

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivo

Galpões são construções em aço geralmente de um único pavimento constituídos de sistemas estruturais compostos por pórticos regularmente espaçados, com cobertura superior apoiada em sistemas de terças e vigas ou tesouras e treliças, com grandes áreas cobertas e destinadas para uso comercial, industrial, agrícola ou outras aplicações.

Um tipo particular de cobertura são as coberturas temporárias, que têm como finalidade a execução de áreas cobertas para eventos, hangares provisórios, armazenagem de materiais ou qualquer outra atividade provisória. Hoje em dia, existem diversos tipos e modelos de coberturas temporárias leves para estes tipos de atividades.

O presente trabalho tem como objetivo estudar e dimensionar um tipo específico de galpão, que neste caso é um galpão de duas águas em estrutura de aço e cobertura em lona vinílica com vão livre de 40,0 metros e com pórticos montados a cada 5,0 metros.

Serão avaliadas as ações atuantes na estrutura para o dimensionamento dos elementos estruturais, dos contraventamentos, das ligações e das fundações, bem como os aspectos de transporte e montagem.

1.2 Justificativa

No cenário atual brasileiro, a grande maioria dos galpões temporários desse porte é fabricada em perfis especiais de alumínio estrutural importados dos EUA ou países da Europa. A indústria brasileira ainda é muito imatura neste processo de fabricação visto que a demanda por este tipo de produto não é tão expressiva ao ponto de justificar maiores investimentos neste setor.

Diante desse fato, a motivação principal deste trabalho é utilizar como material de fabricação do galpão o aço que é um material amplamente difundido na indústria nacional, seja nos aspectos de fabricação ou nos aspectos de projeto, apresentando os pontos positivos e negativos do emprego deste material.

1.3 Metodologia

Para a definição do projeto geométrico da estrutura, foi estudado um galpão feito em alumínio estrutural com as mesmas dimensões e fabricado pela empresa alemã RÖDER. Este galpão foi disponibilizado pela empresa MVD Eventos, que é uma empresa especializada em soluções de engenharia para eventos com montagem e fornecimento de galpões, tendas, arquibancadas, palcos e outras estruturas temporárias.

Definido o projeto geométrico, o dimensionamento da estrutura foi realizado através de consultas às Normas Brasileiras, livros técnicos e outras fontes relacionadas ao projeto de estruturas de aço. Paralelamente, a memória de cálculo do galpão em alumínio da RÖDER elaborada pela empresa americana FTL HAPPOLD (1997) foi utilizada para comparar-se as premissas de projeto adotadas.

Todos os desenhos foram feitos com a utilização do software AUTOCAD e para as análises estruturais foi utilizado o SAP 2000.

1.4 Histórico das coberturas temporárias

Segundo o engenheiro Ricardo Montalvão, um dos diretores da MVD Eventos, as primeiras coberturas temporárias para eventos no Brasil eram feitas a partir de estruturas executadas com tubos e braçadeiras, que é um sistema originário do setor de escoramentos. Esta estrutura suportava treliças que por sua vez apoiavam telhas de aço galvanizado. Por esta razão, essas coberturas demandavam uma grande quantidade de materiais, mão-de-obra e tempo para execução, além de não de serem economicamente viáveis para a abertura de grandes vãos livres.

Em 1994, uma empresa brasileira que produzia uma feira de filhotes pelo país, realizou um evento na Espanha e tomou conhecimento dos galpões feitos em estrutura de alumínio ou aço com cobertura em lona vinílica. Essa empresa importou algumas unidades destes galpões para o Brasil, revolucionando o mercado nacional de coberturas temporárias leves com grandes vãos livres, estimulando ainda o surgimento de novas empresas do setor.

1.5 Principais tipos de coberturas temporárias

Existem diversos tipos e tamanhos de coberturas disponíveis no mercado. As de maior porte são mais conhecidas como galpões temporários e as de menor porte são chamadas de tendas. A seguir, estão apresentados os principais tipos de coberturas comercializadas atualmente.

a) Tenda tipo “chapéu de bruxa”:

Tenda com quatro apoios e um eixo central suportado por cabos de aço em forma de “x” (Figura 1.1). Geralmente são quadradas em planta e suas principais dimensões comerciais variam de 5,0 a 10,0 metros de lado.



Figura 1.1: Tenda tipo “chapéu de bruxa” (T2 Estruturas, 2011)

b) Tenda trapezoidal:

Tenda com quatro ou oito apoios e com cobertura em forma de trapézio (Figura 1.2). Geralmente são quadradas em planta e suas principais dimensões comerciais variam de 5,0 a 15,0 metros de lado.



Figura 1.2: Tendas trapezoidais (Nautika, 2011)

c) Tendas tensionadas:

São coberturas cujo elemento principal é a própria cobertura, que permanecendo sob constante estado de tracionamento, em oposição aos elementos metálicos comprimidos, promove o equilíbrio geral do sistema. As tenso-estruturas tem no tecido que as forma, a intrínseca capacidade de resistência aos esforços externos (TENSOR,2011). A Figura 1.3 ilustra esse tipo de cobertura:



Figura 1.3: Tendas tensionadas (Nautika, 2011)

d) Galpões em duas águas:

É o tipo de cobertura na qual o galpão abordado no presente trabalho está classificado. Esta estrutura consiste na elevação sucessiva de pórticos com vãos livres variando de 10,0 a 50,0 metros, geralmente, e espaçadas de 5,0 metros (Figura 1.4). Esses pórticos são interligadas por terças e podem ser construídos em aço ou alumínio com estrutura em perfis ou treliças. As lonas de cobertura possuem largura de 5,0 metros e são encaixadas entre dois pórticos. Esse sistema construtivo permite que se executem galpões com comprimentos variáveis múltiplos de 5,0 metros, mantendo-se fixas as larguras dos vãos.



Figura 1.4: Galpão com 50 metros de vão livre (Losberger, 2011)

2 Descrição da Estrutura

2.1 Concepção

O projeto geométrico do galpão foi baseado na observação de galpões existentes e em particular na memória de cálculo de um galpão em alumínio com 40 metros de vão livre fabricado pela empresa alemã RÖDER.

A ideia principal do projeto é a velocidade e simplicidade de transporte, montagem e desmontagem da estrutura, sendo esses tópicos abordados separadamente mais adiante.

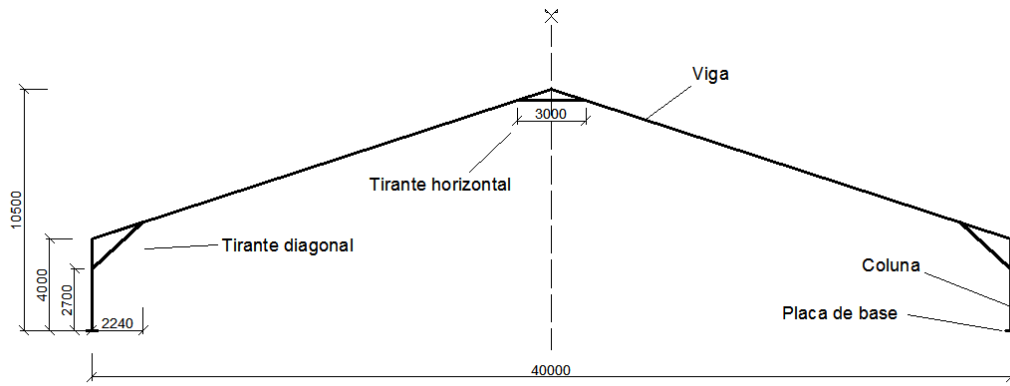
A estrutura consiste basicamente em pórticos espaçados de 5,0 metros, travados com terças longitudinais e contraventados no plano longitudinal e no plano da cobertura através de cabos de aço. Estes pórticos transversais são formados pelas colunas e vigas e se apoiam em placas de base, sendo essas devidamente fixadas no solo, sendo este assunto abordado no tópico relativo às fundações.

