

ANEXO B
ESTRUTURAS METÁLICAS
MEMORIAL DE CÁLCULO

DISCIPLINA	ESTRUTURAS METÁLICAS
PROJETISTA	ENG. CIVIL ANDRÉ LUIZ DE OLIVEIRA PAGANINI ENG. CIVIL GUILHERME SLIVINSKI ENG. MECÂNICO ROBERTO LIMA SILVEIRA DA ROSA JUNIOR

Conteúdo

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. Equipe técnica.....	3
2.1 Responsável Técnico.....	3
3. abordagem geral do projeto.....	3
4. propriedades dos materiais.....	6
5. metodologia.....	7
5.1 Normas Técnicas.....	7
5.2 Ações Estruturais Consideradas.....	8
5.3 Combinações de Cargas Consideradas.....	8
5.4 Dimensionamento dos Elementos.....	10
6. ações adotadas.....	11
6.1 Ações Verticais.....	12
6.2 Ações Horizontais (Vento).....	12
7. RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS E OPERACIONAIS.....	13

1. INTRODUÇÃO

Este documento técnico tem como finalidade apresentar o **Memorial de Cálculo Estrutural** referente à cobertura metálica projetada para o Terminal Municipal de Araucária – PR. O projeto foi desenvolvido em conformidade com o anteprojeto arquitetônico e as diretrizes técnicas estabelecidas pelo Termo de Referência, considerando os critérios de **segurança estrutural, eficiência construtiva, durabilidade, sustentabilidade e viabilidade executiva**.

2. EQUIPE TÉCNICA

2.1 Responsável Técnico

Resp. Técnico: Engº Mecânico Roberto Lima Silveira da Rosa Junior – CREA - PR 189.123/D

Resp. Técnico: Engº Civil Guilherme Slivinski – CREA - PR 149.359/D

Resp. Técnico: Engº Civil Andre Luiz de Oliveira Paganini – CREA – PR 170.255/D

3. ABORDAGEM GERAL DO PROJETO

A concepção estrutural da cobertura baseia-se na utilização de pilares, vigas de travamento, banzo inferior, banzo superior, montantes, vigas de cobertura, terças, contraventamentos e apoios para calhas. O sistema estrutural é composto por treliças metálicas quadradas modulares, fabricadas a partir de perfis em aço ASTM A572 Grau 50 e ASTM A36, destacando-se pilares em perfis HP 250x62 e vigas de travamento em perfis W 150x22,5, além do emprego de perfis conformados a frio para as terças e vigas de cobertura.

O dimensionamento estrutural foi realizado em conformidade com as ações previstas nas normas técnicas brasileiras vigentes, com especial atenção às seguintes solicitações:

- Cargas permanentes (peso próprio, coberturas e instalações);
- Sobrecargas de uso;
- Ações de vento;
- Ações acidentais tais como impactos e operações de manutenção;
- Efeitos térmicos;

A maior parte dos perfis é fabricada em aço ASTM A36, amplamente utilizado em estruturas metálicas convencionais, apresentando limite de escoamento característico de 250 MPa. Os pilares (HP 250 x 62) e as vigas de travamento (W 150 x 22,5), são produzidos em aço ASTM A572

Grau 50, que apresenta maior resistência mecânica, com tensão de escoamento característica de 345 MPa, garantindo a estabilidade e segurança do conjunto estrutural.

A seguir, é apresentado o modelo estrutural da cobertura metálica, ilustrado pela imagem isométrica do projeto, que evidencia a solução adotada para o sistema estrutural.

