0x6.0)		
Verificação	Valores	Estado
Distância mínima entre chumbadores: <i>3 diâmetros</i>	Mínimo: 66 mm Calculado: 350 mm	Passa
Distância mínima chumbador-perfil: <i>1.5 diâmetros</i>	Mínimo: 33 mm Calculado: 153 mm	Passa
Distância mínima chumbador-borda: <i>2 diâmetros</i>	Mínimo: 44 mm Calculado: 50 mm	Passa
Esbeltez dos enrijeecedores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 45.1	Passa
Comprimento mínimo do parafuso: <i>Calcula-se o comprimento de ancoragem necessário por aderência.</i>	Mínimo: 28 cm Calculado: 60 cm	Passa
Ancoragem chumbador no concreto: - Tração: - Cortante: - Tração + Cortante:	Máximo: 58.14 kN Calculado: 55.13 kN Máximo: 40.7 kN Calculado: 1.82 kN Máximo: 58.14 kN Calculado: 57.73 kN	Passa Passa Passa
Tração chumbadores:	Máximo: 82.08 kN Calculado: 55.13 kN	Passa
Tensão de Von Mises nos chumbadores:	Máximo: 216 MPa Calculado: 145.338 MPa	Passa
Esmagamento chumbador na placa: <i>Limite de esforço de corte em um chumbador atuando contra a placa</i>	Máximo: 247.5 kN Calculado: 1.83 kN	Passa
Tensão de Von Mises em seções globais: - Direita: - Esquerda: - Acima: - Abaixo:	Máximo: 250 MPa Calculado: 136.972 MPa Calculado: 136.972 MPa Calculado: 153.788 MPa Calculado: 190.927 MPa	Passa Passa Passa Passa
Flecha global equivalente: <i>Limite da deformabilidade dos balanços</i>	Mínimo: 250	

Referência: -Placa base: Largura X: 550 mm Largura Y: 450 mm Espessura: 20 mm -Parafusos: 4Ø22 mm L=60 cm Dobra a 180 graus -Disposição: Posição X: Centrada Posição Y: Centrada -Enrijeecedores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x0x6.0)		
Verificação	Valores	Estado
- Direita:	Calculado: 1298.91	Passa
- Esquerda:	Calculado: 1298.91	Passa
- Acima:	Calculado: 4661.29	Passa
- Abaixo:	Calculado: 3712.74	Passa
Tensão de Von Mises local: <i>Tensão por tração de chumbadores sobre placas em balanço</i>	Máximo: 250 MPa Calculado: 0 MPa	Passa
Todas as verificações foram cumpridas		
Informação adicional: - Relação ruptura desfavorável seção de concreto: 0.091		

Fonte: Cype 3D.

A placa base dimensionada apresenta largura de 550 mm, largura de 450 mm e espessura de 20 mm, com parafusos de ancoragem de 4 unidades de 22 mm de diâmetro e comprimento de 600 mm, dobrados a 180°. A disposição dos chumbadores foi centralizada nas direções X e Y, e a estrutura conta com dois enrijeecedores paralelos ao eixo Y com dimensões de 100 mm de altura em chapa de 6 mm, garantindo rigidez e estabilidade adequadas à ligação.

Durante o processo de verificação, foram analisadas as distâncias mínimas entre os chumbadores e em relação às bordas e ao perfil, todas atendendo aos valores normativos. A distância mínima entre chumbadores calculada foi de 350 mm, superior ao mínimo exigido de 66 mm, enquanto a distância entre chumbador e perfil foi de 153 mm, acima do limite mínimo de 33 mm. Da mesma forma, a distância entre o chumbador e a borda da placa foi de 50 mm, atendendo ao requisito mínimo de 44 mm.

A esbeltez dos enrijeecedores apresentou valor calculado de 45,1, abaixo do máximo permitido de 50, demonstrando conformidade estrutural. O comprimento de ancoragem dos parafusos, calculado em 60 cm, também superou o valor mínimo necessário de 28 cm, assegurando adequada transferência de esforços ao concreto.

Nas verificações de resistência, os resultados indicaram conformidade em todos os parâmetros analisados. A ancoragem dos chumbadores no concreto apresentou valores de tração e esforço cortante inferiores aos limites máximos de 55,13 kN e 1,82 kN, respectivamente, enquanto a combinação tração mais cortante resultou em 57,73 kN, permanecendo dentro do limite de 58,14 kN.

A tensão de *Von Mises* nos chumbadores atingiu 145,34 MPa, valor inferior ao limite admissível de 216 MPa, e o esmagamento do chumbador na placa apresentou esforço de 1,83 kN, bem abaixo do limite de 247,5 kN. As tensões de *Von Mises* nas seções globais variaram entre 136,97 MPa e 190,93 MPa, estando todas abaixo do limite máximo de 250 MPa.