As vigas e os pilares serão constituídos por perfis de aço. Devido a necessidade de se ter uma estrutura leve e de garantir uma adequada resistência à flexão com flambagem lateral, foram adotados perfis celulares, que neste caso deverão ser formados por dois perfis de chapa dobrada tipo “U” enrijecidos unidos por solda, conforme ilustrado na figura 2.4.

Apesar de o fato do galpão poder ser montado em qualquer comprimento múltiplo de 5,0 metros, na maioria de suas utilizações é montado com comprimentos próximos dos 80,0 metros, e por esta razão os cálculos serão baseados nesta configuração. A altura das colunas é de 4,0 metros e a inclinação da cobertura é de 18°, resultando em uma altura total na cumeeira de 10,5 metros.

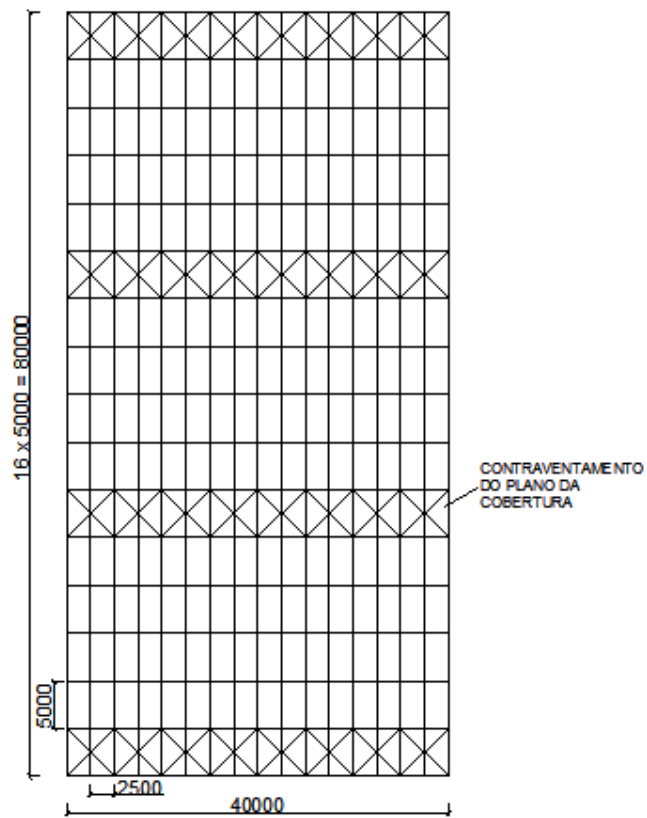
Dependendo da natureza de sua utilização o galpão pode ser montado com seus fechamentos laterais e frontais colocados ou não. Porém, para efeito de dimensionamento, será considerada a forma mais usual de utilização que é a com o galpão totalmente fechado. Outras configurações podem ser utilizadas contanto que seja feita uma análise específica para cada caso de abertura de paredes.

As Figuras 2.1, 2.2 e 2.3 e 2.4 apresentam a seção transversal, a planta, a elevação lateral da estrutura e uma seção transversal típica dos perfis utilizados, respectivamente.



SEÇÃO TRANSVERSAL

Figura 2.1: Galpão com 40 m de vão - Seção Transversal



PLANTA

Figura 2.2: Galpão com 40 m de vão - Planta

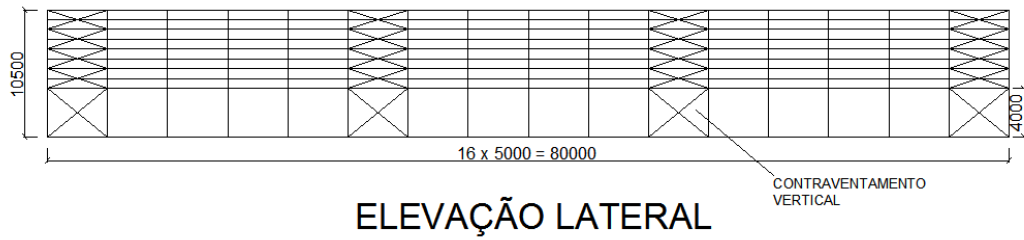


Figura 2.3: Galpão com 40 m de vão - Elevação Lateral

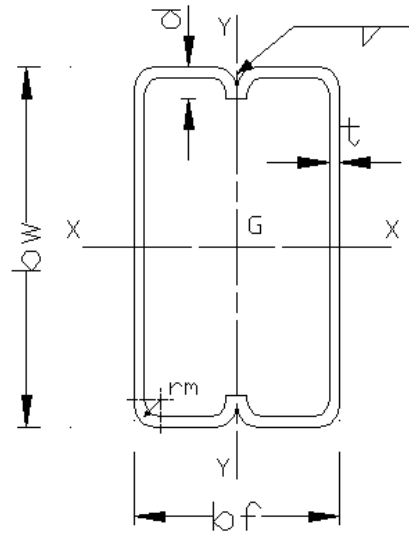


Figura 2.4: Seção transversal típica do perfil duplo “U” enrijecido

2.2 Materiais Utilizados

- Estrutura:

Visando ter uma estrutura mais leve, para os perfis das vigas, colunas e terças, é razoável a utilização de um aço estrutural de maior resistência, possibilitando assim a redução das seções dos perfis e conseqüentemente seu peso próprio além de proporcionar a diminuição de despesas com transporte, montagem e desmontagem. Assim sendo, o aço escolhido foi o AR 350 COR, que possui alta resistência mecânica e elevada resistência à corrosão atmosférica. As Tabelas 2.1 e 2.2 apresentam, respectivamente, a composição química e as propriedades mecânicas do aço AR 350 COR.

Tabela 2.1: Composição química do aço AR 350 COR (NBR 7007:2011)

Aço	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)	V (%)	Nb (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)
AR 350 COR	0,20 máx	0,50 a 1,35	0,15 a 0,55	0,040 máx	0,050 máx	0,25 a 0,50	0,050 máx	0,050 máx	0,40 a 0,70	0,50 máx	0,10 máx

Tabela 2.2: Propriedades mecânicas do aço AR 350 COR (NBR 7007:2011)

Aço	Limite de escoamento mínimo (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento após ruptura (%) L0 = 200 mm
AR 350 COR	350	mín. 485	18,0

A Tabela 2.3 apresenta as propriedades físicas do aço.

Tabela 2.3: Propriedades físicas do aço (NBR 8800:2008)

Constante Física	Valor
Módulo de deformação longitudinal, E	200.000 MPa
Coefficiente de Poison, ν	0,3
Coefficiente de dilatação térmica, β	$12 \times 10^{-6}/C^{\circ}$
Massa específica, ρ	7850 kg / m ³

- Contraventamento:

O contraventamento da estrutura tanto no plano longitudinal quanto no plano da cobertura será feito através de cabos de aço, e por isso o sistema trabalhará apenas à compressão. Os cabos utilizados deverão atender a NBR ISO 2408:2008 (Cabos de aço para uso geral – Requisitos mínimos). A classe de resistência adotada será a classe I.P.S (Improved Plow Steel), cuja resistência é de 1770 N/mm². A bitola e o tipo de cabo serão determinados a partir dos esforços solicitantes encontrados na análise estrutural. Um catálogo comercial de cabos de aço está apresentado no Apêndice A.