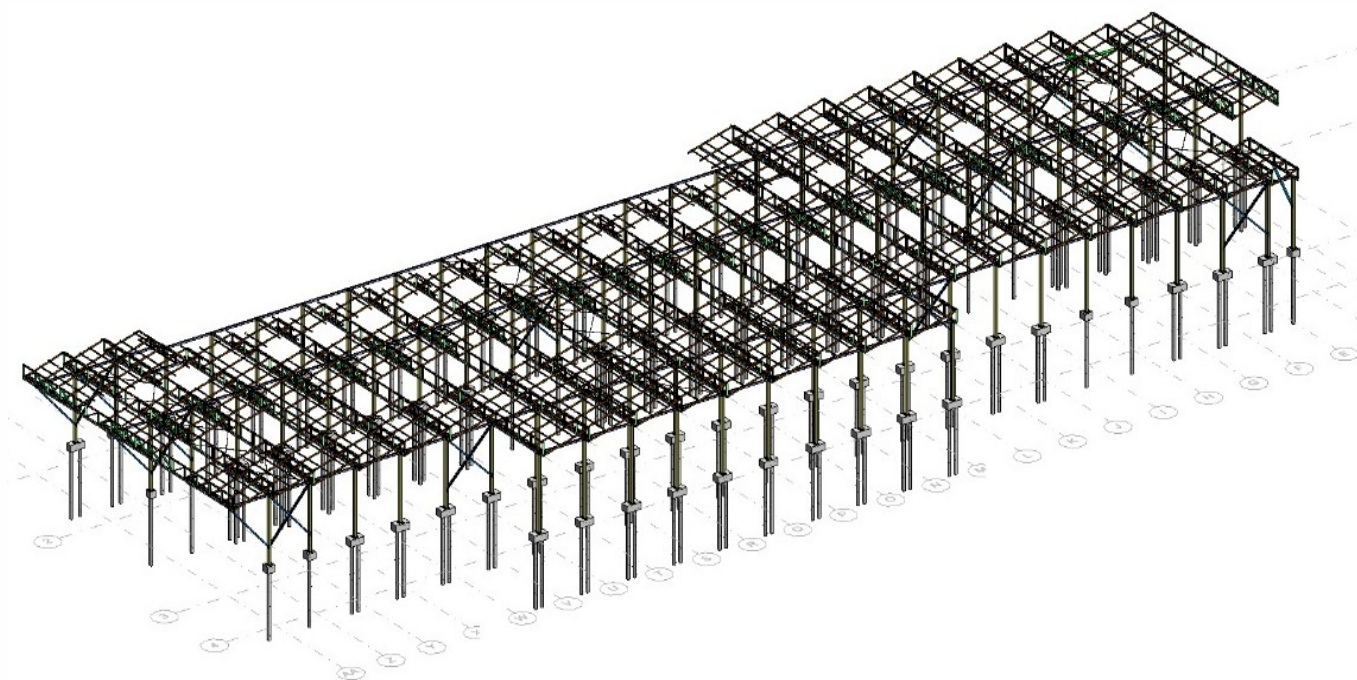


Figura 1 – Modelo 3D recortado da região da coberta treliçada. Fonte: Revit, 2025.

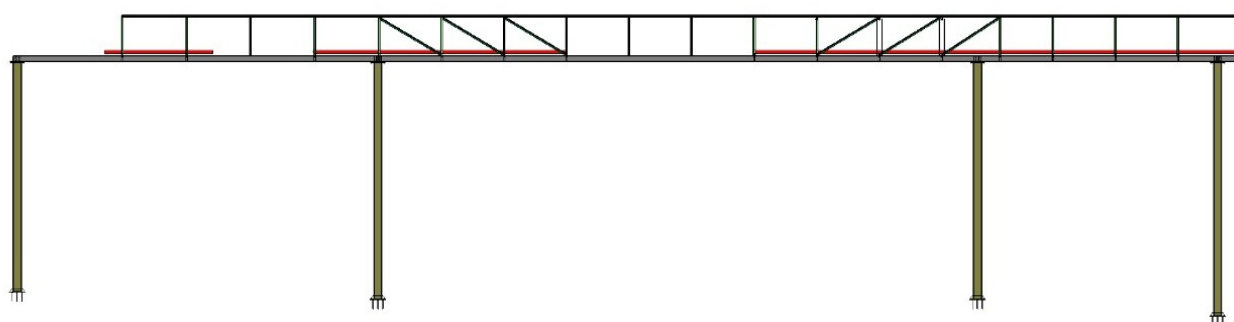


Figura 2 – Corte 11 da treliça metálica da área de embarque/desembarque. Fonte: Revit, 2025.