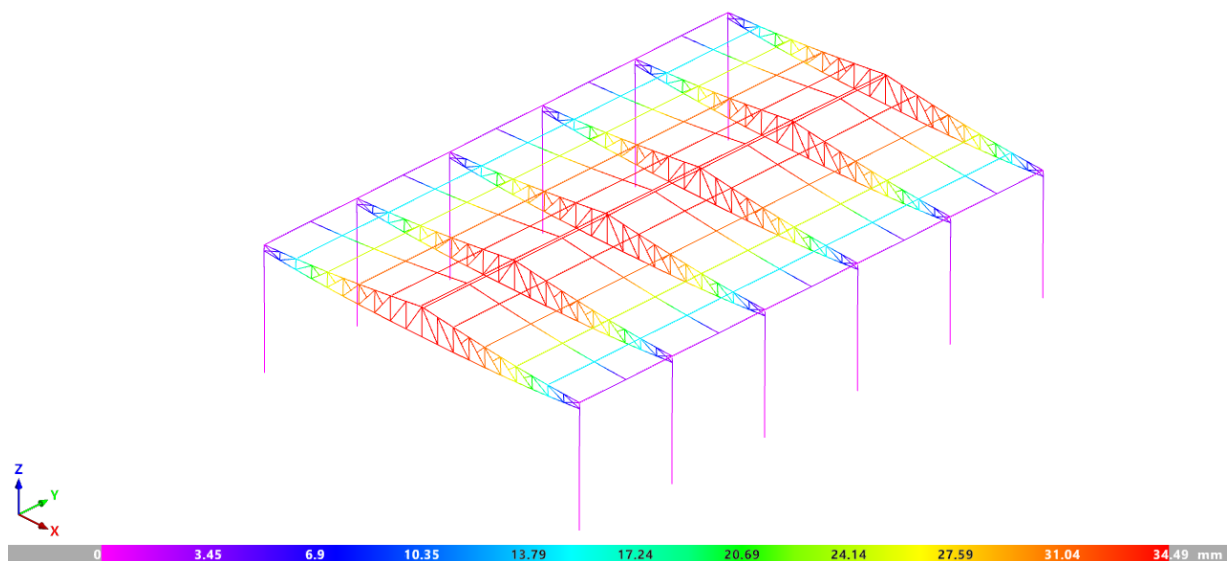
A análise de flecha global equivalente demonstrou desempenho satisfatório, com valores de deformação significativamente inferiores ao limite mínimo admissível, que é de 250 MPa, apresentando uma adequada rigidez da ligação. Da mesma forma, a tensão de *Von Mises* local resultou em 0 MPa, confirmando a inexistência de concentrações críticas de tensão.

Por fim, todas as verificações apresentaram resultado “Passa”, comprovando que o dimensionamento da sapata atende plenamente aos critérios de resistência, estabilidade e segurança previstos nas normas técnicas previamente selecionadas.

4.5 DEFORMAÇÃO ESTRUTURAL

Com o objetivo de avaliar o comportamento global da estrutura metálica sob a ação das cargas aplicadas, foi realizada uma análise de deformações no *software* CYPE 3D. Essa etapa permitiu verificar o desempenho estrutural do galpão, identificando os deslocamentos máximos e assegurando que as deformações se mantivessem dentro dos limites admissíveis estabelecidos pelas normas técnicas. A Figura 41 ilustra a deformação total da estrutura após a aplicação das cargas permanentes, acidentais e de vento.

Figura 41 - Deformação estrutural.



Fonte: *Cype 3D*.

Observa-se que a estrutura apresentou deslocamentos máximos da ordem de 34,49 mm, conforme indicado na escala de cores. As maiores deformações concentram-se nas regiões centrais das treliças da cobertura, onde ocorrem os maiores vãos e esforços de flexão. Ainda assim, os valores obtidos encontram-se dentro dos limites normativos previstos pela ABNT NBR 8800:2008, garantindo a segurança, a estabilidade e o bom desempenho estrutural do sistema.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento do projeto e dimensionamento de uma estrutura metálica PARA A cobertura de uma quadra poliesportiva no campus da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), em Bom Jesus da Lapa – BA. A pesquisa fundamentou-se nas normas técnicas ABNT NBR 8800:2008, NBR 6120:2019 e NBR 6123:2023, assegurando a conformidade com os critérios de resistência, estabilidade e segurança exigidos para estruturas metálicas.

A metodologia adotada envolveu o levantamento das cargas permanentes, acidentais e de vento atuantes sobre a edificação, para o qual se utilizou o software Visual Ventos para a determinação das pressões dinâmicas e o *CYPE 3D* para a modelagem, simulação e verificação estrutural. Optou-se por um projeto de estrutura metálica do tipo duas águas, com dimensões volumétricas de 19x28x6 metros, dimensionado em aço estrutural A-36, material amplamente utilizado pela sua resistência mecânica, ductilidade e viabilidade econômica.

Conforme os resultados obtidos, é possível confirmar o desempenho satisfatório da estrutura frente as solicitações previstas. Isso porque todos os elementos estruturais apresentaram índices de aprovação de resistência e flecha limite inferiores a 100%, atendendo, portanto, às normas vigentes. Ademais, os deslocamentos máximos, de aproximadamente 34,49 milímetros, permaneceram dentro dos limites admissíveis ($L/250$ e $L/500$), o que demonstra estabilidade global adequada e eficiência do dimensionamento adotado.

No que se refere às sapatas metálicas projetadas apresentaram pleno atendimento aos critérios de segurança, conforme verificado pelas análises de tração, cisalhamento, esmagamento e tensões de *Von Mises*, nas quais todas as verificações apresentaram resultado “Passa”. Dessa forma, garante-se a adequada transferência de esforços para o solo e a integridade do sistema de fundação.

Paralelamente, foi desenvolvido o desenho mecânico detalhado da estrutura metálica por meio do software *SolidWorks*, disponibilizado em ANEXO, o que possibilitou a visualização tridimensional do projeto, a verificação geométrica dos encaixes e a quantificação precisa dos materiais. Essa etapa foi essencial para validar a compatibilidade entre os componentes estruturais e otimizar o planejamento construtivo, contribuindo para um projeto consistente e economicamente viável.

Conclui-se, portanto, que o projeto desenvolvido cumpre plenamente os objetivos propostos, apresentando-se como uma solução estrutural segura, funcional e adequada à sua finalidade, tanto em relação aos Estados Limites Últimos (ELU) quanto aos de Serviço (ELS). Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a ampliação do estudo por meio de análises complementares que considerem aspectos construtivos e de manutenção ao longo do ciclo de vida da estrutura, visando aprimorar ainda mais sua aplicação prática e sustentabilidade. Por fim, este trabalho reforça a importância da aplicação de metodologias computacionais para dimensionamentos estruturais, do rigor normativo e do pensamento crítico no desenvolvimento de projetos de engenharia estrutural, contribuindo, assim, para o avanço técnico e acadêmico da área de Engenharia Mecânica.