- Lona:

A lona vinílica (vinilona) será utilizada tanto na cobertura quanto nos fechamentos laterais e frontais do galpão, e estará submetida a esforços de vento (apresentados no item “Ações atuantes na estrutura”) e a uma pequena sobrecarga equivalente ao peso de uma pessoa andando sobre a cobertura durante o processo de montagem.

Segundo o fabricante SANSUY (2010), o modelo de lona que atende a esses requisitos respeitando-se sempre o espaçamento máximo entre os pontos de fixação da lona de 5,0 metros é o modelo SP 10722.

A vinilona SP 10722 é aditivada com absorvedor de raios UV, antifúngico e também com retardante de chama que confere ao material a característica auto

extinguível pelo método Califórnia Fire Marshall 1237-1 (SANSUY, 2010). A tabela 2.4 apresenta as principais propriedades físicas da lona.

Tabela 2.4: Propriedades físicas da lona (Sansuy, 2010)

Vinilona SP 10722		
	Longitudinal	Transversal
Peso específico	7,8 N/m ²	
Resistência a ruptura	2,3 N/5cm	1,8 N/5cm
Alongamento a ruptura	30%	35%
Resistência ao rasgo	0,3 N	0,25 N

3 Ações atuantes na estrutura

Na análise estrutural deve ser considerada a influencia de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a estrutura, levando-se em conta os estados-limites últimos e de serviço (NBR 8800:2008), estando a estrutura sujeita a ações permanentes e ações variáveis.

3.1 Ações permanentes

É formada pelo peso próprio de todos os elementos constituintes da estrutura, incluindo os pesos de equipamentos e instalações provisórias suportados na estrutura.

- Colunas e vigas

Para fins de pré-dimensionamento será utilizado para as colunas e vigas um perfil duplo “U” enrijecido com as medidas 350x200x30x10 mm ($b_w \times b_f \times d \times t$). O peso próprio estimado é obtido através do cálculo da área da seção, contabilizando os trechos retos e os trechos em curva, dada pela equação 3.1. O raio de curvatura médio (r_m) é igual a 1,5 t.

$$A = 2[b_w - 2(r_m + 0,5t)].t + 2[b_f - 4(r_m + 0,5t)].t + 4[d - (r_m + 0,5t)].t + 8(\pi/2 \cdot r_m).t \quad (3.1)$$

$$A = 2[350 - 2(15 + 0,5 \times 10)].10 + 2[200 - 4(15 + 0,5 \times 10)].10 + 4[30 - (15 + 0,5 \times 10)].10 + 8(\pi/2 \cdot 15).10$$

$$A = 10884,96 \text{ mm}^2 = 0,01088 \text{ m}^2$$

$$P_p = \rho \times A = 7850 \times 0,01088 = 85,4 \text{ kgf /m} = 0,85 \text{ kN/m}$$

Este carregamento será calculado diretamente pelo programa de análise estrutural a partir das dimensões da seção do perfil inseridas como dado de entrada e se dará de maneira distribuída pelo pórtico.

- Terças:

Para as terças será utilizado um perfil duplo “U” enrijecido com medidas 70x70x10x4 mm. O peso próprio é estimado através do cálculo da área da seção pela equação 3.1.

$$A = 2[70 - 2(6,0 + 0,5 \times 4)].4 + 2[70 - 4(6,0 + 0,5 \times 4)].4 + 4[10 - (6,0 + 0,5 \times 4)].4 + 8(\pi/2 \cdot 6,0).4$$

$$A = 1286,00 \text{ mm}^2 = 0,001286 \text{ m}^2$$

$$P_p = \rho \times A = 7850 \times 0,001286 \text{ m}^2 = 10,1 \text{ kgf /m} = 0,1 \text{ kN/m}$$

Considerando que cada pórtico receberá a metade da carga de cada terça e sabendo-se que cada terça tem 5,0 metros, temos uma carga concentrada de $5,0 \times 0,1 = 0,5 \text{ kN}$.

Este carregamento será aplicado verticalmente a cada 2,5 metros em projeção horizontal nas vigas principais, como pode ser visto na Figura 3.1.

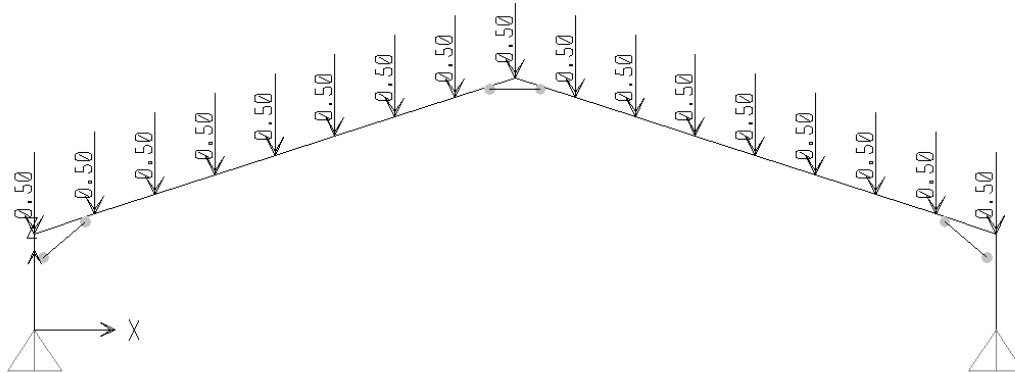


Figura 3.1: Carregamento permanente - terças

- Lona de cobertura:

De acordo com a Tabela 2.4, o peso específico da lona de cobertura é de 7,8 N/m². Considerando que a contribuição para cada pórtico se dá numa faixa de 5,0 metros (2,5 m para cada lado), temos:

$$P_p = 7,8 \times 5,0 = 39,0 \text{ N/m} = 0,039 \text{ kN/m}$$

Este carregamento será aplicado verticalmente de forma distribuída ao longo das vigas principais, como pode ser visto na Figura 3.2.

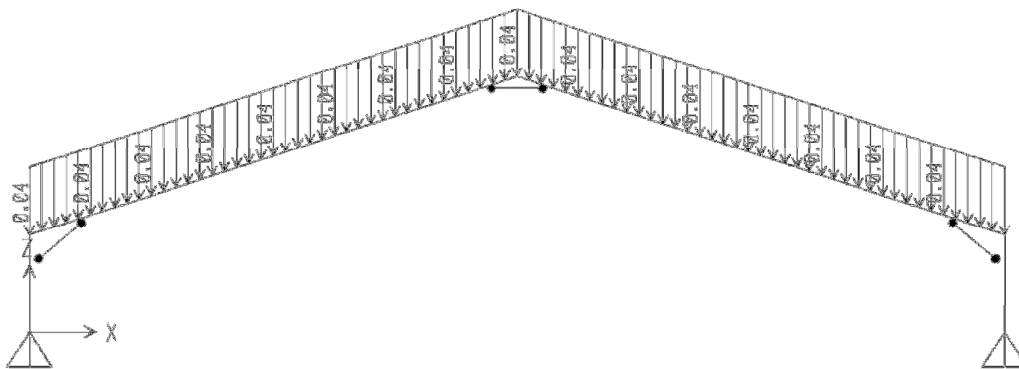


Figura 3.2: Carregamento permanente - lona de cobertura

3.2 Ações variáveis

3.2.1 Sobrecarga

Segundo o engenheiro Osmar Dutra, diretor técnico da empresa MVD Eventos, para este tipo de galpão com 40,0 metros de vão livre admite-se que o usuário carregue cada pórtico com até 600 kgf (6,0 kN) de equipamentos (iluminação, equipamentos de som, etc.). Esta carga deve ser distribuída ao longo do pórtico, resultando em um carregamento aproximado de 15 kgf/m (0,15 kN/m). A representação gráfica deste carregamento pode ser vista na Figura 3.3.