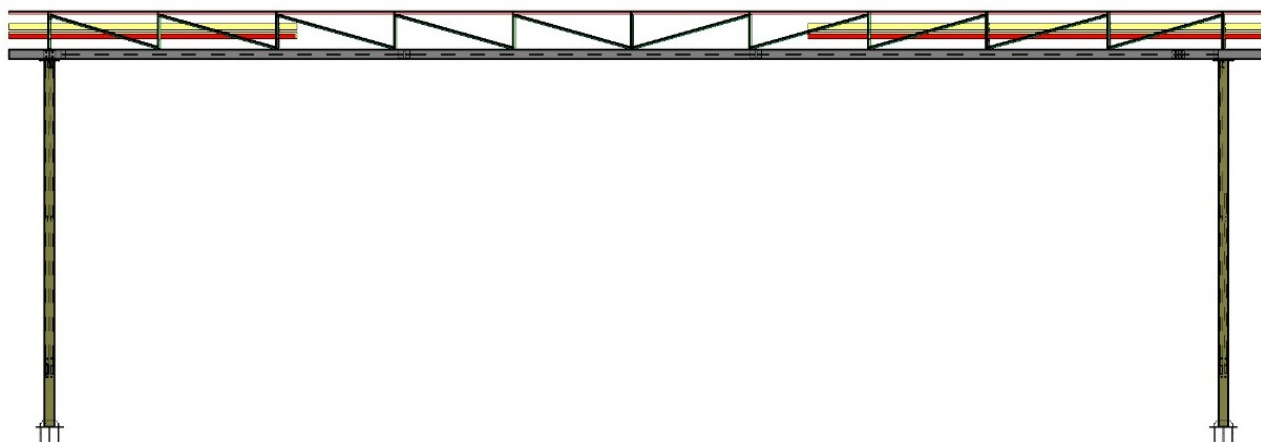


Figura 3 – Corte 12 da treliça metálica da área de embarque/desembarque. Fonte: Revit, 2025.

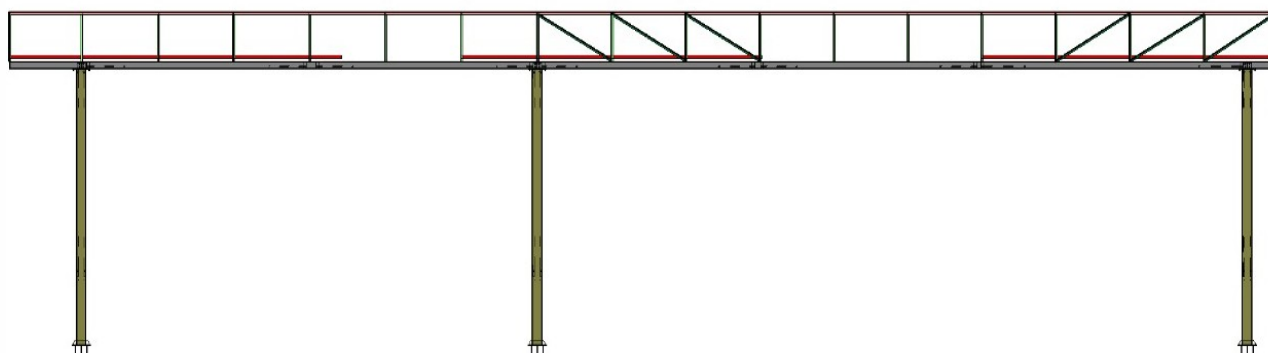


Figura 3 – Corte 26 da treliça metálica da área de embarque/desembarque. Fonte: Revit, 2025.

O sistema estrutural é composto pelos seguintes elementos, conforme especificados abaixo:

Tabela 1 – Elementos considerados na estrutura metálica do telhado do projeto.