REFÊRENCIAS

ABNT. NBR 6120:2019 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ABNT. NBR 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio — Padronização. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT. NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro: ABNT 2010.

ABNT. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

ARCELORMITTAL Brasil. Perfil UDC – Perfil U Dobrado de Chapa. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/industria/perfil-udc> Acesso em: 08 nov. 2025.

AZEVEDO, Gabriel Lemos de. Dimensionamento de um galpão em estruturas metálicas. *Brazilian Journal of Business*, Itaperuna, v. 5, n. 2, p. 1–11, 2023. DOI: <https://doi.org/10.34140/bjbv5n2-039>. ISSN 2596-1934. Recebido em: 05 jan. 2023. Aceito em: 31 mar. 2023

BELLEI, Ildony H. Edifícios Industriais em Aço: Projeto e Cálculo. 7. ed. Porto Alegre: Oficina de Texto, 2025. *E-book*. pág.17. ISBN 9788579753664. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788579753664/>. Acesso em: 28 conjuntos. 2025.

GERDAU S.A. Perfil estrutural – I/H. Disponível em: <https://mais.gerdau.com.br/produtos/perfil-estrutural>. Acesso em: 08 nov. 2025.

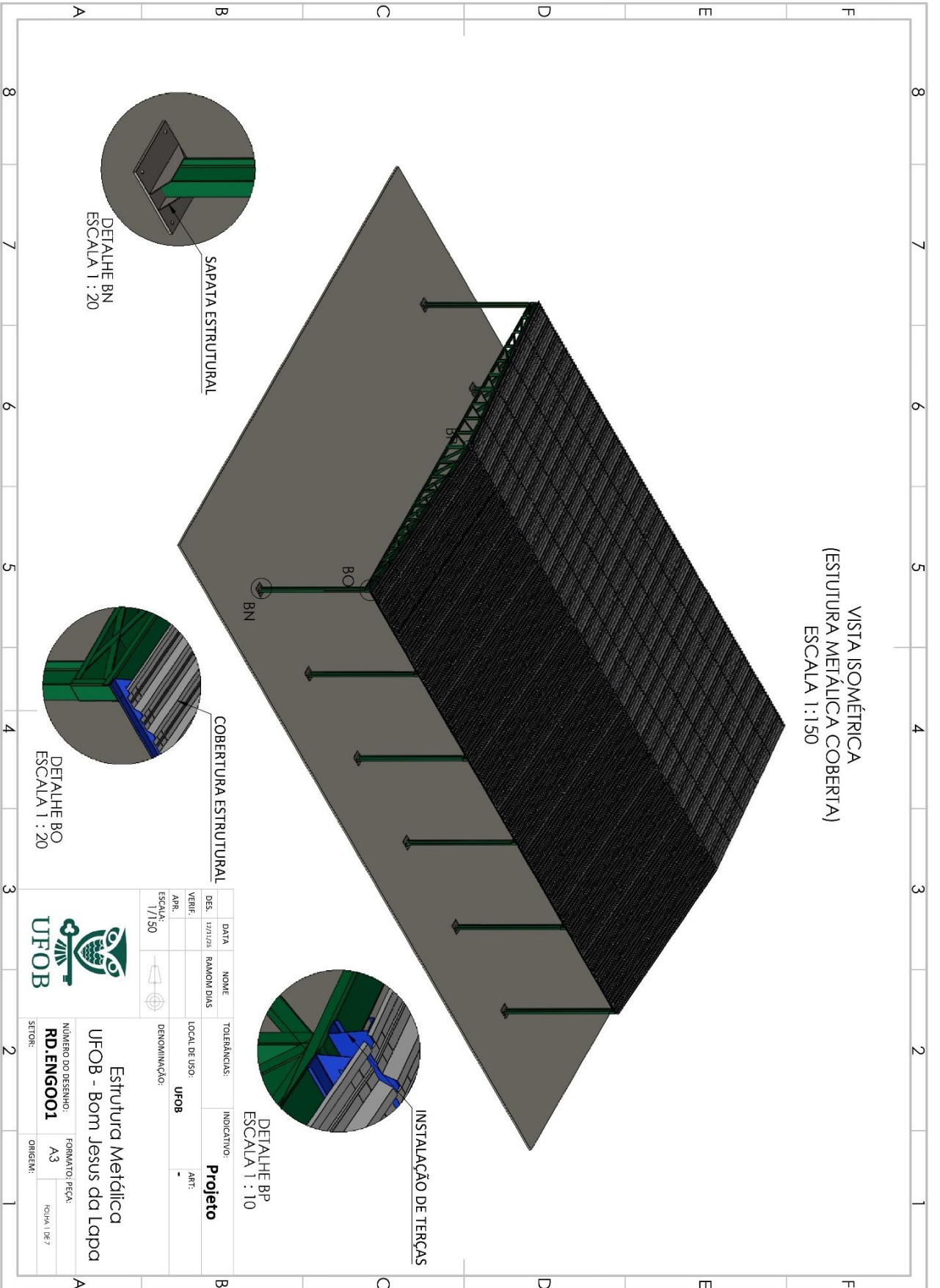
HIBBELER, R. C. Resistência dos materiais. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2009.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Galpões para usos gerais. 4. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2018. 74 p. (Série Manual de Construção em Aço). ISBN 978-85-89819-25-1.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. Estruturas de aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PINHEIRO, Antônio Carlos Bragança da F. Estruturas metálicas. 2. ed. São Paulo: Blücher, 2005.