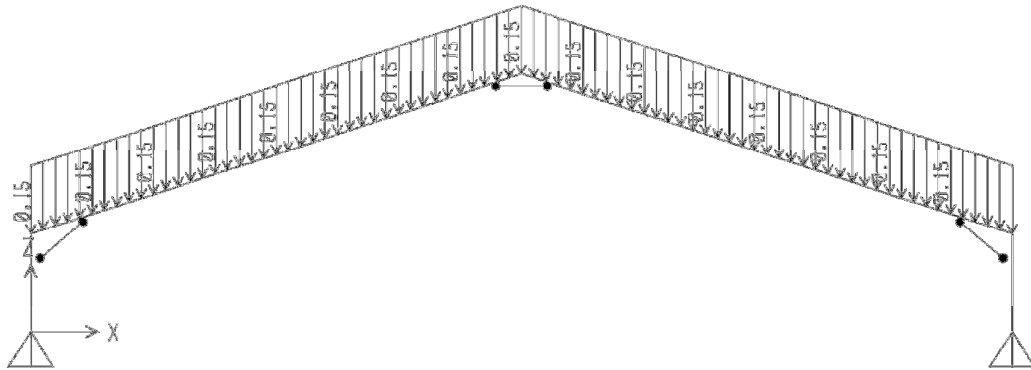


Figura 3.3: Sobrecarga

3.2.2 Ação do vento

A ação do vento atuante na estrutura deve ser calculada de acordo com a NBR 6123:1988 e as seguintes observações devem ser levadas em conta:

- Apesar de o galpão poder ser montado com comprimentos variados, para a determinação dos esforços de vento será considerado um comprimento de 80,0 metros.
- Para a determinação dos coeficientes de pressão interna, será considerado o galpão totalmente fechado com uma abertura dominante para entrada e saída de pessoas com 5,0 metros de largura e 4,0 metros de altura, correspondente a um módulo de lona. O posicionamento da abertura em relação a direção do vento será definida levando em conta sempre os casos mais críticos a medida que esta pode ser colocada em qualquer parte do galpão. Entretanto, não será estudado o caso em que a abertura dominante está posicionada em zonas de alta sucção externa, tornando-se esta uma restrição de montagem.
- A velocidade básica do vento adotada considera a montagem do galpão na cidade do Rio de Janeiro;

- Dependendo da natureza da utilização do galpão, este pode estar sobre alguma estrutura elevada. Usualmente esta elevação não ultrapassa a altura de 3,0 metros, totalizando uma altura de 13,5 metros a partir do nível do terreno até a cumeeira.

- Cálculo da pressão dinâmica de vento:

A velocidade característica do vento (V_k) é dada pela expressão 3.2:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (\text{m/s}) \quad (3.2)$$

onde:

V_0 – velocidade básica do vento;

S_1 – fator topográfico;

S_2 – rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno;

S_3 – fator estatístico.

De posse do V_k é possível calcular a pressão dinâmica de vento (q) através da expressão 3.3:

$$q = 0,613V_k^2 \quad (\text{N/m}^2) \quad (3.3)$$

Para a cidade do Rio de Janeiro, pela figura 1 da NBR 6123:1988 a velocidade básica do vento é igual a **33 m/s**.

Para a determinação do fator S_1 , será considerado um terreno plano ou fracamente acidentado, levando a um valor de **$S_1 = 1,0$** .

Para o fator S_2 , temos:

- Rugosidade do terreno:

Será considerada a **Categoria I** (“Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente”) devido ao fato de o galpão ser montado em determinadas ocasiões neste tipo de terreno, por exemplo, em praias.

- Dimensões da edificação:

Considerando a parte frontal do galpão com 40 metros na horizontal e 10,5 metros na vertical, a edificação se enquadra na **Classe B** (“Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros”).

- Altura sobre o terreno:

A altura sobre o terreno é de 13,5 metros, conforme visto anteriormente.

Pela tabela 2 da NBR 6123:1988, temos $S_2 = 1,12$.

Segundo a NBR 6123:1988 o fator S_3 é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. A probabilidade de que a velocidade básica do vento (V_0) seja excedida é de 63% num período de recorrência de 50 anos.

Levando em consideração que o galpão em questão muitas das vezes é utilizado para a realização de eventos com grande quantidade de público, o grupo em que a edificação se enquadra, segundo a tabela 3 da norma, é o **Grupo 2** (“Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação”).

Há uma constante discussão entre projetistas do ramo de estruturas temporárias que envolve a escolha do fator S_3 . Muitos consideram esse tipo de edificação como parte do Grupo 5 (“Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção”). Porém, na visão do autor, esta consideração é falha, pois esta estrutura não está sendo analisada para sua fase de construção e sim para sua fase de utilização, mesmo que esta não seja uma utilização contínua. Durante sua vida útil, o galpão será montado e desmontado diversas vezes em locais diferentes. Isso significa dizer que mesmo que a estrutura fique montada durante um curto período de tempo em um mesmo lugar, estará montada em algum lugar durante a maior parte de sua vida útil, submetendo-se a praticamente a mesma probabilidade de que a velocidade básica do vento seja excedida. Sendo assim, segundo a Tabela 3 da norma tomaremos $S_3=1,0$.

De posse do valor de V_k , S_1 , S_2 e S_3 , podemos calcular pela equação 2.1 a velocidade característica do vento (V_k):

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = 33 \times 1,0 \times 1,12 \times 1,0 = \mathbf{37,0 \text{ m/s}}$$

E a pressão dinâmica de vento (q) é dada pela equação 2.2:

$$q = 0,613V_k^2 = 0,613 \times 37,0^2 = \mathbf{839,2 \text{ N/m}^2 \text{ ou } 0,839 \text{ kPa}}$$

- Determinação dos coeficientes aerodinâmicos:

- Coeficientes de forma internos (C_{pi}):

Para a determinação dos coeficientes de forma internos, como dito anteriormente, será considerado um galpão totalmente fechado com uma abertura dominante de 20,0 m² de área posicionada na face mais desfavorável em relação a direção do vento. As paredes internas (quando existirem) são consideradas permeáveis. O item 6.2.4 da NBR 6123:1988 contempla a configuração em questão e prevê três casos de posicionamento da abertura:

Caso A: quando a abertura dominante estiver na face de barlavento, deve-se calcular a proporção entre a área de todas as aberturas na face de barlavento e a área total das aberturas em todas as faces submetidas a sucção externa.

Para a área total das aberturas será admitida uma folga entre o terreno e a base do fechamento de 5,0 cm uma vez que a lona tem grande flexibilidade e não fornece uma vedação perfeita nesta região. Esta folga se dará por todo o perímetro do galpão.

$$\text{Área de todas as aberturas na face de barlavento: } (4 \times 5) + 0,05 \times 80 = 24 \text{ m}^2$$

Área de todas as aberturas em todas as faces submetidas a sucção externa:

$$0,05 \times (80 + 40 + 40) = 8,0 \text{ m}^2$$

$$\text{Proporção: } \frac{24}{8} = 3$$

Para esta proporção, tem-se $C_{pi} = + 0,6$

Caso B: quando a abertura dominante estive na face de sotavento , deve-se adotar para o C_{pi} o valor do coeficiente de forma externo (C_e) correspondente a esta face.

Caso C: quando a abertura dominante estiver em uma face paralela ao vento, também deve ser adotado para o C_{pi} o valor do coeficiente de forma externo (C_e) correspondente a esta face.