Elementos	Material
Pilares	HP 250 x 62
Vigas de Travamento	W 150 x 22,5
Banzo superior	W 150 x 22,5
Banzo Inferior	U 152,4 x 5,1
Montantes	U 152,4 x 5,1
Vigas de Cobertura	Ue 127 x 50 x 17 x 2,65
Terças	Ue 100 x 50 x 17 x 2,65

Contraventamentos	U 101,6 x 4,67
Apoio para Calhas	L 3" x 3/8"

4. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Os perfis utilizados no sistema estrutural metálico foram especificados de acordo com os esforços determinados no projeto e atendem às normas técnicas vigentes, garantindo segurança e desempenho estrutural. As características principais dos materiais são:

- Perfis laminados (W, HP, U e cantoneiras): fabricados em aço ASTM A572 Grau 50 e ASTM A36, com limites de escoamento característicos de 345 MPa e 250 MPa, respectivamente, conferindo alta resistência mecânica aos elementos estruturais principais.;
- Perfis conformados a frio (U e C): Produzidos em aço galvanizado, com resistência equivalente a um limite de escoamento de 250 Mpa, utilizados em elementos secundários como terças e vigas de cobertura.
- Parafusos estruturais: conforme ASTM A325 e ABNT NBR 8800:2024, empregados para conexões aparafusadas, garantindo resistência adequada à transmissão das cargas e facilidade na montagem.
- Eletrodos para solda: do tipo E7018, conforme especificações da AWS, aplicados em ligações soldadas para assegurar a continuidade e resistência das uniões.

Esses materiais foram selecionados visando a otimização estrutural, resistência à corrosão e facilidade de fabricação e montagem.

5. METODOLOGIA

Os cálculos estruturais foram realizados com base na aplicação das normas técnicas da ABNT e referências complementares, utilizando ferramentas de modelagem computacional para análise estrutural e detalhamento dos elementos. Para a elaboração dos projetos executivos, foi utilizado o software AutoCAD, Revit garantindo a precisão nos desenhos técnicos. Já para o desenvolvimento dos cálculos estruturais, foi adotado o software CypeCAD, que permitiu a análise detalhada dos esforços, dimensionamento dos perfis e verificação das condições de segurança da estrutura metálica.

As ligações soldadas e aparafusadas foram detalhadas conforme a ABNT NBR 8800:2024, considerando os eletrodos E7018 e parafusos de alta resistência ASTM A325.

5.1 Normas Técnicas

O dimensionamento seguiu as principais normas técnicas brasileiras:

- ABNT NBR 8800:2024 – Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto;
- ABNT NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas;
- ABNT NBR 6120:2019 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;
- ABNT NBR 6123:2023 – Forças devidas ao vento em edificações;
- ABNT NBR 14762:2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio;
- ABNT NBR 15535:2007 – Conexões para estruturas de aço – Parafusos de alta resistência;
- AWS D1. 1 – Structural Welding Code – Steel.

5.2 Ações Estruturais Consideradas

Para o dimensionamento da cobertura metálica, foram consideradas as seguintes ações, em conformidade com as normas brasileiras vigentes:

- Cargas permanentes (G): incluem o peso próprio da estrutura metálica, das telhas modulares e dos painéis solares fotovoltaicos, conforme especificado na ABNT NBR 6120:2019, que define cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Esses elementos fixos constituem a base das solicitações permanentes sobre os perfis metálicos;

- Sobrecargas variáveis (Q): cargas decorrentes do uso, manutenção e outras ações transitórias previstas na ABNT NBR 6120:2019;
- Ações de vento (W): forças horizontais e verticais atuantes na estrutura, calculadas conforme a ABNT NBR 6123:2023, que trata das forças devidas ao vento em edificações, complementadas por modelagem computacional específica para o local;
- Ações acidentais: impactos, sobrecargas pontuais e demais eventos excepcionais, consideradas conforme a ABNT NBR 8681:2003;
- Efeitos térmicos: variações dimensionais provocadas pelas mudanças de temperatura, conforme recomendações da ABNT NBR 8800:2024 para estruturas de aço.
- Dessa forma, o projeto estrutural foi desenvolvido considerando o peso real e especificado de todos os elementos permanentes e variáveis que atuam na cobertura, assegurando a estabilidade, resistência e durabilidade da estrutura metálica.

5.3 Combinações de Cargas Consideradas

As combinações das ações foram realizadas conforme a ABNT NBR 8681:2003, considerando estados limites últimos (ELU) e estados limites de serviço (ELS), utilizando coeficientes de segurança apropriados para garantir confiabilidade estrutural.

