



**PROJETO INTEGRADO: PROJETO ESTRUTURAL DE PASSARELA  
METÁLICA PARA TRAVESSIA DE FAUNA SILVESTRE**

**Daniel Vinicius Generoso Rodrigues  
Leonardo Bruno Honorio Ramos**

**SÃO JOÃO DA BOA VISTA  
JUNHO - 2025**

# SUMÁRIO

## Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	4
1.1	Justificativa e Objetivos do Projeto .....	4
1.2	Descrição Geral da Estrutura .....	4
1.3	Local de Implantação Previsto.....	4
	<b>1.4. Animais de Referência.....</b>	<b>5</b>
	<b>1.5. Normas Técnicas Adotadas.....</b>	<b>5</b>
2.	LEVANTAMENTO DE CARGAS ATUANTES .....	6
2.1	Cargas Permanentes (CP) .....	6
2.2	Cargas Acidentais (CA).....	7
2.3	Cargas de Vento (CV).....	8
2.4	Combinações de Carga .....	10
3.	DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE ESTRUTURAL .....	11
3.1	Concepção Estrutural .....	11
3.2	Modelo Estrutural e Análise .....	12
3.3	Dimensionamento dos Elementos Estruturais .....	15
	3.3.1 Banzos da Treliça (Superior e Inferior):.....	15
	3.3.2 Diagonais e montantes da Treliça:.....	16
	3.3.3 Ligações Estruturais .....	16
4.	MEMÓRIA DE CÁLCULO.....	17
4.1	Banzo Superior e Inferior da Treliça .....	17
4.2	Diagonais e montantes .....	18
4.3	Pilares metálicos .....	20
	4.3.1 Dados geométricos e de carregamento dos pilares .....	20
	4.3.2 Dimensionamento dos pilares.....	21
4.2	Carga Axial de Cálculo Total para o Pilar Central (NSd,central,total) .....	21
4.3	Classificação da Seção Transversal (NBR 8800:2008, Anexo F) .....	21
4.4	Cálculo da Força Axial de Compressão Resistente de Cálculo (Nc,Rd) .....	22
4.5	Verificação do Pilar Central.....	23
5.	DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS DE BASE E CHUMBADORES.....	23
5.1	Placa de Base (Considerando para Pilar Central com W150x18) .....	23
5.2	Chumbadores .....	24
6.	PLANEJAMENTO DE EXECUÇÃO (CONFECÇÃO E MONTAGEM).....	25
6.1	Plano de Fabricação dos Componentes Metálicos.....	25

6.2	Plano de Montagem da Estrutura no Local.....	27
6.3	Gestão do Canteiro de Obras .....	28
7.	RELATÓRIO ORÇAMENTÁRIO PRELIMINAR – CONSTRUÇÃO DE PASSARELA 29	
7.1	Especificação Técnica Dos Materiais Estruturais – Aço .....	29
7.2	COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DIRETOS .....	29
7.2.1	Mão de Obra Especializada .....	29
7.2.2	Investigações Geotécnicas – Sondagens.....	30
7.2.3	Serviços Preliminares e Gerais .....	30
7.2.4	Infraestrutura (Fundações).....	30
7.2.5	Locação de Maquinários e Equipamentos .....	31
7.3	RESUMO DO ORÇAMENTO ESTIMATIVO .....	31
7.4	PLANEJAMENTO FÍSICO-FINANCEIRO PRELIMINAR .....	32
<b>8.</b>	<b>Conclusões e Recomendações .....</b>	<b>33</b>
<b>9.</b>	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>33</b>
	<b>Anexos.....</b>	<b>34</b>

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1 Justificativa e Objetivos do Projeto**

A crescente expansão da infraestrutura viária frequentemente resulta na fragmentação de ecossistemas naturais, impondo barreiras ao deslocamento da fauna silvestre e elevando o risco de acidentes rodoviários envolvendo animais. O presente projeto tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma solução estrutural para uma passarela de fauna, visando mitigar esses impactos. A estrutura foi concebida para permitir a travessia segura de animais, com foco inicial nas necessidades do campus da FEOB, mas com a premissa de um design adaptável a diferentes contextos geográficos e topográficos. O trabalho visa aplicar os conhecimentos de análise e dimensionamento de estruturas metálicas, em conformidade com as normativas técnicas brasileiras, culminando em um projeto seguro, funcional e economicamente exequível.

## **1.2 Descrição Geral da Estrutura**

A solução estrutural adotada consiste em uma passarela metálica com superestrutura treliçada. A treliça principal é do tipo Pratt, configurada como uma viga contínua de dois vãos iguais de 16,80 metros cada, totalizando um comprimento de 33,60 metros. A largura útil de passagem para os animais é de 1,40 metros, e a altura da treliça (distância entre os eixos dos banzos superior e inferior) é de 1,40 metros. A modulação dos painéis da treliça é de 1,40 metros, resultando em diagonais inclinadas a 45 graus. A estrutura será apoiada em suas extremidades e em um pilar central.

## **1.3 Local de Implantação Previsto**

O estudo de caso para este projeto considera uma implantação no campus da Fundação de Ensino Octávio Bastos (UNIFEOB), localizado em São João da Boa Vista, SP. A passarela seria posicionada sobre a avenida Dr. Otávio da Silva Bastos. Embora o projeto seja contextualizado para este local, a concepção busca oferecer um modelo estrutural que possa ser adaptado, com os devidos ajustes e verificações, para outras situações com vãos e condições de fundação similares.

Figura 1 – Locação planejada da obra



Fonte: Google Earth

#### 1.4. Animais de Referência

O animal primário de referência para o dimensionamento das cargas de uso e para a definição de aspectos funcionais da passarela (como largura e tipo de piso) é o cachorro-mato (*Cerdocyon thous*), uma espécie de mamífero carnívoro de porte médio, com ocorrência na região. Adicionalmente, o projeto considera a utilização da passarela por outras espécies, como roedores, répteis e anfíbios, influenciando a escolha do tipo de piso e as proteções laterais.

#### 1.5. Normas Técnicas Adotadas

O desenvolvimento deste projeto estrutural e sua respectiva memória de cálculo foram baseados nas seguintes Normas Brasileiras Registradas (NBR) e outras referências técnicas pertinentes:

- **ABNT NBR 8800:2008** - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.
- **ABNT NBR 6123:1988** - Forças devidas ao vento em edificações.
- **Manuais e Catálogos de Fabricantes de Perfis de Aço.**
- **Literatura Técnica Especializada em Estruturas Metálicas.**

## 2. LEVANTAMENTO DE CARGAS ATUANTES

As cargas atuantes na estrutura foram determinadas com base nas prescrições das normas ABNT NBR 6120:2019 e ABNT NBR 8800:2008, considerando as características geométricas da passarela e sua finalidade.

### 2.1 Cargas Permanentes (CP)

As cargas permanentes são constituídas pelo peso próprio dos elementos construtivos da passarela. A estimativa detalhada do peso próprio da estrutura metálica principal (treliças, contraventamentos) será realizada após o dimensionamento final dos perfis e será incorporada diretamente no modelo de análise estrutural. As demais cargas permanentes consideradas são:

- **Piso da Passarela (CP<sub>piso</sub>):** Adotou-se um sistema de piso em gradil metálico eletrofundido, com malha 30x100mm e barras portantes de 30x3mm. Conforme catálogos de fabricantes, o peso específico para este tipo de gradil é de aproximadamente **0,35 kN/m<sup>2</sup>**.
- **Guarda-corpo e Telas de Proteção (CP<sub>guarda</sub>):** O guarda-corpo será constituído por montantes e longarinas em tubos de aço galvanizado (ex:  $\varnothing 2''$ ), e o fechamento lateral e superior por tela de arame galvanizado tipo alambrado (ex: fio 12 BWG, malha

50x50mm). Estima-se um peso de 0,15 kN/m por lateral para o guarda-corpo e 0,05 kN/m<sup>2</sup> para a tela de cobertura. Considerando a largura útil de 1,40 m, a carga distribuída equivalente é de aproximadamente  $(2 \times 0,15 \text{ kN/m}) / 1,40 \text{ m} + 0,05 \text{ kN/m}^2 \approx 0,21 \text{ kN/m}^2 + 0,05 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{0,26 \text{ kN/m}^2}$ .

- **Outros (pintura, etc.):** O peso do sistema de pintura anticorrosiva é estimado em **0,05 kN/m<sup>2</sup>**.

**Tabela 1: Resumo das Cargas Permanentes (Distribuídas no Piso)**

<b>Componente</b>	<b>Valor (kN/m<sup>2</sup>)</b>
Piso da Passarela (CP <sub>piso</sub> )	0,35
Guarda-corpo e Telas (CP <sub>guarda</sub> )	0,26
Substrato para Vegetação (CP <sub>substrato</sub> )	0,00
Outros (pintura, etc.)	0,05
<b>Total CP Distribuída (sem PP estrutura)</b>	<b>0,66</b>

## 2.2 Cargas Acidentais (CA)

As cargas acidentais consideram o uso da passarela pela fauna e para eventuais manutenções, conforme ABNT NBR 6120:2019.