- Coeficientes de forma externos (C_e):

Os valores dos coeficientes de forma externos para as direções críticas de vento são dados nas tabelas 4 e 5 da NBR 6123:1988. Como dados de entrada nas tabelas deve-se calcular as seguintes relações:

$$\frac{h}{b} = \frac{4}{40} = 0,1 \quad ; \quad \frac{a}{b} = \frac{80}{40} = 2$$

A inclinação da cobertura (θ) é de 18°.

As figuras 3.4 e 3.5 apresentam estes coeficientes referentes às paredes do galpão para as direções de 0° e 90°, respectivamente.

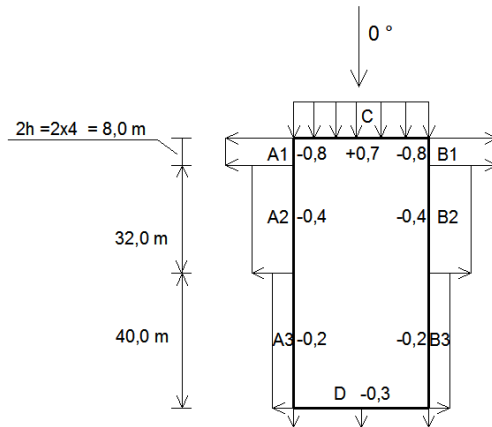


Figura 3.4: Coeficientes de forma externos para as paredes com vento a 0°

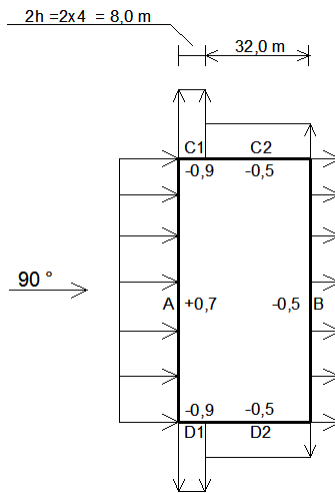


Figura 3.5: Coeficientes de forma externos para as paredes com vento a 90°

As figuras 3.6 e 3.7 representam coeficientes de forma externos para a cobertura em duas águas para as direções de 0° e 90° , respectivamente.

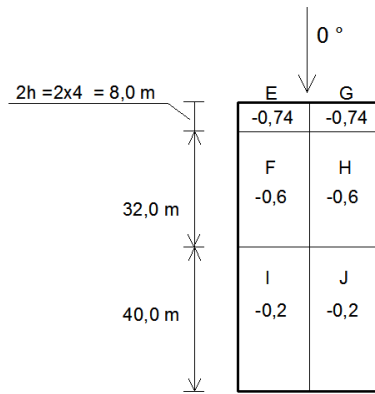


Figura 3.6: Coeficientes de forma externos para a cobertura com vento a 0°

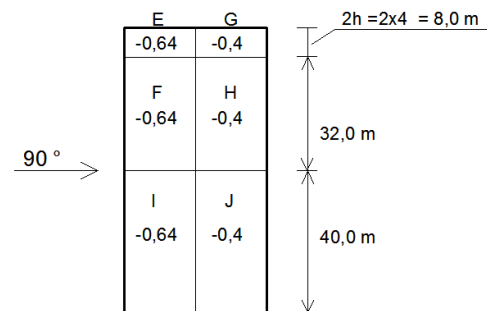


Figura 3.7: Coeficientes de forma externos para a cobertura com vento a 90°

A Tabela 3.1 apresenta os pórticos com os coeficientes de forma internos e externos considerando ventos a 0° e 90° , o trecho analisado e os diferentes posicionamentos da abertura dominante.

Tabela 3.1: Coeficientes de forma

VENTOS A 0°		
V1: Trecho de 0,0 a 8,0 m		
V1A: Abertura na face de barlavento	V1B: Abertura na face de sotavento	V1C: Abertura na face paralela ao vento
V2: Trecho de 8,0 a 40,0 m		
V2A: Abertura na face de barlavento	V2B: Abertura na face de sotavento	V2C: Abertura na face paralela ao vento
V3: Trecho de 40,0 a 80,0 m		
V3A: Abertura na face de barlavento	V3B: Abertura na face de sotavento	V3C: Abertura na face paralela ao vento
VENTOS A 90°		
V4: Trecho de 0,0 a 80,0 m		
V4A: Abertura na face de barlavento	V4B: Abertura na face de sotavento	V4C: Abertura na face paralela ao vento

Para a determinação dos esforços de vento em cada pórtico será considerado que cada um receberá contribuição de metade de cada vão de cobertura, totalizando uma faixa de 5,0 metros para cada pórtico. A força por metro em cada pórtico é determinada pela expressão 3.4:

$$F = (C_e - C_{pi})q \times l \quad (3.4)$$

A tabela 3.2 apresenta os esforços calculados nas paredes e coberturas devidos a ventos nas direções de 0° e 90° nos diferentes trechos da estrutura, levando em conta os coeficientes externos e internos para cada situação. Pode-se perceber que os casos tipo “B” e se “C” proporcionaram um mesmo valor para C_{pi} , portando apenas os casos “A” e “B” serão analisados.

Tabela 3.2: Esforços devido ao vento

V1A: Vento a 0° / Trecho de 0,0 m a 8,0 m / Abertura na face de barlavento					
Face	Ce	Cpi	Ce-Ci	l (m)	F (kN/m)
A1	-0.80	0.60	-1.40	5.00	-5.873
B1	-0.80	0.60	-1.40	5.00	-5.873
E	-0.74	0.60	-1.34	5.00	-5.621
G	-0.74	0.60	-1.34	5.00	-5.621

V1B: Vento a 0° / Trecho de 0,0 m a 8,0 m / Abertura na face de sotavento					
Face	Ce	Cpi	Ce-Ci	l (m)	F (kN/m)
A1	-0.80	-0.30	-0.50	5.00	-2.098
B1	-0.80	-0.30	-0.50	5.00	-2.098
E	-0.74	-0.30	-0.44	5.00	-1.846
G	-0.74	-0.30	-0.44	5.00	-1.846

V2A: Vento a 0° / Trecho de 8,0 m a 40,0 m / Abertura na face de barlavento					
Trecho	Ce	Cpi	Ce-Ci	l (m)	F (kN/m)
A2	-0.40	0.60	-1.00	5.00	-4.195
B2	-0.40	0.60	-1.00	5.00	-4.195
F	-0.60	0.60	-1.20	5.00	-5.034
H	-0.60	0.60	-1.20	5.00	-5.034

V2B: Vento a 0° / Trecho de 8,0 m a 40,0 m / Abertura na face de sotavento					
Trecho	Ce	Cpi	Ce-Ci	l (m)	F (kN/m)
A2	-0.40	-0.30	-0.10	5.00	-0.420
B2	-0.40	-0.30	-0.10	5.00	-0.420
F	-0.60	-0.30	-0.30	5.00	-1.259
H	-0.60	-0.30	-0.30	5.00	-1.259

V3A: Vento a 0 ° / Trecho de 40,0 m a 80,0 m / Abertura na face de barlavento					
Trecho	Ce	Cpi	Ce-Ci	l (m)	F (kN/m)
A3	-0.20	0.60	-0.80	5.00	-3.356
B3	-0.20	0.60	-0.80	5.00	-3.356
I	-0.20	0.60	-0.80	5.00	-3.356
J	-0.20	0.60	-0.80	5.00	-3.356