A combinação para o ELU é expressa por:

$$\gamma G \cdot G_k + \gamma Q \cdot Q_k + \gamma W \cdot W_k \leq R_d$$

Onde:

- G_k , valor característico das cargas permanentes (peso próprio, coberturas, (Elementos fixos);
- Q_k , valor característico das cargas variáveis (sobrecarga de uso, manutenção);
- W_k : valor característico da ação do vento;
- $\gamma G, \gamma Q, \gamma W$: coeficientes parciais de segurança;

- ☐ Rd: resistência de cálculo dos elementos estruturais.

A combinação para o ELS (Estado de Limite de Serviço):

No ELS, a verificação visa garantir o desempenho adequado da estrutura durante sua vida útil, evitando deformações excessivas, vibrações desconfortáveis e danos funcionais.

As principais verificações foram:

Limitação da flecha máxima (Δ_{max}):

$$\Delta_{max} \leq \frac{L}{300} \text{ (para vigas secundárias como terças)}$$

$$\Delta_{max} \leq \frac{L}{200} \text{ (para vigas principais e tesouras)}$$

- Controle de vibrações, conforme parâmetros estabelecidos em normas técnicas, visando o conforto dos usuários e a integridade dos equipamentos.
- Verificação das tensões em serviço, garantindo que as tensões induzidas pelas cargas normais não ultrapassem os limites elásticos do material, preservando a durabilidade da estrutura.

5.4 Dimensionamentos dos Elementos

Tração Axial:

$$\sigma = \frac{N_t}{A} \leq f_{yd}$$

- ☐ N_t : força de tração;
- ☐ A : área da seção transversal;
- ☐ f_{yd} : tensão de escoamento do aço (250 MPa para ASTM A36 e 345 MPa para ASTM A572 Gr.50);
- ☐ γ_M : coeficiente de segurança do material (normalmente 1,1).
- ☐ Aço ASTM A36: $f_{yd} = 250 \text{ Mpa}$;

- Aço ASTM A572 Gr.50: $f_{yd} = 345 \text{ Mpa}$

Compressão e Flambagem

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{(K * L)^2}$$

- N_{cr} : carga crítica de flambagem;
- E : módulo de elasticidade (aprox. 200 GPa);
- I : momento de inércia da seção;
- L : comprimento efetivo;
- K : coeficiente de comprimento efetivo.

A resistência à compressão é determinada por:

$$N_d \leq \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

χ : fator de redução por flambagem (calculado conforme esbeltez λ , segundo NBR 8800).

Flexão Simples

$$\sigma_f = \frac{M}{W} \leq f_{yd}$$

M : momento fletor atuante ($\text{N} \cdot \text{mm}$);

W : módulo resistente da seção (mm^3).

Cisalhamento

$$\tau = \frac{V}{A_w} \leq \tau_{adm}$$

Interação de Esforços Combinados

Nos elementos submetidos a esforços compostos (tração + flexão, compressão +

flexão), adotou-se o critério de interação linear simplificado:

$$\frac{Nd}{NRd} + \frac{Md}{MRd} \leq 1,0$$

6. AÇÕES ADOTADAS

Nesta seção são apresentadas as ações consideradas no projeto estrutural, compreendendo cargas permanentes, variáveis e acidentais, conforme normas vigentes, para garantir a segurança, estabilidade e desempenho da estrutura metálica da cobertura.

As ações verticais e horizontais foram definidas de acordo com as características climáticas e normativas aplicáveis à cidade de Araucária, Paraná, considerando as especificidades do local e as recomendações da ABNT NBR 6123:1988 (Ações de Vento) e NBR 8681:2003 (Ações e Segurança nas Estruturas).

6.1 Ações Verticais

As cargas permanentes e variáveis adotadas no projeto estão listadas a seguir:

Tabela 2 – Elementos considerados na estrutura metálica do telhado do projeto.