**Tabela 2: Resumo das Cargas Acidentais**

<b>Componente</b>	<b>Critério de Aplicação e Justificativa (NBR 6120)</b>	<b>Valor (kN/m<sup>2</sup>)</b>
<b>1. Carga de Uso - Animais (CA<sub>animais</sub>)</b>	Uniformemente distribuída na área útil do piso (1,40m de largura). Adotada para representar o trânsito de animais de porte médio e pequeno.	<b>1,5 kN/m<sup>2</sup></b>
<b>2. Carga de Manutenção (CA<sub>manut</sub>)</b>	Conforme NBR 6120, Tabela 5 - Passarelas para pedestres com acesso restrito. Considerada não concomitante com a carga total de animais.	<b>1,5 kN/m<sup>2</sup></b>

Justificativa para CA<sub>animais</sub>: O valor de 1,5 kN/m<sup>2</sup> (equivalente a aproximadamente 150 kgf/m<sup>2</sup>) é adotado como uma carga conservadora para simular a presença de animais de médio porte, como o cachorro-do-mato, ou uma concentração de animais

menores. Este valor é compatível com cargas mínimas para passarelas de pedestres de uso leve.

Justificativa para CAmanut: A carga de 1,5 kN/m<sup>2</sup> é adotada para fins de inspeção e reparos leves. A carga concentrada de 2,5 kN (aproximadamente 250 kgf) representa um ou dois trabalhadores com ferramentas e equipamentos leves.

### 2.3 Cargas de Vento (CV)

As forças devidas ao vento foram calculadas com base na ABNT NBR 6123:1988.

#### • Parâmetros Básicos:

- Velocidade básica do vento (V0): 35 m/s (Conforme Figura 1 da NBR 6123, para a região de São João da Boa Vista, SP - Isopleta de 35 m/s).
- Classe da Edificação (quanto às dimensões): Classe B (maior dimensão horizontal ou vertical entre 20m e 50m; no caso, L = 33,6m).
- Grupo de Edificação (quanto à ocupação): Grupo 2 (Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação, incluindo passarelas).

#### • Fatores Multiplicadores:

- Fator topográfico (S1): 1,0 (Considerando terreno plano ou fracamente acidentado - Categoria II da Tabela 1 da NBR 6123, para o qual S1 é geralmente 1,0 para taludes e morros não acentuados).
- Fator de rugosidade do terreno, variação da velocidade do vento com a altura e dimensões da edificação (S2):
  - Rugosidade do Terreno: Categoria III (Terreno aberto, com poucos obstáculos bem espaçados, como áreas rurais ou suburbanas com edificações baixas e esparsas).
  - Altura sobre o terreno (Z): Considerando uma altura média da passarela de 6,0 m em relação ao nível do solo.
  - Para Categoria III, Classe B, Z = 6,0 m: S2=0,88 (Obtido da Tabela 2 da NBR 6123).
- Fator estatístico (S3): 1,0 (Conforme item 5.4 e Tabela 5 da NBR 6123 para Grupo 2 e período de retorno de 50 anos).

#### • Cálculo da Pressão Dinâmica (q):

- Velocidade característica do vento (Vk):

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = 35 \text{ m/s} \cdot 1,0 \cdot 0,88 \cdot 1,0 = \mathbf{30,8 \text{ m/s.}}$$

- Pressão dinâmica (q):  

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 / 1000 = 0,613 \cdot (30,8)^2 / 1000 \approx 0,613 \cdot 948,64 / 1000 \approx 0,581 \text{ kN/m}^2.$$
- **Coefficientes de Arrasto (Ca) e Forças de Vento:**
  - A força de arrasto é dada por  $F_a = C_a \cdot q \cdot A_{ref}$ , onde  $A_{ref}$  é a área de referência.
  - Para as treliças, o coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) depende do índice de solidez ( $\phi$  = área efetiva dos elementos / área total do contorno).
    - Altura da treliça:  $h_t = 1,40 \text{ m}$ .
    - Estimativa do índice de solidez ( $\phi$ ): Considerando perfis típicos para os membros da treliça, estima-se um índice de solidez  $\phi \approx 0,25$ .
    - Para treliças planas com perfis de seção usual e  $\phi = 0,25$ , o  $C_a$  para a treliça de barlavento pode ser estimado em torno de **1,8** (Conforme Tabela 7 da NBR 6123).
- **Força do Vento Transversal na Passarela:**
  - Área de referência por metro linear da treliça ( $A_{ref,trel/m}$ ):  
 $h_t \cdot \phi = 1,40 \text{ m} \cdot 0,25 = 0,35 \text{ m}^2/\text{m}$ .
  - Área de referência por metro linear do guarda-corpo e tela ( $A_{ref,gc/m}$ ): Altura efetiva de 1,0m (considerando tela até o banzo superior) com  $\phi_{gc} \approx 0,4$ .  
 $A_{ref,gc/m} = 1,0 \text{ m} \cdot 0,4 = 0,40 \text{ m}^2/\text{m}$ .
  - Área de referência total por metro linear para uma treliça:  
 $A_{ref,total/m} \approx 0,35 + 0,40 = 0,75 \text{ m}^2/\text{m}$ .
  - Força na treliça de barlavento:  
 $F_{v,barl/m} = C_a \cdot q \cdot A_{ref,total/m} = 1,8 \cdot 0,581 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,75 \text{ m}^2/\text{m} \approx 0,784 \text{ kN/m}$ .
  - Para a treliça de sotavento, o fator de escudo ( $\eta$ ) para um espaçamento  $b = 1,60\text{m}$  e altura  $h_t = 1,40\text{m}$  ( $b/h_t \approx 1,14$ ) e  $\phi = 0,25$ , pode ser estimado em  $\eta \approx 0,85$  (NBR 6123, item 6.2.2.2).
  - Força total transversal na passarela:  
 $F_{v,total/m} = F_{v,barl/m} \cdot (1 + \eta) \approx 0,784 \cdot (1 + 0,85) \approx \mathbf{1,45 \text{ kN/m}}$ . Esta força será distribuída entre os nós dos banzos superior e inferior das duas treliças.
- **Força de Vento Longitudinal:** Para estruturas treliçadas longas, a força longitudinal é geralmente uma fração da transversal (ex: 25% a 50% da força transversal, dependendo da direção do vento e da geometria). Para este projeto, será considerada como 0,40 kN/m, aplicada longitudinalmente.

- **Força de Vento Vertical (Sustentação):** Para o tabuleiro da passarela (considerando largura de 1,40m), com  $C_v = \pm 0,8$  (Tabela 6 da NBR 6123 para superfícies planas).

$$F_{v,vert} = \pm 0,8 \cdot q \cdot (\text{largura}) = \pm 0,8 \cdot 0,581 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,40 \text{ m} \approx \pm 0,65 \text{ kN/m}.$$

Parâmetro	Valor Adotado	Fonte/Justificativa
V0	35 m/s	NBR 6123, Fig.1 (Região SJBV)
S1	1,0	Terreno Plano (Cat. II)
S2	0,88	Cat.III, Cl.B, Z=6m NBR 6123)
S3	1,0	Grupo 2 (NBR 6123)
q	0,581 kN/m <sup>2</sup>	Cálculo
Ca (Trelíça Frontal)	1,8	NBR 6123, Tab.7 (para $\phi \approx 0,25$ )
<b>Força de Vento Transversal de Cálculo (Total na Passarela)</b>	<b>1,45 kN/m</b>	Cálculo
<b>Força de Vento Longitudinal de Cálculo (Total na Passarela)</b>	<b>0,40 kN/m</b>	Estimativa conservadora
<b>  Força de Vento Vertical de Cálculo (Sustentação/Pressão)</b>	<b>± 0,74 kN/m</b>	Cálculo

## 2.4 Combinações de Carga

As combinações de ações foram estabelecidas conforme a ABNT NBR 8800:2008, item 4.7.6, para a verificação dos Estados Limites Últimos (ELU) e Estados Limites de Serviço (ELS). Os coeficientes de ponderação das ações ( $\gamma_f$ ) e os fatores de combinação ( $\psi$ ) são apresentados abaixo.

- **Coefficientes de Ponderação das Ações ( $\gamma_f$ ) para ELU (Combinações Normais - NBR 8800, Tabela 3):**
  - Ações Permanentes Desfavoráveis ( $\gamma_g$ ): **1,25** (para peso próprio de estruturas de aço).
  - Ações Permanentes Favoráveis ( $\gamma_g$ ): **0,90**.
  - Ações Variáveis Principais ( $\gamma_q$ ): **1,50** (para cargas de uso como animais e manutenção).
  - Ações Variáveis Principais ( $\gamma_q$ ): **1,40** (para vento).
- **Fatores de Combinação para Ações Variáveis ( $\psi_0, \psi_1, \psi_2$ ) (NBR 8800, Tabela 4):**
  - Carga de Uso (animais, manutenção - classificada como "cargas acidentais em passarelas para pedestres"):  $\psi_0 = 0,7$ ;  $\psi_1 = 0,5$ ;  $\psi_2 = 0,3$ .
  - Vento:  $\psi_0 = 0,6$ ;  $\psi_1 = 0,3$ ;  $\psi_2 = 0$ .

### 3. DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE ESTRUTURAL

#### 3.1 Concepção Estrutural

O sistema estrutural principal da passarela é composto por duas treliças metálicas planas, do tipo Pratt, dispostas paralelamente e com banzos também paralelos. O espaçamento transversal entre os eixos das treliças é de 1,60 m, o que proporciona uma largura útil interna de 1,40 m para a passagem da fauna (considerando perfis de banzo com aproximadamente 10 cm de largura cada). As treliças possuem altura constante de 1,40 m (distância entre os eixos dos banzos) e são moduladas com painéis de 1,40 m de comprimento, resultando em diagonais inclinadas a  $45^\circ$  em relação à horizontal.