V3B: Vento a 0 ° / Trecho de 40,0 m a 80,0 m / Abertura na face de sotavento					
Trecho	Ce	Cpi	Ce-Ci	l (m)	F (kN/m)
A3	-0.20	-0.30	0.10	5.00	0.420
B3	-0.20	-0.30	0.10	5.00	0.420
I	-0.20	-0.30	0.10	5.00	0.420
J	-0.20	-0.30	0.10	5.00	0.420

V4A: Vento a 90 ° / Trecho de 0,0 m a 80,0 m / Abertura na face de barlavento					
Trecho	Ce	Cpi	Ce-Ci	l (m)	F (kN/m)
A	0.70	0.60	0.10	5.00	0.420
B	-0.50	0.60	-1.10	5.00	-4.615
EFI	-0.64	0.60	-1.24	5.00	-5.202
GHJ	-0.40	0.60	-1.00	5.00	-4.195

V4B: Vento a 90 ° / Trecho de 0,0 m a 80,0 m / Abertura na face de sotavento					
Trecho	Ce	Cpi	Ce-Ci	l (m)	F (kN/m)
A	0.70	-0.50	1.20	5.00	5.034
B	-0.50	-0.50	0.00	5.00	0.000
EFI	-0.64	-0.50	-0.14	5.00	-0.587
GHJ	-0.40	-0.50	0.10	5.00	0.420

Os casos de vento mais críticos observados são o V1A para sucção e V3B para sobrepressão. Estes carregamentos estão apresentados nas Figuras 3.8 e 3.9, respectivamente. Além disso, será estudado o vento V4A, que é o vento a 90° que pode gerar momentos altos nas colunas, estando este apresentado na Figura 3.10.

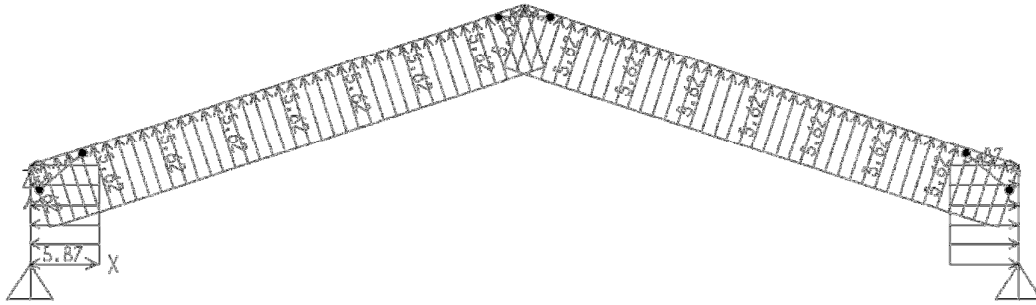


Figura 3.8: Vento V1A - sucção crítica

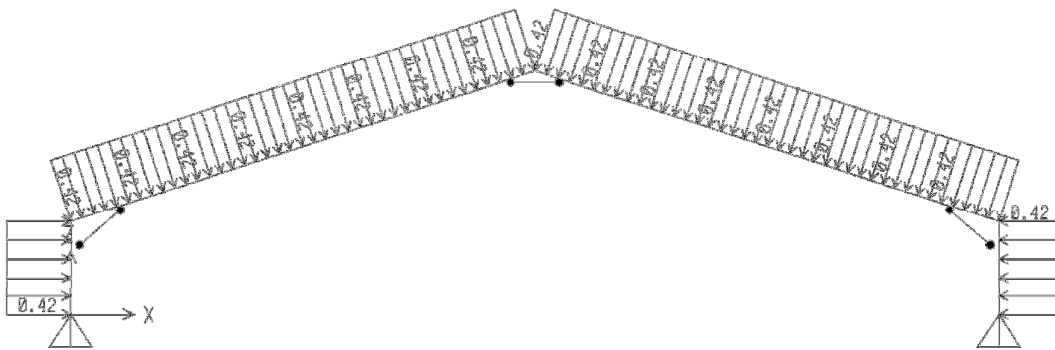


Figura 3.9: Vento V3B - sobrepressão crítica

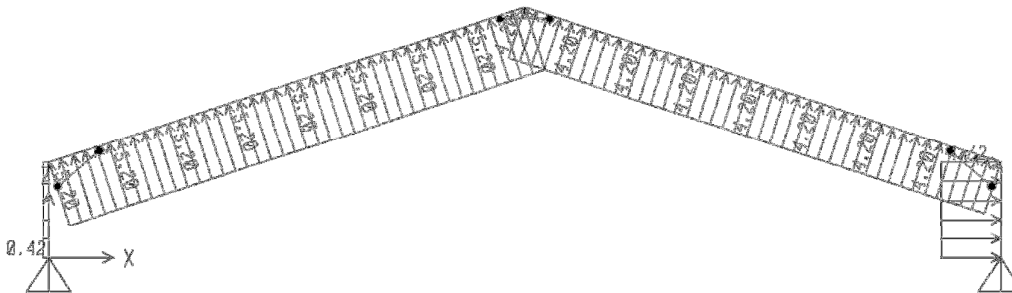


Figura 3.10: Vento V4A - vento à 90°

É importante ressaltar que não foi considerado o efeito da variação de temperatura na estrutura. Devido ao fato da estrutura ser montada e desmontada em curtos períodos de tempo, a variação de temperatura a que está sujeita refere-se apenas ao ciclo diário e não inclui as variações sazonais. Além disso, para o comprimento de 80 metros, este efeito também é reduzido. Porém, caso a estrutura seja montada com grandes comprimentos ou ainda por longos períodos de tempo, como, por exemplo, hangares provisórios ou para fins de armazenagem, este efeito deve ser levado em conta considerando-se o posicionamento dos contraventamentos entre pilares.

3.3 Combinações de ações

Segundo a NBR 14762:2010 (“Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio”), a combinação de ações deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura. A verificação dos estados-limites últimos e dos estados-limites de serviço deve ser realizada em função de combinações últimas e combinações de serviço, respectivamente.

3.3.1 Combinações de Ações para os Estados Limites Últimos (ELU)

Neste projeto, serão consideradas apenas as combinações últimas normais, ficando de fora as especiais e as de construção uma vez que a estrutura em estudo não justifica este tipo de análise.

Para cada combinação, aplica-se a expressão 3.5:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{G_{i,k}}) + \gamma_{q1} F_{Q_{1,k}} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Q_{j,k}}) \quad (3.5)$$

onde

$F_{G_{i,k}}$ representa os valores característicos das ações permanentes;

$F_{Q_{1,k}}$ é o valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;

$F_{Q_{j,k}}$ representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar simultaneamente com a ação variável principal;

γ é o coeficiente de ponderação das ações;

ψ_0 representa o fator de redução das combinações para as ações variáveis;

A Tabela 3.3 apresenta os valores dos coeficientes de ponderação (γ) e a Tabela 3.4 apresenta os fatores de combinação para os diferentes tipos de ação.

Tabela 3.3: Coeficientes de ponderação das ações (NBR 14762:2010)

Combinações	Ações permanentes (%) ^{a,c}					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)
	Ações variáveis (%) ^{a,d}					
	Efeito da temperatura ^b		Ação do vento	Ações truncadas ^e	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação	
Normais	1,20		1,40	1,20	1,50	

Tabela 3.4: Fatores de combinação para as ações variáveis (NBR 14762:2010)

Ações		γ_2^a		
		ψ_0	ψ_1	ψ_2^d
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^b	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ^c	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4
^a Ver alínea c) de 6.5.3. ^b Edificações residenciais de acesso restrito. ^c Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público. ^d Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para ψ_2 o valor zero.				

A Tabela 3.5 apresenta as combinações no ELU a serem consideradas no projeto levando em consideração os casos mais críticos de solicitações e utilizando os coeficientes dados nas Tabelas 3.3 e 3.4.