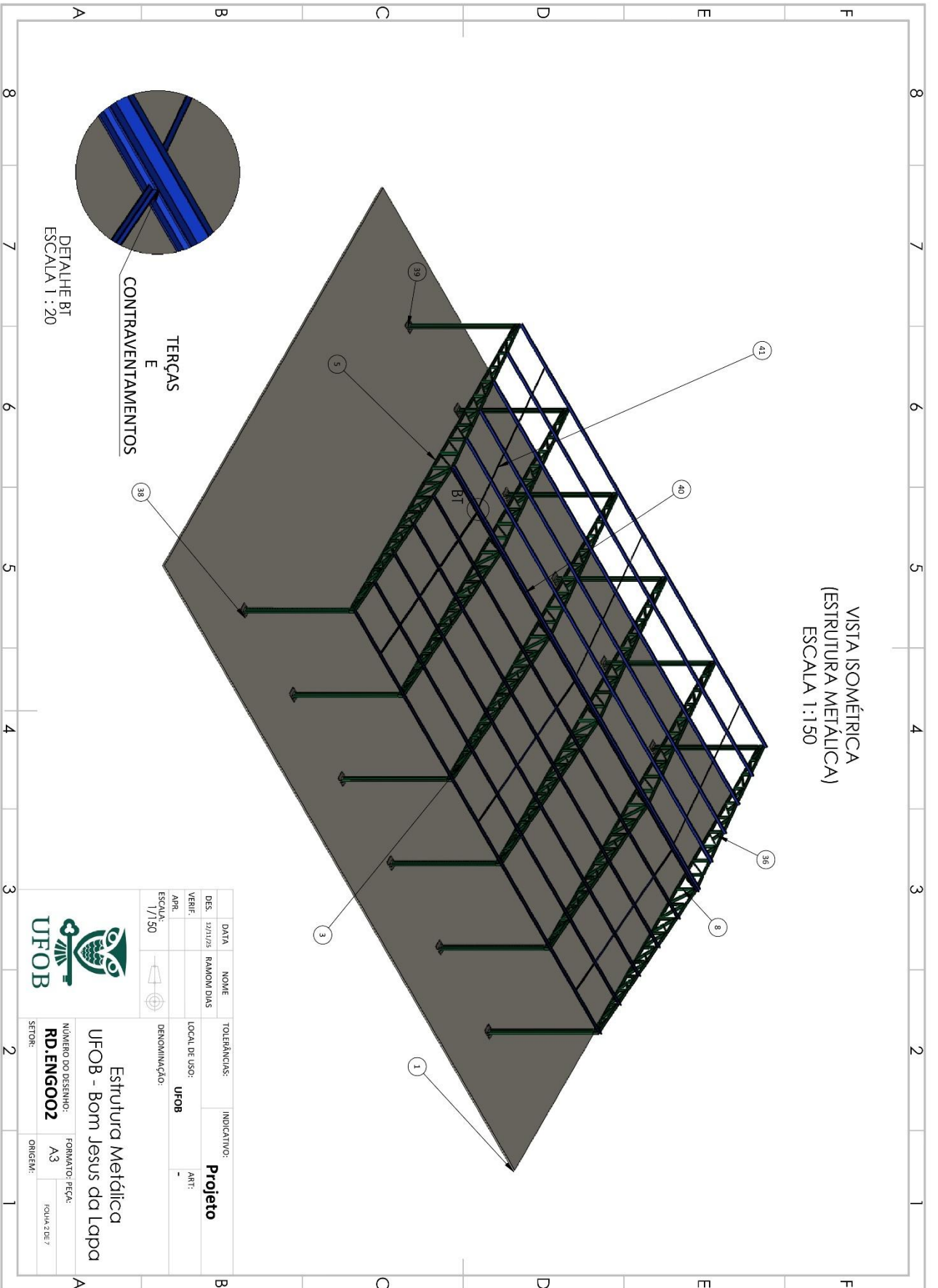
ANEXO



DES.	DATA	NOME	TOLERÂNCIAS:	INDICATIVO:
12/11/23	RAMOIM DIAS			Projeto
VERIF.:		LOCAL DE USO:	DENOMINAÇÃO:	ARTI:
APR.:		UFOB		
ESCALA:				
1/150				


UFOB
 Estrutura Metálica
 UFOB - Bom Jesus da Lapa
 NÚMERO DO DESENHO: **RD.ENG001**
 FORMATO/FEÇA: **A3**
 FOLHA 1 DE 7
 SETOR: **ORIGEM:**