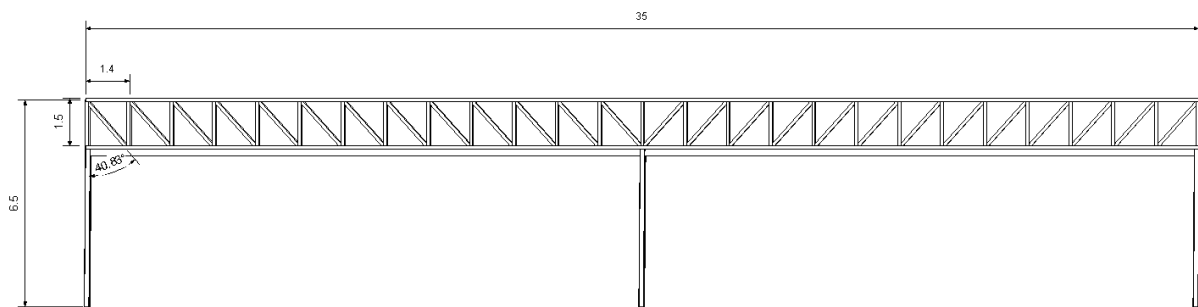
A estrutura vence um vão total de 33,60 m, sendo configurada como uma viga contínua com dois vãos iguais de 16,80 m, apoiada nas extremidades e em um pilar central. Esta configuração de continuidade sobre o apoio central foi escolhida para otimizar a distribuição de momentos fletores e reduzir os deslocamentos verticais em comparação com vãos simples.

Para garantir a estabilidade espacial do conjunto, foram previstos os seguintes sistemas de contraventamento:

- Contraventamento Horizontal Superior: No plano dos banzos superiores, conectando as duas treliças para resistir a esforços transversais (como vento) e garantir a estabilidade lateral dos banzos comprimidos.
- Contraventamento Horizontal Inferior: No plano dos banzos inferiores, com função similar ao superior e contribuindo para a rigidez torsional da passarela. Composição similar ao superior.
- Contraventamento Vertical Transversal: Pórticos rígidos formados pelos montantes das treliças e vigas transversais de piso nos apoios (extremidades e centro) e, se necessário, em pontos intermediários dos vãos (ex: a cada 3 ou 4 painéis), para manter a seção transversal indeformável e transferir cargas laterais para os apoios.

As colunas de apoio serão dimensionadas como parte do sistema e projetadas em perfis metálicos I ou H laminados ou soldados. O sistema de piso será composto por vigas transversais (longarinas secundárias) de aço, espaçadas a cada 1,40 m (coincidindo com os nós inferiores da treliça), sobre as quais será fixado o piso da passarela (gradil metálico).

Figura 2: Esquema da Treliça Pratt Contínua Adotada



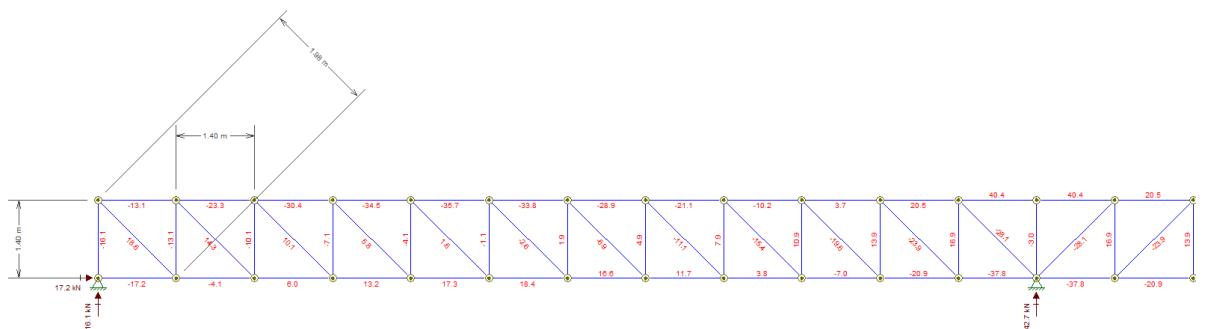
Fonte: dos autores

### 3.2 Modelo Estrutural e Análise

A análise estrutural para determinação dos esforços internos (forças axiais nas barras da treliça, momentos fletores e forças cortantes nas vigas e colunas) e dos deslocamentos foi realizada com o auxílio do software Ftool, Adotou-se um modelo plano (2D) para a análise de uma das treliças principais, considerando que as cargas verticais e transversais (vento perpendicular à face) são distribuídas igualmente entre as duas treliças.

- **Hipóteses de Cálculo Adotadas no Modelo Plano Principal (Ftool):**
  - **Elementos de Barra:** Todos os membros da treliça (banzos, diagonais e montantes) foram modelados como barras lineares, com nós considerados articulados (liberação de momentos fletores nas extremidades das barras), de forma que transmitam apenas esforços axiais (tração ou compressão).
  - **Material:** Aço estrutural com Módulo de Elasticidade Longitudinal  $E=20000 \text{ kN/cm}^2$  e Coeficiente de Poisson  $\nu=0,3$ . As propriedades da seção transversal (área) de cada barra foram inseridas conforme o pré-dimensionamento.
  - **Apoios da Treliza (Modelo Plano):**
    - Apoio da Extremidade A (início do primeiro vão): Considerado como apoio do segundo gênero (pino), restringindo os deslocamentos nas direções X (horizontal) e Y (vertical).
    - Apoio Central B (entre os dois vãos): Considerado como apoio do primeiro gênero (rolete), restringindo apenas o deslocamento na direção Y (vertical).
    - Apoio da Extremidade C (final do segundo vão): Considerado como apoio do primeiro gênero (rolete), restringindo apenas o deslocamento na direção Y (vertical). Esta configuração de apoios permite a análise da treliça como uma estrutura hiperestática (viga contínua de dois vãos).
  - **Carregamentos:** As cargas permanentes (peso próprio do piso, guarda-corpo, etc., e peso próprio estimado da estrutura metálica, e as cargas acidentais (animais, manutenção, vento) foram aplicadas nos nós superiores ou inferiores da treliça, conforme sua incidência real. As cargas de vento foram aplicadas como forças concentradas nos nós, resultantes da pressão do vento atuando nas áreas de influência de cada nó.
- **Resultados da Análise Estrutural:**
  - Foram obtidos os diagramas de esforços axiais (DEA) nas barras da treliça para cada combinação de carregamento (ELU e ELS). Os valores máximos de tração e compressão em cada tipo de barra (banzo superior, banzo inferior, diagonais, montantes) foram identificados para o dimensionamento.

- Figura 3: Diagrama de Esforços Axiais – Combinação de ELU Crítica



### 3.3 Dimensionamento dos Elementos Estruturais

O dimensionamento de todos os elementos estruturais metálicos foi realizado em estrita conformidade com os critérios e procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 8800:2008. O aço estrutural especificado para todos os perfis laminados e chapas é o ASTM A572 Grau 50, com tensão de escoamento  $f_y = 345 \text{ MPa}$  ( $34,5 \text{ kN/cm}^2$ ) e tensão última de ruptura  $f_u = 450 \text{ MPa}$  ( $45,0 \text{ kN/cm}^2$ ). Os coeficientes de ponderação da resistência são  $\gamma_{a1} = 1,10$  (para escoamento e instabilidade) e  $\gamma_{a2} = 1,35$  (para ruptura da seção líquida).

#### 3.3.1 Banzos da Treliça (Superior e Inferior):

Perfis Adotados: Para os banzos superiores, sujeitos predominantemente à compressão e inferiores, sujeitos predominantemente à tração, foram adotados perfis do tipo T da Gerdau, com bitola 1x1/8". As propriedades desta seção composta foram calculadas e utilizadas no dimensionamento.

Verificações:

- **Tração (Seções Tracionadas):**
  - Escoamento da Seção Bruta (ELESB):
    - $N_{t,Rd} = A_g \cdot f_y / \gamma_{a1}$
  - Ruptura da Seção Líquida Efetiva (ELRSN):
    - $N_{t,Rd} = C_t \cdot A_n \cdot f_u / \gamma_{a2}$ .
- **Compressão (Seções Comprimidadas):**
  - Resistência à Força Axial de Compressão ( $N_{c,Rd}$ ):
    - $N_{c,Rd} = (\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y) / \gamma_{a1}$ .
  - O fator de redução global  $\chi$  é determinado em função do índice de esbeltez reduzido  $\lambda_0$  e da curva de flambagem aplicável. O fator Q considera a flambagem local dos elementos da seção.
  - Comprimento de flambagem ( $L_k$ ):
    - $L_k = K \cdot L$ .
  - Para os banzos, L é a distância entre nós da treliça (1,40 m).  
 $K = 1,0$  para flambagem no plano da treliça (nós articulados).
- **Esbeltez:** O índice de esbeltez máximo ( $KL/i$ ) para os trechos comprimidos dos banzos foi limitado a 200.

### 3.3.2 Diagonais e montantes da Treliça:

Perfis Adotados: Para as diagonais e montantes tracionadas e comprimidas, foram utilizados perfis U Gerdau, de 3”.

Verificações: Semelhantes às dos banzos, em que os efeitos da excentricidade da ligação foram considerados conforme NBR 8800 (item 5.3.6).