Tabela 2.9: Combinação de ações no ELU

Combinação	Caso	Coeficientes			Descrição
		Peso Próprio	Sobrecarga	Vento	
Peso Próprio desfavorável					
1	G + SC + V3B	1,25	1,5	0,6 x 1,4	Sobrecarga dominante
2	G + SC + V3B	1,25	0,8 x 1,5	1,4	V3B (Sobrepresão) dominante
3	G + SC + V4A	1,25	1,5	0,6 x 1,4	Sobrecarga dominante
4	G + SC + V4A	1,25	0,8 x 1,5	1,4	V4A (vento à 90º) dominante
Peso Próprio favorável					
5	G + V1A	1,0	0,0	1,4	V1A (Sucção) dominante

3.3.2 Combinações de Ações para os Estados Limites de Serviço (ELS)

Além dos Estados Limites Últimos, deverão ser verificados os parâmetros de deslocamentos apresentados pela estrutura gerados pelas combinações nos Estados Limites de Serviço. Para este propósito, serão consideradas as combinações frequentes de serviço, nas quais a ação variável principal F_{Q1} é tomada com seu valor frequente $\psi_1 F_{Q1,k}$ e todas as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{Q,k}$, obedecendo a equação 3.6:

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\psi_{2j} F_{Qj,k}) \quad (3.6)$$

Os valores de ψ_1 e ψ_2 são obtidos pela Tabela 3.4.

A Tabela 3.6 apresenta as combinações no ELS a serem consideradas.

Tabela 3.6: Combinação de ações no ELS

Combinação	Caso	Coeficientes			Descrição
		Peso Próprio	Sobrecarga	Vento	
1	G + SC + V3B	1,0	0,7	0	Sobrecarga dominante
2	G + SC + V3B	1,0	0,6	0,3	V3B (Sobrepresão) dominante
3	G + SC + V4A	1,0	0,6	0,3	V4A (vento à 90º) dominante
4	G + V1A	1,0	0,6	0,3	V1A (Sucção) dominante

4 Análise Estrutural

Para a análise do galpão como um todo é usual que se adote um modelo de pórtico plano considerando que a mesma geometria, os mesmos esforços e o mesmo comportamento se darão de forma semelhante em todos os pórticos da estrutura. Essa análise é válida apenas para a estrutura principal, sendo os outros elementos como as terças e contraventamentos submetidos a um outro tipo de análise, o que será visto mais adiante.

As ligações entre as colunas e as vigas serão consideradas como rígidas, assim como a ligação na cumeeira entre as duas vigas principais e as ligações nos trechos retos entre duas vigas, como ilustrado nas figuras 4.1, 4.2 e 4.3, respectivamente. Para reduzir os momentos nas ligações de extremidades, foram adotados tirantes bi rotulados nestas regiões e seu esquema de ligação com as vigas e colunas está ilustrado na figura 4.4.

Para que seja feita a fixação da lona de cobertura, um trilho de alumínio (não considerado na análise estrutural) é preso por rebites na mesa superior das vigas. O contato direto entre o alumínio e o aço deve ser evitado através da introdução de um material isolante nesta interface a fim de evitar a corrosão.

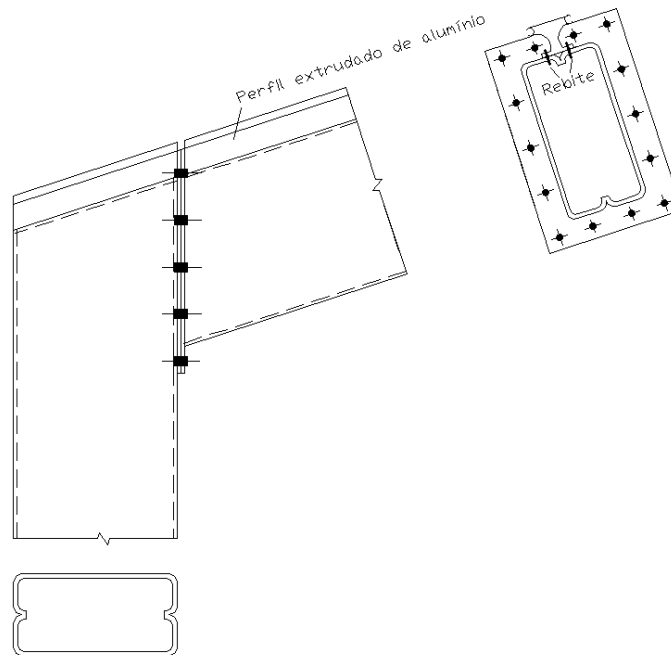


Figura 4.1: Esquema da ligação entre a viga e a coluna

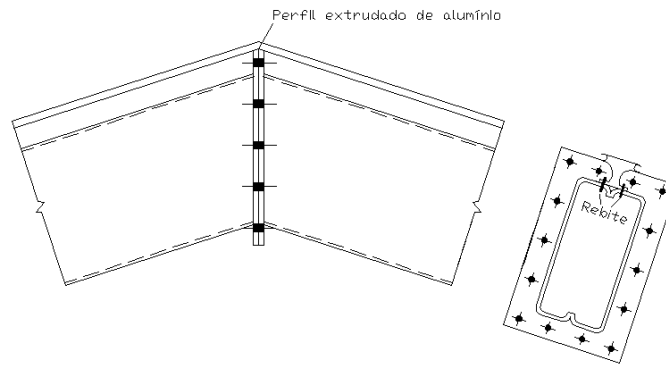


Figura 4.2: Esquema da ligação na cumeeira entre as duas vigas

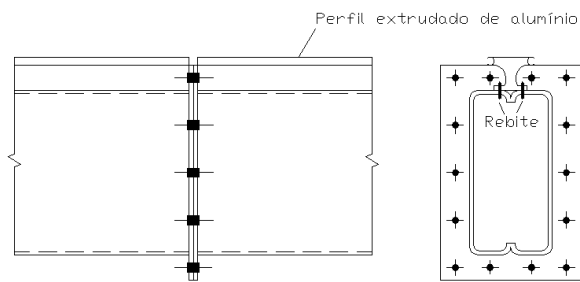


Figura 4.3: Esquema da ligação entre duas vigas no trecho reto

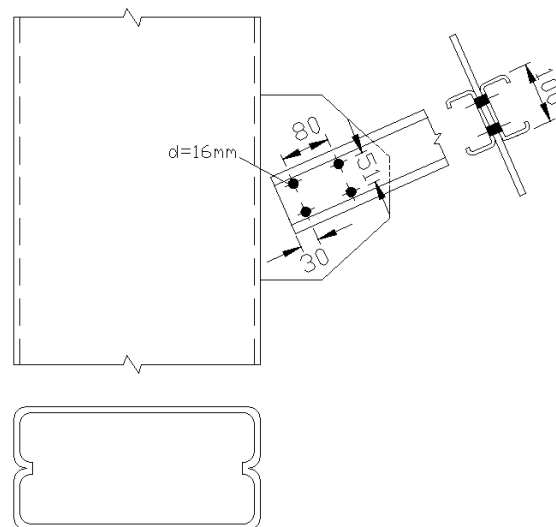


Figura 4.4: Esquema da ligação dos tirantes

Os apoios adotados são do segundo gênero, o que será verificado mais adiante no estudo das fundações.

Para as colunas e vigas será adotado o perfil tubular duplo “U” enrijecido 400x200x30x8. Para os tirantes será adotado um perfil aberto tipo duplo “U” enrijecido com as medidas 100x100x20x6.

O software utilizado para a análise foi o SAP2000 e o modelo apresentado na Figura 4.5 foi gerado a partir deste programa.