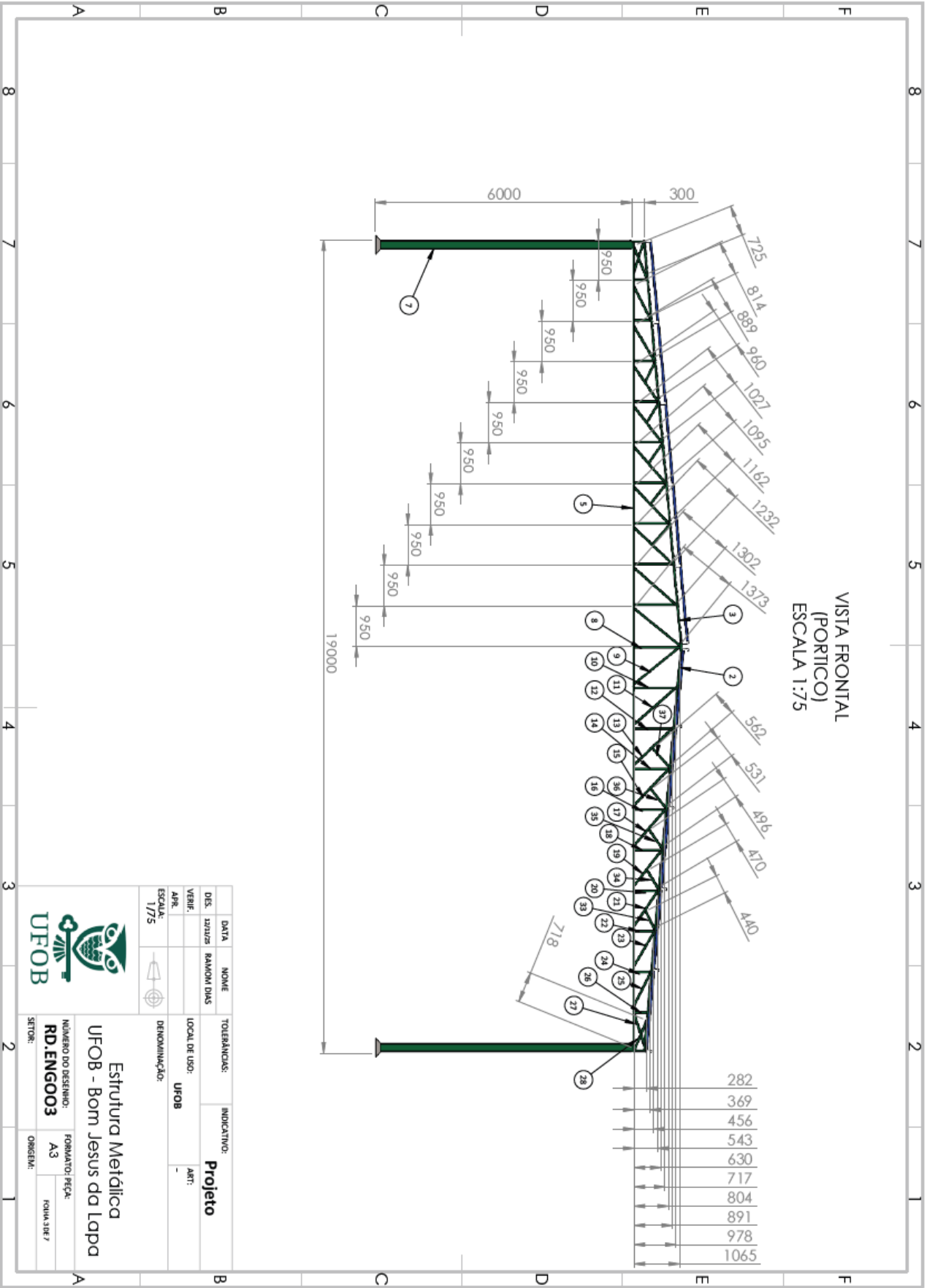
VISTA ISOMÉTRICA
(ESTRUTURA METÁLICA)
ESCALA 1:150



DES.	DATA	NOME	TOLERÂNCIAS	INDICATIVOS
32/11/25		RAMOM DIAS		Projeto
VERIF.			LOCAL DE USO:	ART:
APR.			UFOB	-
ESCALA:			DENOMINAÇÃO:	
1/150				



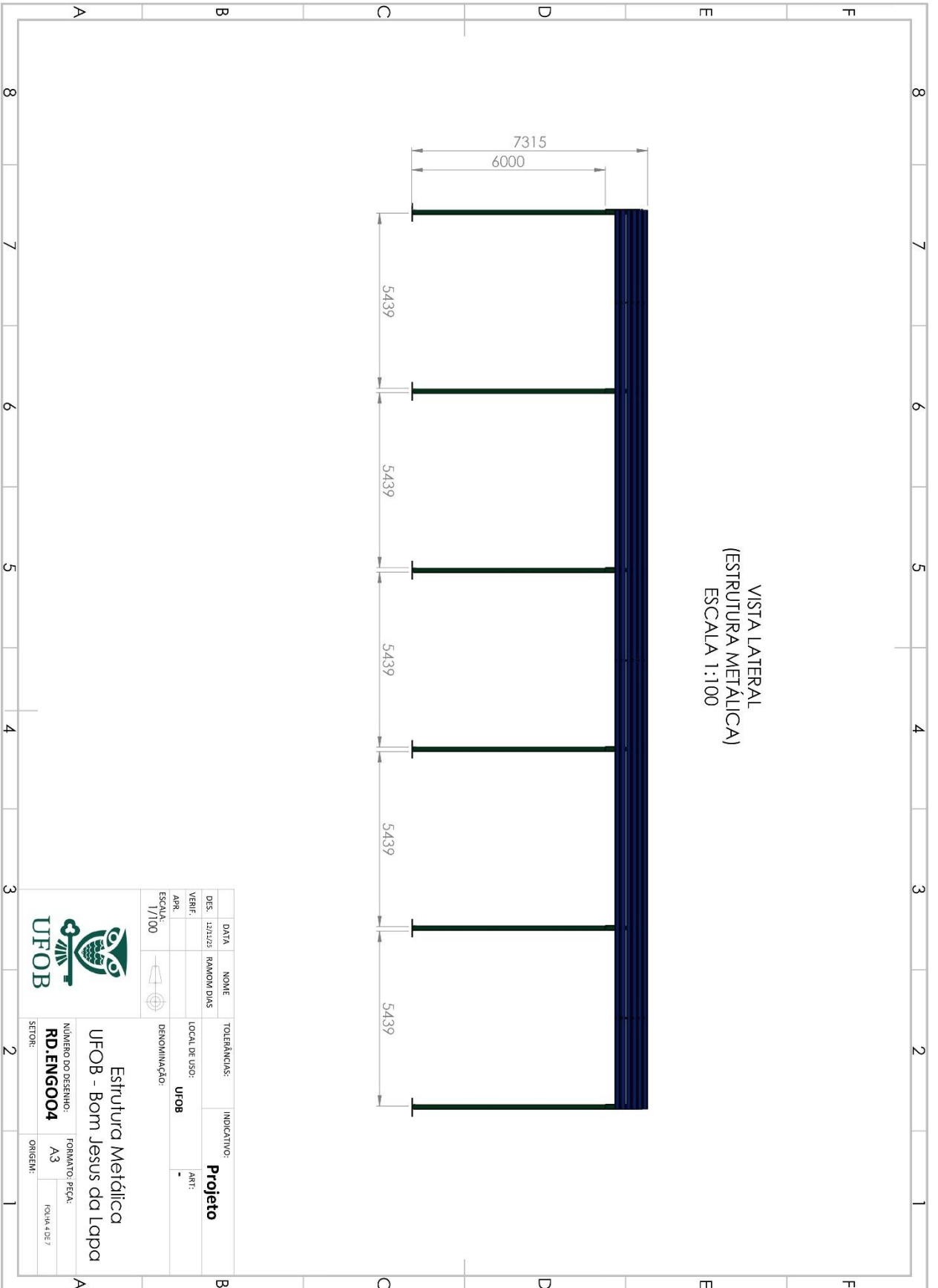
UFOP
 Estrutura Metálica
 UFOP - Bom Jesus da Lapa
 NÚMERO DO DESENHO:
RD.ENG002
 FORMATO: PEÇA:
 A3
 FOLHA 2 DE 7
 SETOR:
 ORIGEM:



DES. DATA	INDICATIVO:	Projeto	
VENIE: RAU/02/03	LOCAL DE USO:	UFOB	
APR.:	DENOMINAÇÃO:	Estrutura Metálica	
ESCALA: 1/75		UFOB - Bom Jesus da Lapa	
NÚMERO DO DESENHO: RD.ENG003		FORMATO: F3	FORMA: 318 x 7
SECTOR: 2		ORÇEM:	

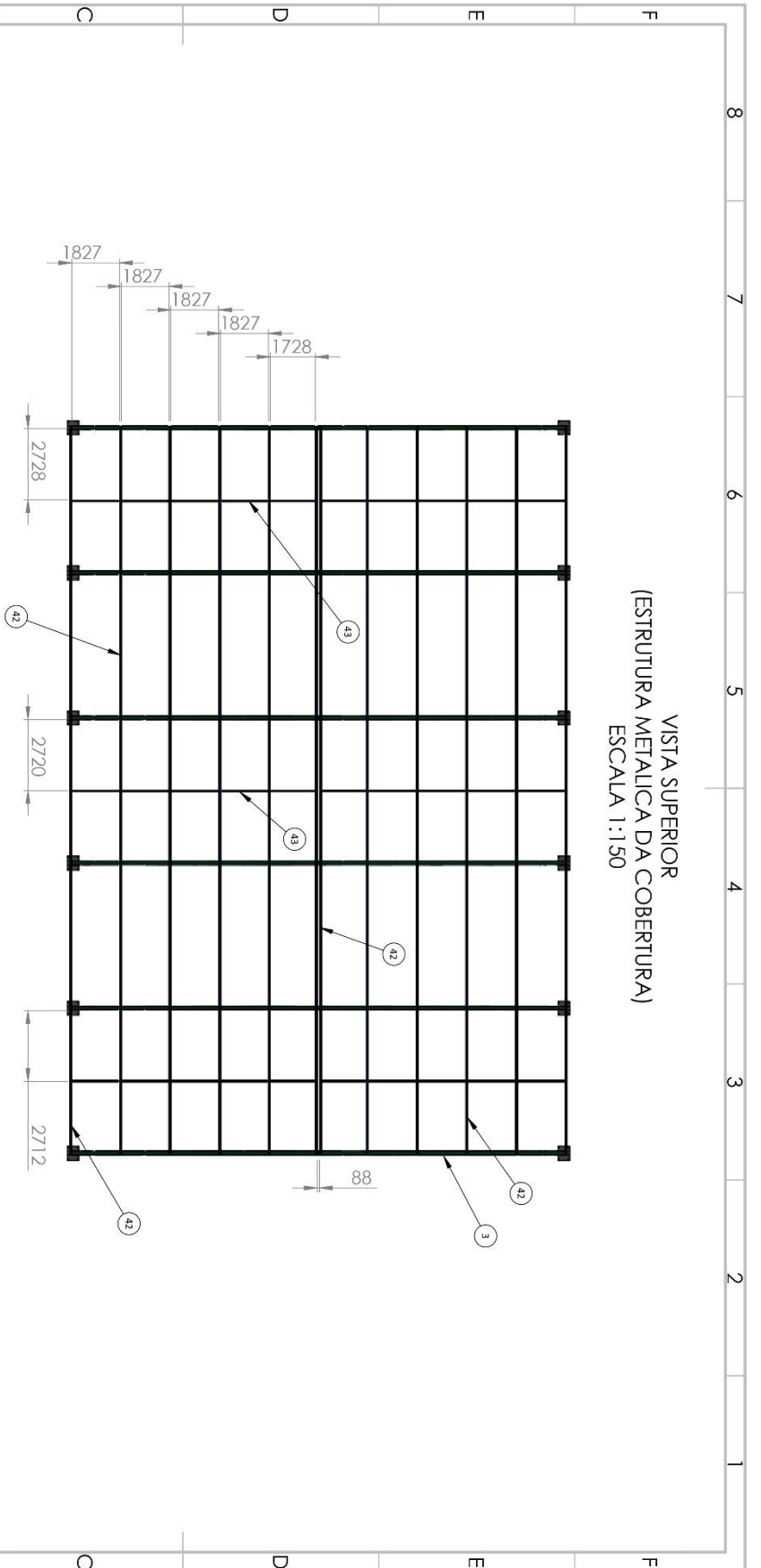


VISTA LATERAL
(ESTRUTURA METÁLICA)
ESCALA 1:100



DES. 1212123	DATA 12/12/23	NOME RAMOM DIAS	TOLERÂNCIAS:	INDICATIVO: Projeto
VERIF. APR			LOCAL DE USO: UFOB	ART: -
ESCALA: 1/100			DENOMINAÇÃO:	
				