### 3.3.3 Ligações Estruturais

#### Concepção Geral:

- **Nós da Treliça:** As ligações entre banzos, diagonais e montantes serão, preferencialmente, parafusadas utilizando chapas de nó (gusset plates) de aço ASTM A36 com espessura adequada. Serão utilizados parafusos de alta resistência ASTM A325 com diâmetros M16, dependendo dos esforços.
- **Vigas Transversais x Treliças:** Ligações parafusadas com cantoneiras de alma.
- **Apoios da Treliça nas Colunas/Fundações:** Serão utilizados aparelhos de apoio de neoprene fretado para os apoios móveis (permitindo rotação e translação horizontal) e um sistema de pinos ou ligação mais restrita para o apoio fixo (permitindo rotação mas restringindo translações). Para o apoio central, um aparelho de apoio que permita rotação e impeça translação vertical será utilizado.
- **Base das Colunas:** Placas de base de aço ASTM A36 soldadas às colunas e fixadas às fundações de concreto por meio de chumbadores de aço, dimensionados para resistir aos esforços de compressão, tração e cisalhamento.

## 4. MEMÓRIA DE CÁLCULO

Esta seção apresenta os exemplos de cálculo para os elementos mais críticos, demonstrando a aplicação dos critérios da ABNT NBR 8800:2008. Os cálculos detalhados para todos os elementos constam nos apêndices deste relatório.

### 4.1 Banzo Superior e Inferior da Treliça

- **Esforço Solicitante de Cálculo:**  $N_c, S_d = 40,40 \text{ kN}$
- **Perfil Adotado:** Perfil T Gerdau, 1/1/8”
  - Área da seção transversal ( $A$ ) =  $6,05 \text{ cm}^2$
  - Raio de giração mínimo ( $i_{\min}$ ) =  $1,08 \text{ cm}$
  - Momento de inércia mínimo ( $I_{\min}$ ) =  $7,03 \text{ cm}^4$
  - Aço: ASTM A572 Grau 50 ( $f_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2$ ,  $E = 20000 \text{ kN/cm}^2$ )
  - Comprimento do painel do banzo ( $L$ ):  $140 \text{ cm}$
  - Comprimento de flambagem ( $L_k$ ): Considerando  $K=1,0$  (nós articulados e travados lateralmente no espaçamento  $L$ ),
  - $L_{ky} = 1,0 \cdot 140 \text{ cm} = 140 \text{ cm}$ .
- **Cálculo da Resistência à Compressão:**
  - Índice de Esbeltez ( $\lambda_y$ ):
    - $\lambda_y = L_{ky}/i_{\min} = 140 \text{ cm}/1,08 \text{ cm} \approx 129,6$ 
      - Como  $\lambda_y \leq 200$ , conclui-se que a barra atende o limite para compressão.
  - Índice de Esbeltez reduzido ( $\lambda_0$ ):
    - $\lambda_0 = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{\lambda_y}}$
    - $\lambda_0 = 1,27$
  - Tensão crítica de flambagem ( $F_e$ ):
    - $F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{(K \cdot L/i)^2}$
    - $F_e = 11,75 \text{ kN/cm}^2$
  - Carga Crítica de Euler ( $N_{cr}$ ):

- $N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{L^2}$

- $N_{cr} = 70,80 \text{ kN}$

- Fator de Redução por Instabilidade ( $\chi$ ):

- $\chi = \frac{0,877}{(\lambda_0)^2}$

- $\chi = 0,54$

- Força Normal de Compressão Resistente de Cálculo ( $N_{c,Rd}$ ):

- $N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{al}}$

- $N_{c,Rd} = 103 \text{ kN}$

- **Verificação:**

- Resistência  $N_{c,Sd} = 40,4 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 103 \text{ kN}$ , dessa forma, verifica-se que o perfil e as dimensões escolhidas para a barra são suficientes para suportar as cargas solicitantes.

- **Cálculo da Resistência à Tração:**

- Altura ( $h$ ) = 50,8 mm

- Largura da mesa ( $b_f$ ) = 50,8 mm

- Espessura da alma ( $t_w$ ) = 6,35 mm

- Altura da mesa ( $t_f$ ) = 6,35 mm

- Aço: ASTM A36 ( $f_y = 250 \text{ MPa}$ ,  $f_u = 400 \text{ Mpa}$ )

- Coeficiente de segurança (escoamento) = 1,1

- Coeficiente de segurança (rompimento) = 1,35

- Esforço de escoamento ( $E$ ):

- $E = \frac{A \cdot f_y}{1,1}$

- $E = 137,5 \text{ kN}$

- **Verificação:**

- O máximo esforço de tração é de 38 kN, portanto, a barra projetada atende aos esforços de tração.

## 4.2 Diagonais e montantes

- **Esforço Solicitante de Cálculo:**  $N_{c,Sd} = 40,40 \text{ kN}$

- **Perfil Adotado:** Perfil U Gerdau, 3”
  - Área da seção transversal ( $A$ ) = 7,78 cm<sup>2</sup>
  - Raio de giração mínimo ( $i_{\min}$ ) = 1,03 cm
  - Momento de inércia mínimo ( $I_{\min}$ ) = 8,20 cm<sup>4</sup>
  - Aço: ASTM A572 Grau 50 ( $f_y = 34,5$  kN/cm<sup>2</sup>,  $E=20000$  kN/cm<sup>2</sup>)
  - Comprimento do painel do banzo ( $L$ ): 198 cm
  - Comprimento de flambagem ( $L_k$ ): Considerando  $K=1,0$  (nós articulados e travados lateralmente no espaçamento  $L$ ),
  - $L_{ky}=1,0 \cdot 198$  cm=198 cm.
- **Cálculo da Resistência à Compressão:**
  - Índice de Esbeltez ( $\lambda_y$ ):
    - $\lambda_y = L_{ky}/i_{\min} = 198$  cm/1,03 cm = 192,2
    - Como  $\lambda_y \leq 200$ , conclui-se que a barra atende o limite para compressão.
  - Índice de Esbeltez reduzido ( $\lambda_0$ ):
    - $\lambda_0 = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{\lambda_y}}$
    - $\lambda_0 = 1,18$
  - Tensão crítica de flambagem ( $F_e$ ):
    - $F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{(K \cdot L/i)^2}$
    - $F_e = 5,34$  kN/cm<sup>2</sup>
  - Carga Crítica de Euler ( $N_{cr}$ ):
    - $N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{L^2}$
    - $N_{cr} = 41,29$  kN
  - Fator de Redução por Instabilidade ( $\chi$ ):
    - $\chi = \frac{0,877}{(\lambda_0)^2}$
    - $\chi = 0,63$
  - Força Normal de Compressão Resistente de Cálculo ( $N_{c,Rd}$ ):
    - $N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{al}}$
    - $N_{c,Rd} = 153$  kN
- **Verificação:**

- Resistência  $N_c, Sd = 28,1kN < N_c, Rd = 153kN$ , dessa forma, verifica-se que o perfil e as dimensões escolhidas para a barra são suficientes para suportar as cargas solicitantes.

- **Cálculo da Resistência à Tração:**

- Altura (h) = 35,81 mm
- Largura da mesa (bf) = 35,81 mm
- Espessura da alma (tw) = 4,32 mm
- Altura da mesa (tf) = 6,35 mm
- Aço: ASTM A36 ( $f_y = 250$  MPa,  $f_u = 400$  Mpa)
- Coeficiente de segurança (escoamento) = 1,1
- Coeficiente de segurança (rompimento) = 1,35
- Esforço de escoamento (E):
  - $E = \frac{A \cdot f_y}{1,1}$
  - $E = 176,8$  kN

- **Verificação:**

- O máximo esforço de tração é de 19 kN, portanto, a barra projetada atende aos esforços de tração.

## 4.3 Pilares metálicos

### 4.3.1 Dados geométricos e de carregamento dos pilares

- **Altura dos Pilares (L):** 5,0 metros (500 cm)
- **Condições de Apoio:** Engastado na base e rotulado no topo.
- **Coeficiente de Flambagem (K):** Adotado  $K_x = K_y = 0,80$  (NBR 8800:2008, Anexo E, Tabela E.1, caso 'c').
- **Comprimento de Flambagem (Lk):**  $L_k = K \cdot L = 0,80 \cdot 500$  cm = 400 cm.
- **Cargas Axiais de Compressão Solicitantes de Cálculo (NSd):**
  - **Pilar Central:**  $NSd, axial, central = 42,7$  kN (carga proveniente da superestrutura)
  - **Pilares Laterais:**  $NSd, axial, lateral = 16,1$  kN (carga proveniente da superestrutura)

- **Momentos Fletores e Forças Cortantes:** Considerados desprezíveis para o dimensionamento principal dos pilares neste estágio preliminar (compressão axial dominante).
- **Coefficiente de Ponderação para Peso Próprio ( $\gamma_g$ ):** 1,25 (para peso próprio do aço).

#### 4.3.2 Dimensionamento dos pilares

O pilar central é o mais solicitado e seu dimensionamento guiará a escolha inicial do perfil.