Caso de Carga	Valor	Unidade	Observação
Peso próprio da estrutura metálica	7850	kgf./mm³	Densidade do aço ASTM A36 e A572
Telha metálica modular	10,0	kgf/m³	Peso unitário da cobertura
Placas fotovoltaicas	15,0	kgf/m³	Peso médio das placas solares
Sobrecarga de uso	25,0	kgf/m³	Conforme NBR 6120 para coberturas
Fechamento lateral	25,0	kgf/m³	Peso linear das paredes laterais

Observação: Os valores de sobrecarga seguem os parâmetros da NBR 6120 para coberturas, considerando as atividades usuais e possíveis manutenções.

A partir destes parâmetros, as pressões e forças do vento foram calculadas utilizando o software Visual Ventos, resultando em cargas máximas na cobertura próximas a 8,2 kN/m, o que corresponde a aproximadamente 1 kN/m² distribuído na área da cobertura, considerando pressões de sucção e pressão em diferentes combinações conforme a ABNT NBR 6123.

6.2 Ações Horizontais (Vento)

Para a determinação das ações horizontais, foram adotados os seguintes parâmetros climáticos e topográficos para Araucária, Paraná:

Parâmetro	Valor	Observação
Velocidade básica do vento	40 m/s	Conforme dados meteorológicos da região
Fator topográfico (S1)	1,00	Terreno pouco acidentado
Categoria de rugosidade (S2)	III	Terreno com obstáculos de altura média
Classe da edificação	C	Edificações com maior dimensão > 50 m
Fator estatístico (S3)	1,10	Segurança para estruturas críticas

Com auxílio de software Visula de ventos base nesses parâmetros, foram aplicadas as equações da ABNT NBR 6123 para obtenção das pressões de vento, utilizando o software Visual Ventos para simulação e distribuição das cargas na estrutura metálica da cobertura.

O maior valor de carga obtido nos pórticos foi de 8,18 kN/m, aplicado como carga distribuída na análise estrutural, considerando ações ascendentes e descendentes.

7. RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS E OPERACIONAIS

Para garantir o desempenho adequado e a segurança da estrutura metálica ao longo de sua vida útil, recomenda-se observar as seguintes diretrizes durante a fase de execução e operação:

Montagem e Transporte:

Os perfis metálicos e componentes estruturais devem ser transportados e manuseados conforme especificações técnicas, evitando impactos, deformações ou danos que possam comprometer a integridade estrutural. A montagem deve seguir rigorosamente as orientações do projeto executivo e as boas práticas da construção metálica, incluindo a verificação dos alinhamentos e nivelamentos.

Soldagem e Aperto de Parafusos:

As soldas devem ser executadas por profissionais qualificados, utilizando os eletrodos especificados (E7018), garantindo penetração e continuidade conforme os requisitos da NBR 8800. O aperto dos parafusos ASTM A325 deve seguir o método e torque prescritos para assegurar a resistência e evitar afrouxamento ao longo do tempo.

Controle de Qualidade:

Durante a fabricação e montagem, deve ser realizado rigoroso controle de qualidade dos materiais e serviços, incluindo inspeções visuais, medições dimensionais, testes não destrutivos nas soldas e verificações de resistência dos elementos estruturais.

Proteção contra Corrosão:

Recomenda-se a aplicação de pintura ou tratamento anticorrosivo adequado para a região de Araucária, considerando a exposição atmosférica local, a fim de preservar as características mecânicas e estéticas da estrutura ao longo do tempo.

Manutenção Preventiva:

Inspeções periódicas devem ser realizadas para identificar possíveis danos, corrosão ou falhas nas ligações, especialmente após eventos climáticos extremos. Intervenções corretivas devem ser efetuadas prontamente para manter as condições de segurança e funcionalidade da estrutura.

Atendimento as Normas e Procedimento:

Todas as etapas de execução e operação devem estar em conformidade com as normas técnicas brasileiras vigentes, garantindo a rastreabilidade e conformidade do sistema estrutural, facilitando eventuais auditorias e fiscalizações durante a vida útil da edificação.

Engº MEC. Roberto L. S da Rosa Jr.
CREA - PR 189.123/D

Engº Civil Guilherme Slivinski
CREA - PR 149.359/D

Engº Civil Andre Luiz de Oliveira Paganini
CREA – PR 170.255/D