Estrutura Metálica UFOB - Bom Jesus da Lapa				
NÚMERO DO DESENHO: RD. ENGO04		FORMATO: PEÇA: A3		ORIGEM: FOLHA 4 DE 7
SECTOR:				

VISTA SUPERIOR
(ESTRUTURA METÁLICA DA COBERTURA)
ESCALA 1:150



DATA:	NOME:	TOLERÂNCIAS:	INDICATIVO:
DES. 12/1/28	RAMON DIAS		Projeto
VÉRIF.:	LOCAL DE USO:		ART:
APR.:	UFOB		-
ESCALA:	DENOMINAÇÃO:		
1/150			
		Estrutura Metálica UFOP - Bom Jesus da Lapa	
		NÚMERO DO DESENHO: RD.ENG005	
		FORMATO: FICHA: A3	FICHA: DEB 7
SETOR:		ORIGEM:	

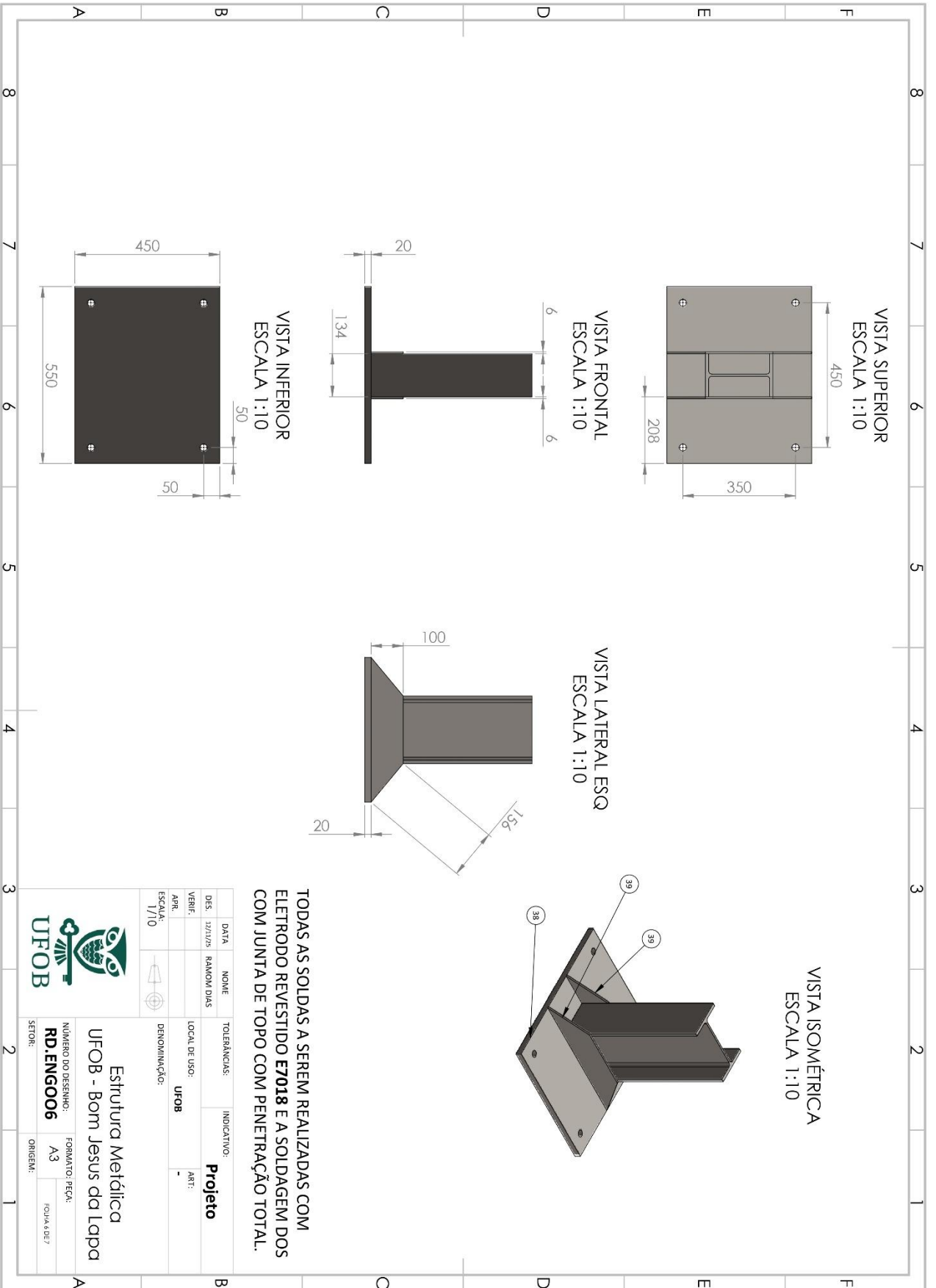
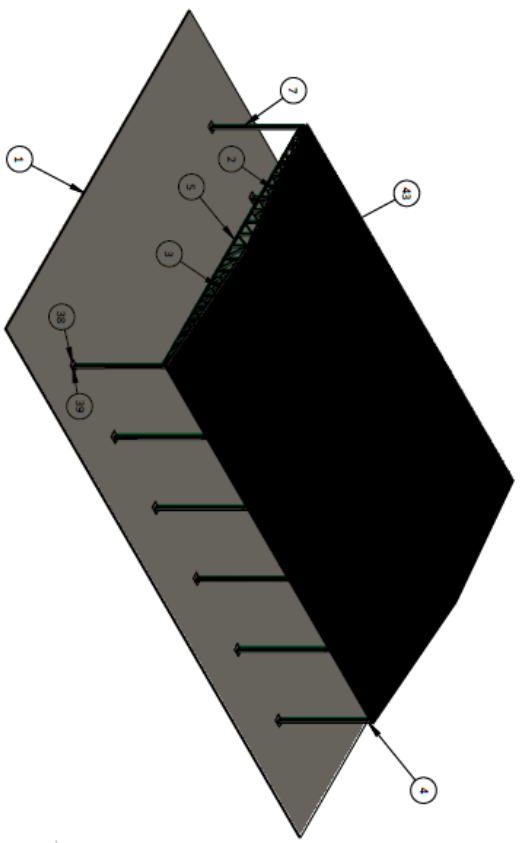