**Perfil Adotado:** Perfil W150x18 (AISC)

- Massa linear: 18 kg/m  $\approx$  0,1766 kN/m
- Área da seção bruta ( $A_g$ ): 22,9 cm<sup>2</sup>
- Altura do perfil (d): 155 mm
- Largura da mesa (bf): 102 mm
- Espessura da alma (tw): 5,6 mm
- Espessura da mesa (tf): 7,1 mm
- Raio de giração em torno do eixo x-x ( $i_x$ ): 6,42 cm
- Raio de giração em torno do eixo y-y ( $i_y$ ): 2,42 cm

#### 4.2 Carga Axial de Cálculo Total para o Pilar Central (NSd,central,total)

- Peso próprio do pilar (PP): 0,1766 kN/m  $\cdot$  5,0 m = 0,883 kN
- Peso próprio de cálculo (PPd):  $\gamma_g \cdot PP = 1,25 \cdot 0,883$  kN = 1,104 kN
- NSd,central,total = NSd,axial,central + PPd = 42,7 kN + 1,104 kN = 43,804 kN

#### 4.3 Classificação da Seção Transversal (NBR 8800:2008, Anexo F)

- **Mesa (Elemento AA):**
  - $b = bf/2 = 102 \text{ mm}/2 = 51 \text{ mm}$
  - $t = tf = 7,1 \text{ mm}$
  - $\lambda = b/t = 51/7,1 \approx 7,18$

- $\lambda_p$  (Grupo 2 para  $f_y=345$  MPa) = 0,56  
 $E/f_y=0,56/34,5 \approx 0,56 \cdot 24,056 \approx 13,47$
- Como  $\lambda(7,18) \leq \lambda_p(13,47)$ , a mesa é **Compacta (C)**.
- **Alma (Elemento AL):**
  - $h_w \approx d - 2t_f = 155 - 2 \cdot 7,1 = 140,8$  mm.
  - $t_w = 5,6$  mm
  - $\lambda = h_w/t_w = 140,8/5,6 \approx 25,14$ 
    - $\lambda_p$ , Grupo 1 ou 2 para  $f_y = 345$  MPa) = 1,49
    - $E/f_y = 1,49/34,5 \approx 1,49 \cdot 24,056 \approx 35,84$
  - Como  $\lambda(25,14) \leq \lambda_p(35,84)$ , a alma é **Compacta (C)**.
- **Conclusão da Classificação:** A seção W150x18 é composta por elementos compactos. Portanto, o fator de redução associado à flambagem local,  $Q=1,0$ .

#### 4.4 Cálculo da Força Axial de Compressão Resistente de Cálculo (Nc,Rd)

- Flambagem em torno do eixo y-y (menor inércia,  $i_y=2,42$  cm) é crítica.
- Comprimento de flambagem L.  $k_y = K_y \cdot L = 0,80 \cdot 500$  cm = 400 cm.
- Índice de esbeltez ( $\lambda_y$ ):  $\lambda_y = L/k_y / i_y = 400$  cm / 2,42 cm  $\approx 165,29$ .
- Limite de esbeltez:  $\lambda_y = 165,29 \leq 200$  (**OK**) (NBR 8800, item 5.3.4.1).
- Força axial de flambagem elástica (Ne):
  - $N_{ey} = (\pi^2 \cdot E \cdot I_y) / L_{ky}^2$ .  $I_y = A_g \cdot i_y^2 = 22,9$  cm<sup>2</sup> · (2,42 cm)<sup>2</sup>  $\approx 134,11$  cm<sup>4</sup>.
  - $N_{ey} = (\pi^2 \cdot 20000$  kN/cm<sup>2</sup> · 134,11 cm<sup>4</sup>) / (400 cm)<sup>2</sup>  $\approx 165,46$  kN.
- Índice de esbeltez reduzido ( $\lambda_0$ ):
  - $\lambda_0 = (Q \cdot A_g \cdot f_y) / N_{ey} = (1,0 \cdot 22,9$  cm<sup>2</sup> · 34,5 kN/cm<sup>2</sup>) / 165,46 kN  $\approx 2,185$ .
- Curva de Flambagem (NBR 8800, Tabela G.1): Para perfis I laminados
  - ( $b_f/d \approx 102/155 \approx 0,66$ ;  $t_f \leq 40$  mm), flambando em torno do eixo y-y, utiliza-se a **curva 'c'**, para a qual  $\alpha = 0,49$ .
  - Parâmetro  $\phi$ :  $\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_0 - 0,2) + \lambda_0^2]$   
 $\phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,185 - 0,2) + 2,185^2] \approx 3,3734$ .
- Fator de Redução por Instabilidade Global ( $\chi$ ):  $\chi = 1 / (\phi + \phi^2 - \lambda_0^2) \approx 0,1682$ .
- Força Normal de Compressão Resistente de Cálculo (Nc,Rd):  $N_{c,Rd} = (\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y) / \gamma_{a1}$   
 $N_{c,Rd} = (0,1682 \cdot 1,0 \cdot 22,9$  cm<sup>2</sup> · 34,5 kN/cm<sup>2</sup>) / 1,10  $\approx 120,72$  kN.

## 4.5 Verificação do Pilar Central

- $NSd,central,total = 43,804 \text{ kN}$
- $Nc,Rd = 120,72 \text{ kN}$
- Verificação:  $NSd,central,total (43,804 \text{ kN}) \leq Nc,Rd(120,72 \text{ kN})$
- **Status: OK**

O perfil W150x18 atende com folga para o pilar central.

## 5. DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS DE BASE E CHUMBADORES

### 5.1 Placa de Base (Considerando para Pilar Central com W150x18)

- $NSd,central,total=43,804 \text{ kN}$ .
- Concreto da Fundação:  $fck=25 \text{ MPa}$
- Resistência de cálculo do concreto ao esmagamento sob a placa ( $fcd,concreto$ ):  
Considerando área da placa  $A1$  e área de influência no concreto  $A2$ .
  - $fcd,concreto = 0,85 \cdot \alpha_c \cdot fck / \gamma_c$ .
  - Adotando  $\alpha_c = 0,85$  e  $\gamma_c = 1,4$ .
  - $fcd,concreto = 0,85 \cdot 0,85 \cdot 25 \text{ kN/cm}^2 / 1,4 \approx 1,288 \text{ kN/cm}^2$ .
- Área Mínima da Placa de Base ( $A1,nec$ ):
  - $A1,nec = NSd,central,total / (fcd,concreto \cdot A2/A1) \leq NSd,central,total / (1,7 \cdot fcd,concreto)$ .
  - Se  $A2/A1 \approx 1$ ,  $A1,nec \approx 43,804 / 1,288 \approx 34,01 \text{ cm}^2$ .
  - Dimensões do perfil W150x18:  $d \approx 15,5 \text{ cm}$  (altura),  $bf \approx 10,2 \text{ cm}$  (largura da mesa).
  - Uma placa de base com dimensões um pouco maiores que o perfil, por exemplo, **25cm x 20cm** ( $A1=500 \text{ cm}^2$ ) é a adequada para distribuir a tensão e acomodar os chumbadores.
  - Tensão no concreto:
    - $\sigma_c = 43,804 \text{ kN} / 500 \text{ cm}^2 = 0,0876 \text{ kN/cm}^2 \ll 1,288 \text{ kN/cm}^2$ .
- Espessura da Placa de Base ( $tp$ ): Será determinada pelo momento fletor nos balanços da placa, conforme NBR 8800, item 7.2.3.
- $MSd,placa = \sigma_c \cdot c^2 / 2$ , onde  $c$  é o maior balanço.
  - $tp \geq (4 \cdot MSd,placa) / (0,9 \cdot f_y \cdot largura)$ .

- Uma espessura usual para cargas baixas seria entre 12,5mm (1/2") e 19mm (3/4").

## 5.2 Chumbadores

- Função principal: Posicionamento do pilar e resistência a eventuais esforços de tração ou cisalhamento não previstos (ou pequenos momentos na base).

Número e Diâmetro: Mínimo de 6 chumbadores. Para este porte de estrutura, serão utilizados chumbadores de  $\varnothing 16$  mm (5/8") com comprimento de ancoragem adequado (conforme NBR 6118).

Figura 4 – esquema de chumbadores considerados



Fonte: dos autores

## 6. PLANEJAMENTO DE EXECUÇÃO (CONFEÇÃO E MONTAGEM)

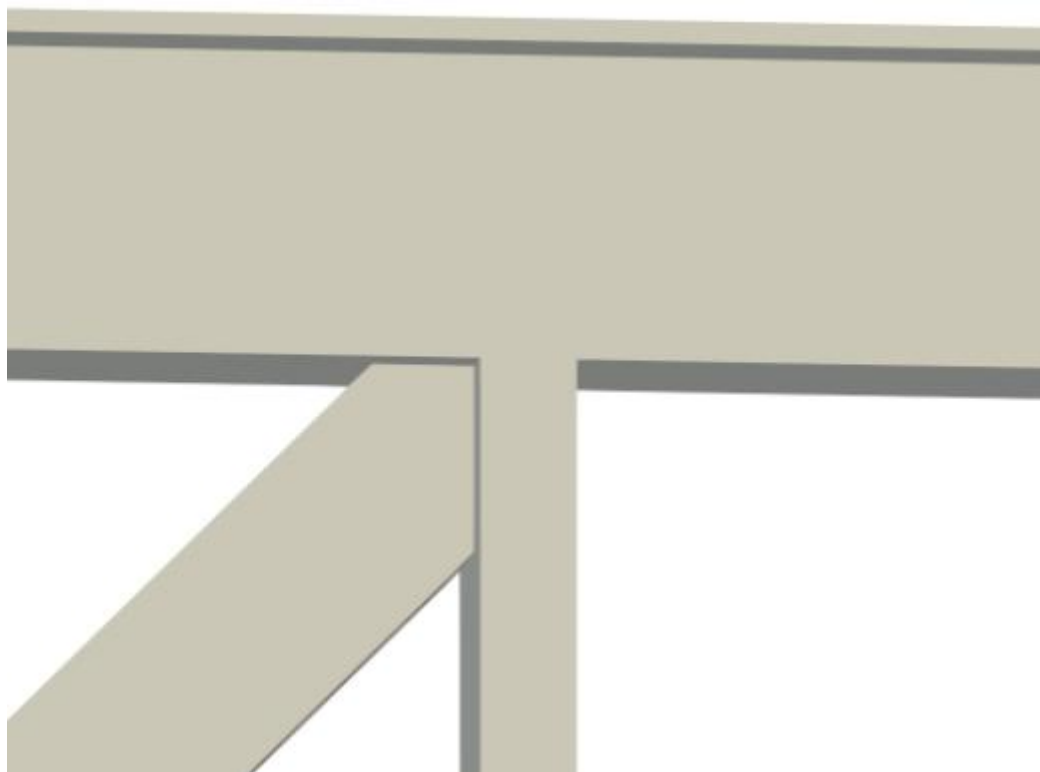
### 6.1 Plano de Fabricação dos Componentes Metálicos

A fabricação dos componentes metálicos deverá ser realizada em oficina especializada, seguindo rigorosamente os projetos executivos (pranchas de fabricação e detalhamento) e as especificações técnicas.

1. **Matéria-Prima:** Aquisição de perfis e chapas de aço (ASTM A572 Grau 50), acompanhados dos respectivos certificados de qualidade do fabricante, atestando as propriedades mecânicas e composição química.
2. **Corte e Preparação:** Os elementos serão cortados nas dimensões exatas especificadas em projeto, utilizando processos que minimizem distorções térmicas e garantam a precisão dimensional (ex: serra de fita para perfis, corte a plasma ou oxicorte CNC para chapas, com posterior esmerilhamento das bordas para remoção de rebarbas e carepas). Preparação de chanfros para soldas de penetração.
3. **Furação:** As furações para as ligações parafusadas serão executadas preferencialmente com furadeiras de bancada ou CNC, garantindo o diâmetro, a posição e o alinhamento corretos dos furos, conforme tolerâncias da NBR 8800.
4. **Soldagem:** Todos os processos de soldagem seguirão Procedimentos de Soldagem (EPS) qualificados e serão executados por soldadores qualificados conforme NBR ISO 9606-1. Os consumíveis de soldagem (eletrodos, arames) serão compatíveis com o metal base. Será realizada limpeza interpases e inspeção visual de 100% das soldas. Ensaio não destrutivo (LP, PM, US) serão aplicados em soldas críticas conforme plano de inspeção.
5. **Pré-Montagem:** Recomenda-se a pré-montagem em fábrica de segmentos representativos da treliça ou de nós complexos para verificar o ajuste dimensional das peças, a coincidência de furações e a facilidade de montagem, minimizando problemas em campo.
6. **Identificação das Peças:** Todas as peças fabricadas serão marcadas com identificação única (conforme marcação em projeto) para facilitar a rastreabilidade e a montagem no canteiro.
7. **Tratamento de Superfície e Pintura:**
  - Limpeza da superfície por jateamento abrasivo ao grau Sa 2 ½ (ISO 8501-1).

- Aplicação de sistema de pintura anticorrosiva de alta durabilidade, adequado ao ambiente de exposição (Categoria de corrosividade C3 ou C4, conforme ISO 12944). Exemplo de sistema:
    - Primer: Epóxi-zinco (70-80  $\mu\text{m}$  EPS).
    - Intermediária: Epóxi poliamida de alta espessura (120-150  $\mu\text{m}$  EPS).
    - Acabamento: Poliuretano alifático na cor cinza, resistente a UV (60-80  $\mu\text{m}$  EPS).
  - A espessura total de película seca (EPS) será de no mínimo 250  $\mu\text{m}$ . O controle de espessura será realizado em todas as camadas.
8. **Inspeção Final e Liberação:** Inspeção dimensional final das peças, verificação da qualidade da pintura e liberação para transporte.

**Figura 5:** Esquema de montagem das estruturas e seu acabamento



Fonte: dos autores

## **6.2 Plano de Montagem da Estrutura no Local**

A montagem da estrutura no canteiro de obras deverá ser precedida de um planejamento detalhado, visando segurança, qualidade e eficiência.

### **1. Planejamento Logístico e de Segurança:**

- Elaboração de Plano de Rigging para todas as operações de içamento, detalhando os equipamentos (guindaste com capacidade e alcance adequados), acessórios de içamento, sequências e responsabilidades.
- Análise Preliminar de Risco (APR) para todas as etapas da montagem, com foco em trabalho em altura, içamento de cargas e movimentação de equipamentos.
- Isolamento e sinalização da área de montagem.
- Disponibilização de todos os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e Coletiva (EPCs) necessários.

### **2. Preparo do Canteiro e Fundações:**

- Verificação e liberação das fundações (blocos de concreto ou sapatas) conforme projeto, incluindo a conferência topográfica da locação, cotas de arrasamento e posicionamento dos chumbadores ou placas de base.
- Limpeza e organização do local para recebimento e manuseio das peças metálicas.

### **3. Montagem das Colunas de Apoio:**

- Içamento e posicionamento das colunas sobre as bases de concreto.
- Nivelamento, prumo e alinhamento das colunas, com fixação provisória.
- Após o alinhamento final, execução do grouteamento sob as placas de base e aperto final dos chumbadores.

### **4. Montagem das Treliças:**

- As treliças podem ser montadas em segmentos no solo (se o espaço permitir e o guindaste tiver capacidade) ou peça a peça diretamente na posição final, utilizando escoramentos e apoios temporários devidamente dimensionados e contraventados para garantir a estabilidade durante as fases intermediárias.
- Içamento dos segmentos ou barras, seguindo a sequência definida no plano de montagem.
- Conexão provisória dos nós com parafusos ou pinos, garantindo o alinhamento e a geometria correta.

- Instalação progressiva dos contraventamentos horizontais e verticais para estabilização do conjunto.

#### 5. **Conexões Finais:**

- Após a montagem completa da geometria principal da treliça e dos contraventamentos, e conferência de alinhamento, prumo e nível, realizar o aperto final de todos os parafusos estruturais conforme o torque ou método de aperto especificado em projeto.
- Execução de soldas de campo seguindo os mesmos padrões de qualidade da fabricação.

#### 6. **Instalação dos Elementos Secundários:**

- Montagem das vigas transversais de piso.
- Instalação do sistema de piso (gradil, chapa xadrez ou assoalho de madeira).
- Fixação dos guarda-corpos e telas de proteção.

#### 7. **Inspeção Final da Montagem:** Verificação de todos os aperto de parafusos, integridade das soldas de campo, alinhamento final da estrutura, e retoque da pintura em pontos danificados durante a montagem.

### 6.3 **Gestão do Canteiro de Obras**

Uma gestão eficaz do canteiro é fundamental para o sucesso do projeto, abrangendo:

- **Segurança do Trabalho:** Prioridade máxima, com implementação rigorosa das NRs aplicáveis (NR-18, NR-35, NR-12, etc.), Diálogos Diários de Segurança (DDS), fiscalização contínua do uso de EPIs e EPCs, e procedimentos de emergência.
- **Organização e Limpeza:** Manutenção de um canteiro organizado, com áreas de armazenamento adequadas e protegidas para os materiais, vias de acesso desobstruídas, e coleta seletiva de resíduos.
- **Controle de Qualidade:** Implementação de um plano de inspeção de recebimento de materiais e de serviços de montagem, com registros e documentação.
- **Planejamento e Controle do Cronograma:** Acompanhamento do progresso da montagem em relação ao cronograma estabelecido, identificando e tratando desvios.
- **Comunicação:** Canais de comunicação claros entre a equipe de montagem, fiscalização, projetista e demais envolvidos.

## 7. RELATÓRIO ORÇAMENTÁRIO PRELIMINAR – CONSTRUÇÃO DE PASSARELA

### 7.1 Especificação Técnica Dos Materiais Estruturais – Aço

Para a execução da estrutura metálica da passarela, foi especificado o aço **ASTM A36** ou seu equivalente nacional **NBR 7007 MR 250**. Este material é um aço carbono estrutural de média resistência mecânica, apresentando limite mínimo de escoamento de  $f_y=250$  MPa. Sua escolha se justifica pela adequada soldabilidade e conformabilidade, características essenciais para a fabricação e montagem de estruturas metálicas, aliadas a um custo competitivo para este tipo de aplicação.

A quantificação dos perfis metálicos e chapas de aço foi realizada com base no pré-dimensionamento estrutural e nos desenhos de projeto. O levantamento de quantitativos resultou em um peso total estimado de aço de 3500kg. A cotação para aquisição do material considerou os preços unitários médios de mercado para perfis e chapas, referenciando-se em catálogos de distribuidores como a Gerdau e/ou cotações específicas para o lote de material.

- **Quantitativo Estimado de Aço:** 3500kg
- **Preço Unitário Médio Adotado (com impostos) Perfil U:** R\$ 7,90/kg
- **Preço Unitário Médio Adotado (com impostos) Perfil T:** R\$ 8,90/kg
- **Custo Total Estimado para Aço Estrutural:** R\$ 50712,16

### 7.2 COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DIRETOS

A estimativa de custos diretos para a construção da passarela foi elaborada com base em composições de custos unitários (CPU) para cada serviço, considerando materiais, mão de obra e equipamentos, ou através de cotações de mercado e estimativas paramétricas para itens específicos.