Tabela de materiais

POS QTD	DENOMINAÇÃO	COMPRIMENTO	MATERIAL
1	BISCO		Concreto
1	PERFI SIMP ES x 150 x 50 x 4,75	9806,12	ASTM A36 ACO
6	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 4,75	9543,9	ASTM A36 ACO
3	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 4,75	295,67	ASTM A36 ACO
4	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 4,75	1895,25	ASTM A36 ACO
5	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 4,75	299,83	ASTM A36 ACO
6	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 4,75	6000	ASTM A36 ACO
7	PERFI W200 x 31,3 kg/m		
8	PERFI SIMP ES x 150 x 50 x 2,00	1160,48	ASTM A36 ACO
6	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	1476,31	ASTM A36 ACO
10	PERFI SIMP ES x 30 x 30 x 2,00	1073,48	ASTM A36 ACO
12	PERFI SIMP ES x 30 x 30 x 2,00	1429,31	ASTM A36 ACO
11	PERFI SIMP ES x 50 x 30 x 2,00	989,48	ASTM A36 ACO
12	PERFI SIMP ES x 50 x 30 x 2,00	1364,92	ASTM A36 ACO
14	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	899,48	ASTM A36 ACO
15	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	1302,84	ASTM A36 ACO
16	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	812,48	ASTM A36 ACO
17	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	1243,64	ASTM A36 ACO
18	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	725,48	ASTM A36 ACO
19	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	1187,67	ASTM A36 ACO
20	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	638,48	ASTM A36 ACO
21	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	1135,35	ASTM A36 ACO
22	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	551,48	ASTM A36 ACO
23	PERFI SIMP ES x 30 x 30 x 2,00	1087,06	ASTM A36 ACO
24	PERFI SIMP ES x 30 x 30 x 2,00	1064,48	ASTM A36 ACO
25	PERFI SIMP ES x 30 x 30 x 2,00	1043,09	ASTM A36 ACO
26	PERFI SIMP ES x 50 x 30 x 2,00	377,48	ASTM A36 ACO
27	PERFI SIMP ES x 50 x 30 x 2,00	974,52	ASTM A36 ACO
28	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	440,27	ASTM A36 ACO
29	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	560,82	ASTM A36 ACO
30	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	1005,77	ASTM A36 ACO
31	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	427,53	ASTM A36 ACO
32	PERFI SIMP ES x 150 x 50 x 2,00	544,71	ASTM A36 ACO
33	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	525,05	ASTM A36 ACO
34	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	542,98	ASTM A36 ACO
35	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	549,67	ASTM A36 ACO
36	PERFI SIMP ES x 50 x 50 x 2,00	562,74	ASTM A36 ACO
37	PERFI SIMP ES x 30 x 30 x 2,00	323,73	ASTM A36 ACO
38	PERFI SIMP ES x 30 x 30 x 2,00	623,46	ASTM A36 ACO
39	SAPATA 350X450/ CHAPA 20MM		ASTM A36 ACO
40	NERVURA 450X100/ CHAPA 6MM	28000	ASTM A36 ACO
41	PERFI ENRIJECIDO 150 x 60 x 2,00	1847,95	ASTM A36 ACO
42	PERFI LAM-2" x 3/16"	1747,95	ASTM A36 ACO
43	TELHA TRAPEZIO 40 x 0,43mm	9591,75	TELHA ZINCADA

- 1 - TODAS AS DIMENSOES ESTÃO EM MILIMETROS;
- 2 - PINTURA DA ESTRUTURA METÁLICA COM TINTA DE FUNDO CINZA (PRIMER) E TINTA DE ACABAMENTO CINZA MÉDIO N6,5;
- 3 - TELHAS FIXADAS COM PARAFUSOS AUTOBROCANTE DE 1/2"X1" E7018, COM SOLDAGEM DE JUNTA DE TOPO COM PENETRAÇÃO TOTAL.

VISTA ISOMÉTRICA
(ESTRUTURA METÁLICA COBERTA)
ESCALA 1:250



DES. DATA	RAMOM DIAS	NOME	TOLERÂNCIAS:	INDICATIVO:
VERIF.:				Projeto
APR.:			LOCAL DE USO:	ART:
ESCALA:	1/250		DENOMINAÇÃO:	
		Estrutura Metálica UFOB - Bom Jesus da Lapa		
		NÚMERO DO DESENHO: RD.ENG007	FORMATO: PEÇA: A3	FOLHA 7 DE 7
SECTOR:		ORIGEM:		