#### 7.2.1 Mão de Obra Especializada

A equipe de execução foi dimensionada considerando as atividades de fabricação (se aplicável no local) e montagem da estrutura metálica, bem como os serviços de infraestrutura. O custo total da mão de obra contempla salários, encargos sociais (Leis Sociais) e benefícios (BDI da mão de obra, se não incluído no BDI geral).

- **Equipe Prevista:**
  - 1 Serralheiro Montador
  - 1 Soldador Qualificado
  - 2 Ajudantes Especializados
- **Custo Mensal Médio por Colaborador (com encargos): R\$ 4500,00**
- **Período Estimado de Mobilização da Equipe: 2,5 meses (dois meses e meio)**
- **Custo Total Estimado da Mão de Obra: R\$ 45.000,00.**

### 7.2.2 Investigações Geotécnicas – Sondagens

Para o adequado dimensionamento das fundações da passarela, foram previstas investigações geotécnicas do subleito.

- **Tipo de Sondagem:** Sondagem à Percussão - SPT
- **Quantidade:** 03 (três) furos de sondagem
- **Profundidade Estimada por Furo:** até 2 metros ou critério de paralisação
- **Custo Unitário por Amostragem/Furo (incluindo relatório técnico): R\$ 1.250,00**
- **Custo Total Estimado para Sondagens: R\$ 3.750,00**

### 7.2.3 Serviços Preliminares e Gerais

Este item contempla as despesas iniciais indispensáveis para a viabilização e regularização da obra.

- **Componentes Principais:**
  - Elaboração e/ou compatibilização de projetos executivos (estrutural, fundações, etc.)
  - Taxas de aprovação e licenças junto aos órgãos competentes (Prefeitura, CREA, etc.)
  - Emissão de Anotações de Responsabilidade Técnica (ARTs)
  - Instalação de canteiro de obras provisório (barracão, sanitários, tapumes, etc.)
  - Ligação provisória de água e energia
  - Seguro da obra
- **Custo Total Estimado para Serviços Preliminares e Gerais: R\$ 16.500,00**

### 7.2.4 Infraestrutura (Fundações)

Os custos de infraestrutura referem-se à execução das fundações da passarela, projetadas para suportar as cargas da meso e superestrutura, considerando as características do solo (a serem definidas após sondagem) e o porte da obra (passarela para animais de pequeno porte).

- **Tipologia de Fundação Estimada:** Sapatas isoladas em concreto armado
- **Serviços Inclusos (Exemplos):**
  - Escavação manual/mecanizada
  - Formas de madeira ou metálicas
  - Armaduras (corte, dobra e montagem)
  - Concretagem (concreto usinado fck = 25 MPa)
  - Reaterro e compactação
- **Custo Total Estimado para Infraestrutura: R\$ 16.250,00**

#### 7.2.5 Locação de Maquinários e Equipamentos

Este item abrange os custos de locação de maquinários e equipamentos necessários para as diversas fases da obra, como movimentação de terra, transporte de materiais, montagem da estrutura metálica, e serviços de concretagem.

- **Equipamentos Previstos (Exemplos – ajustar à necessidade real):**
  - Munck ou Guindaste
  - Retroescavadeira
  - Máquina de solda
  - AndAIMES e plataformas elevatórias
- **Custo Total Estimado para Locação de Maquinários: R\$ 28.900,00**

### 7.3 RESUMO DO ORÇAMENTO ESTIMATIVO

<b>Item</b>	<b>Custo Estimado (R\$)</b>
Aço Estrutural (Material)	50.712,16
Mão de Obra Especializada	45.000,00
Investigações Geotécnicas (Sondagens)	3.750,00
Serviços Preliminares e Gerais	16.500,00
Infraestrutura (Fundações)	16.250,00
Locação de Maquinários e Equipamentos	28.900,00
<b>CUSTO TOTAL ESTIMADO DA OBRA</b>	<b>R\$161.112,16</b>

## 7.4 PLANEJAMENTO FÍSICO-FINANCEIRO PRELIMINAR

O cronograma físico-financeiro proposto para a execução da obra estima uma duração total de **2,5 meses**.

A distribuição das atividades e dos desembolsos previstos ao longo do período de execução é apresentada a seguir:

### Mês 1:

- **Etapas Predominantes:**
  - Serviços Preliminares e Gerais (mobilização, projetos, licenças)
  - Início da Infraestrutura (sondagens, escavações, parte das fundações)
- **Desembolso Previsto no Mês:** R\$ 63.413,75 equivalente a 39,36% do Custo Total (R\$ 161.112,16)
- **Avanço Físico Acumulado Esperado:** 23%

### Mês 2:

- **Etapas Predominantes:**
  - Conclusão da Infraestrutura (fundações)
  - Início da Superestrutura (fabricação e/ou montagem inicial da estrutura metálica)
- **Desembolso Previsto no Mês:** R\$ 72.669,64, equivalente a 45,1 % do Custo Total (R\$ 161.112,16)
- **Avanço Físico Acumulado Esperado:** 79%

### Mês 3:

- **Etapas Predominantes:**
  - Conclusão da Superestrutura (montagem final, soldas, pintura)
  - Serviços complementares
  - Desmobilização e entrega da obra.
- **Desembolso Previsto no Mês:** R\$ 25.028,77, equivalente a 15,5% do Custo Total (R\$ 161.112,16)
- **Avanço Físico Acumulado Esperado:** 100%

## 8. Conclusões e Recomendações

Com base na análise estrutural e nos dimensionamentos realizados, conclui-se que a passarela metálica treliçada, com vão total de 33,6 metros divididos em dois tramos contínuos de 16,8 metros, é uma solução tecnicamente viável e segura para a travessia de fauna, atendendo aos requisitos das normas brasileiras pertinentes, em particular a ABNT NBR 8800:2008. Os perfis metálicos preliminarmente selecionados e verificados demonstram a metodologia para alcançar a capacidade de resistir aos esforços solicitantes calculados, considerando as cargas permanentes, acidentais (uso por animais e manutenção) e de vento.

A configuração em treliça Pratt contínua mostrou-se eficiente na distribuição dos esforços, e a modulação de 1,40m x 1,40m facilita a padronização, fabricação e montagem dos componentes. As verificações de Estados Limites Últimos (resistência e estabilidade) e de Estados Limites de Serviço (deslocamentos) indicam que a estrutura, se corretamente detalhada, fabricada e montada, apresentará desempenho satisfatório ao longo de sua vida útil.

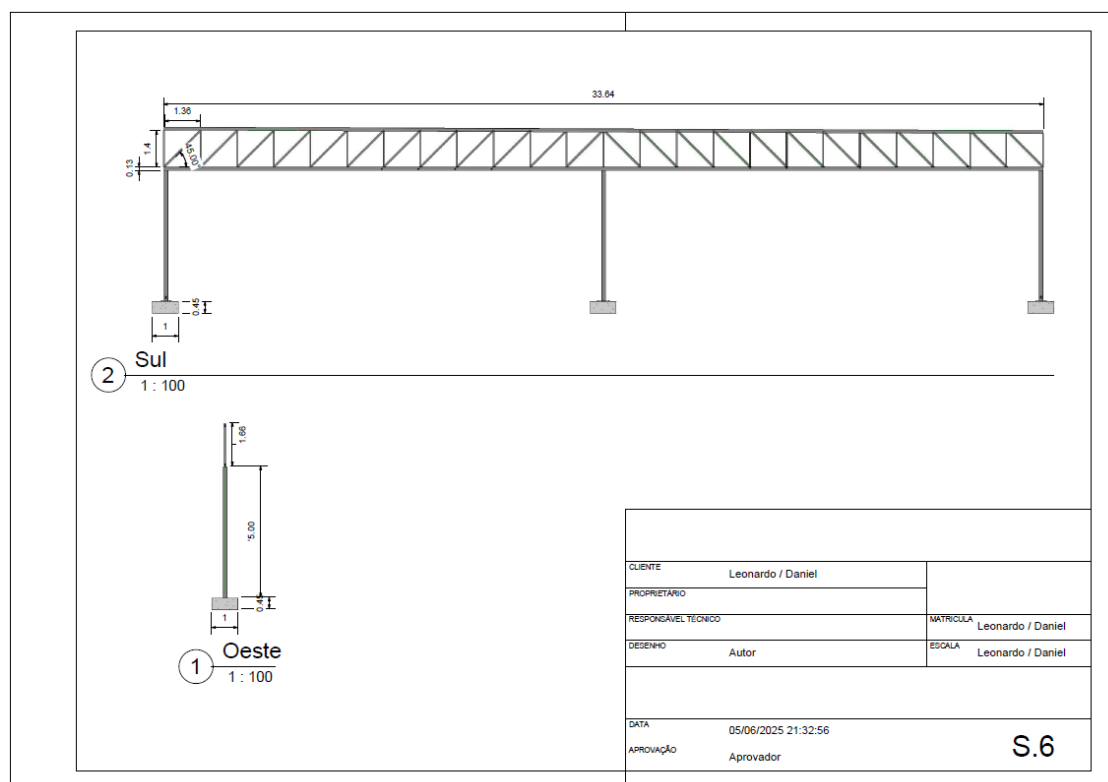
## 9. Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:2008** - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- **NBR 6123:1988** - Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.
- **NBR 6120:2019** - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.
- **NBR ISO 9606-1:2017** - Qualificação de soldadores — Soldagem por fusão — Parte 1: Aços. Rio de Janeiro, 2017.
- **NBR ISO 15614-1:2019** - Especificação e qualificação de procedimentos de soldagem para materiais metálicos — Parte 1: Soldagem a arco e a gás de aços e soldagem a arco de níquel e ligas de níquel. Rio de Janeiro, 2019.
- AMERICAN WELDING SOCIETY. **AWS D1.1/D1.1M:2020** - Structural Welding Code — Steel. Miami, FL: AWS, 2020.
- PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático de acordo com a NBR 8800:2008**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- BELLEI, Ildony H. **Edifícios de Múltiplos Andares em Aço**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

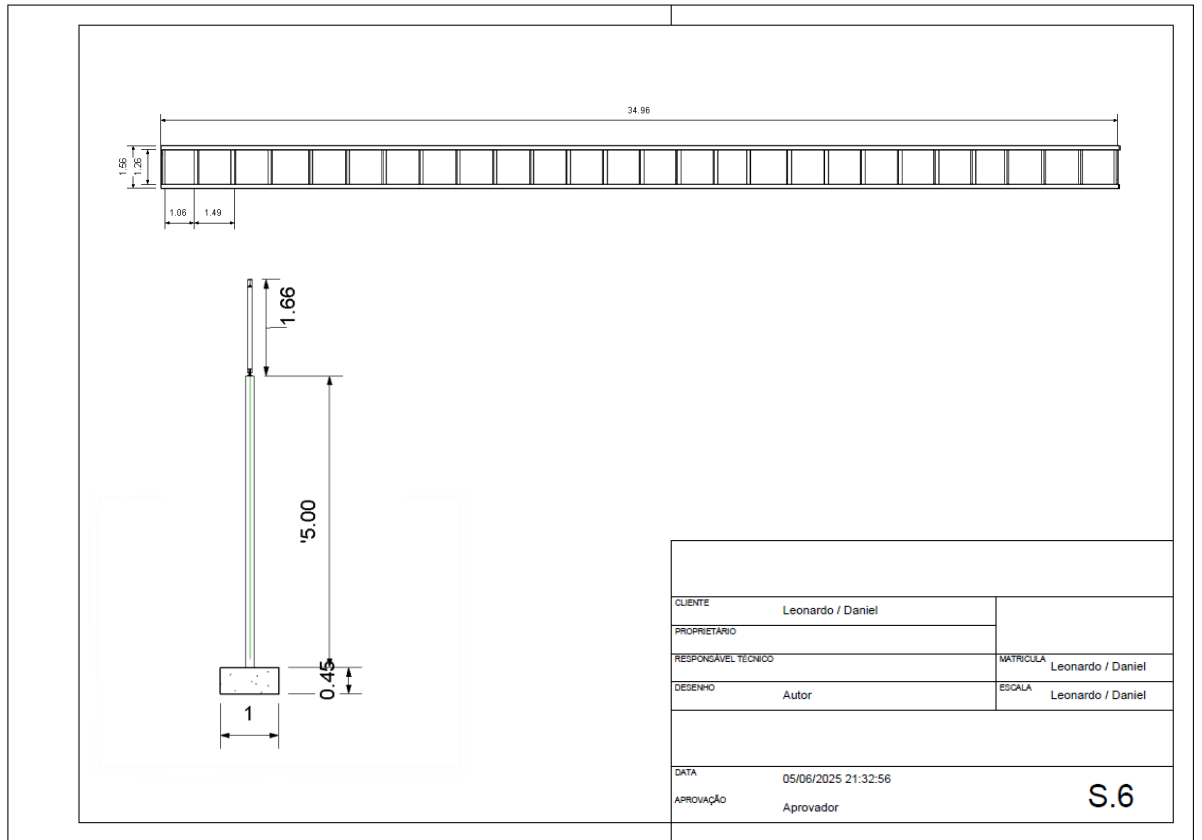
- INSTITUTO AÇO BRASIL; CBCA - Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Manual de Construção em Aço: Dimensionamento de Elementos Estruturais.**
- Ftool - Interactive Plane Structures Analysis. Versão [Informar a Versão utilizada]. Desenvolvido por Prof. Luiz Fernando Martha, PUC-Rio. Disponível em: <http://www.ftool.com.br/Ftool/>.

## Anexos

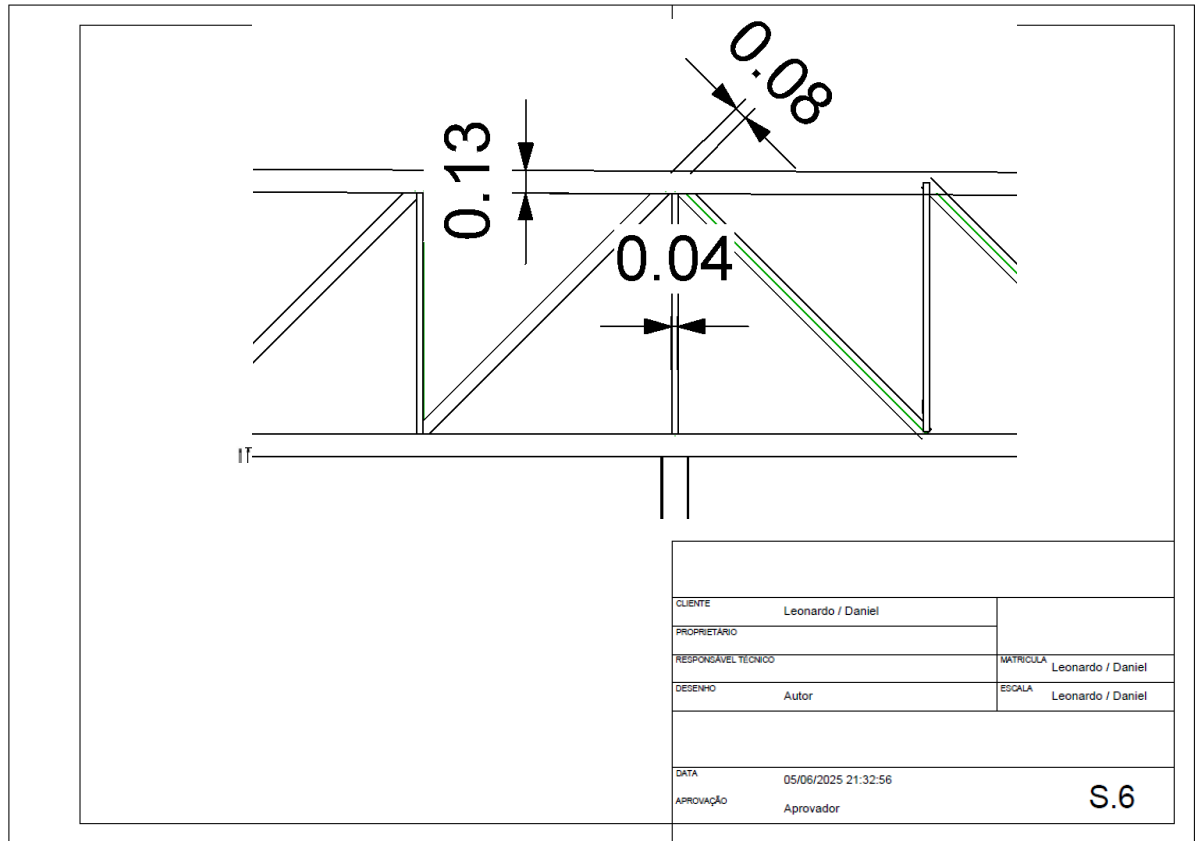
- **Prancha 1/05:** Elevações Longitudinais e Transversais da Passarela (com cotas gerais e níveis).



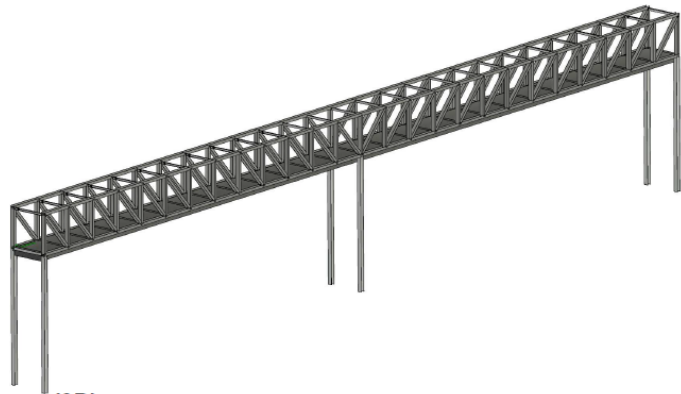
- Prancha 02/05: Vista Superior e Lateral



- **Prancha 03/05: Detalhes Geométricos da Treliça Principal**



- **Prancha 04/04: Esquematização 3D do modelo considerado**



1 {3D}

CLIENTE		
PROPRIETARIO	UNIFEQB	
RESPONSÁVEL TÉCNICO	Leonardo Ramos e Daniel Rodrigues	MATRÍCULA
DESENHO	Leonardo Ramos e Daniel Rodrigues	ESCALA
DATA	05/06/2025 21:21:05	
APROVAÇÃO	Aprovador	S.5