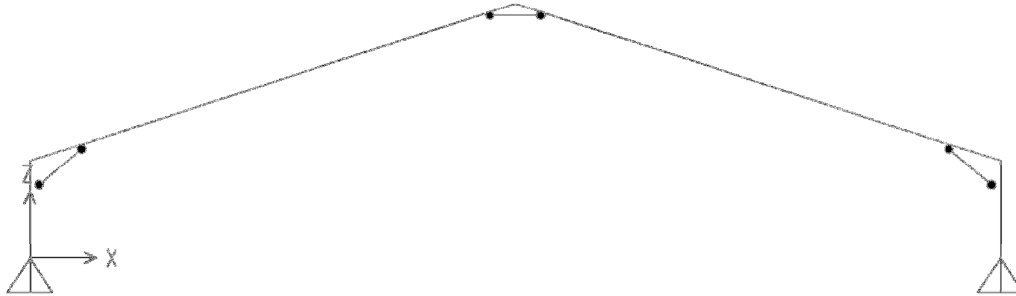


Figura 4.5: Modelo estrutural

A Figura 4.6 mostra a numeração das barras. Percebe-se que as vigas estão divididas em algumas partes. Esse artifício teve que ser usado para que as cargas concentradas pudessem ser aplicadas nos locais corretos.

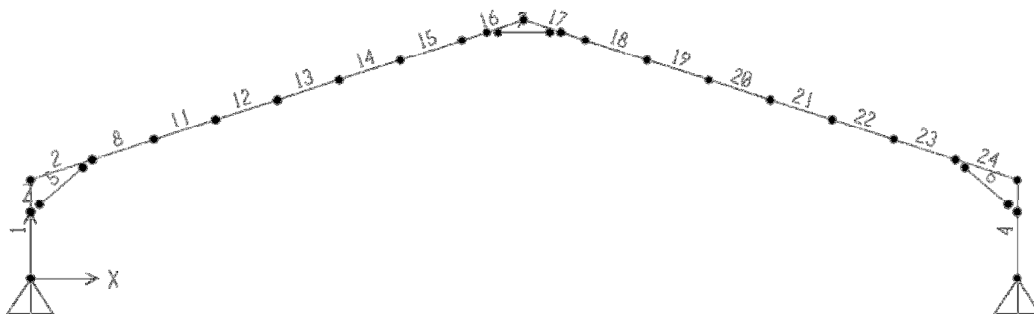


Figura 4.6: Numeração das barras

As figuras 4.7, 4.8 e 4.9 apresentam, respectivamente, os diagramas de esforço normal, momento fletor e esforço cortante para a combinação ELU 1.

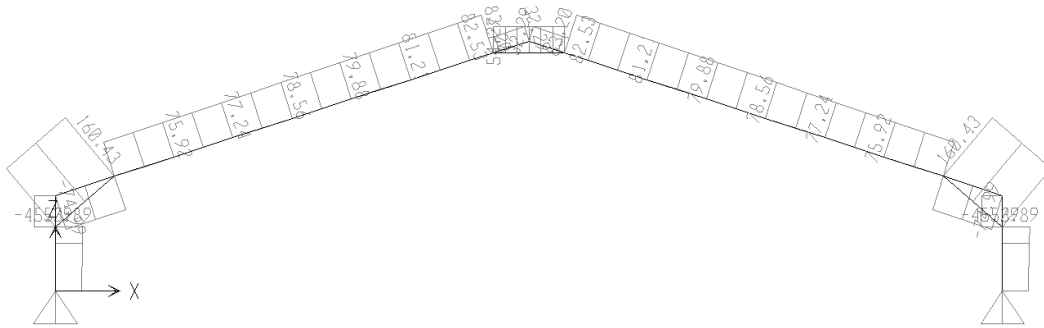


Figura 4.7: Diagrama de esforço normal para a combinação ELU1

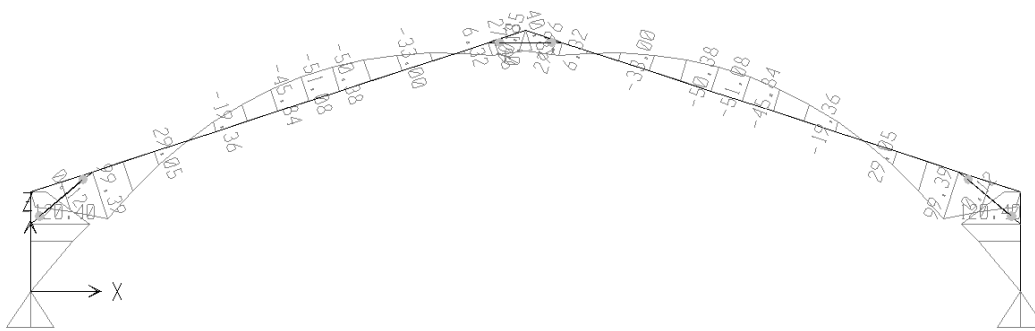


Figura 4.8: Diagrama de momentos fletores para a combinação ELU1

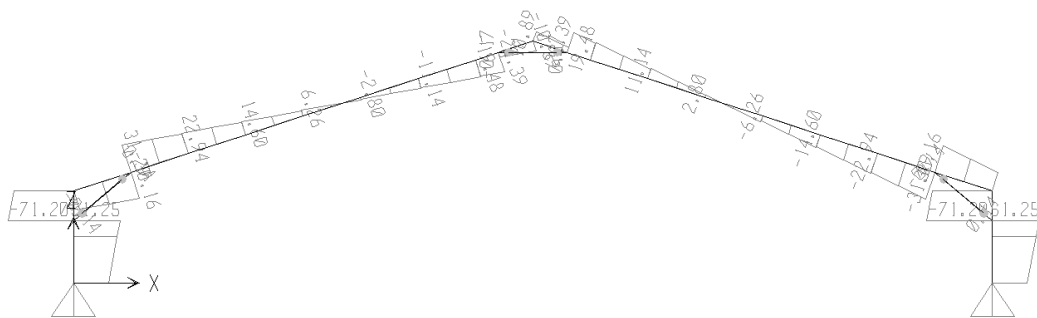


Figura 4.9: Diagrama de esforço cortante para a combinação ELU1

A as figuras 4.10, 4.11 e 4.12 apresentam, respectivamente, os diagramas de esforço normal, momento fletor e esforço cortante para a combinação ELU 2.

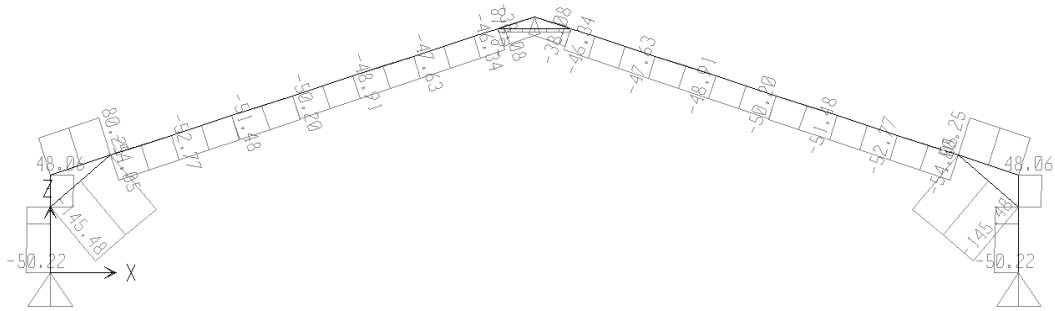


Figura 4.10: Diagrama de esforço normal para a combinação ELU2

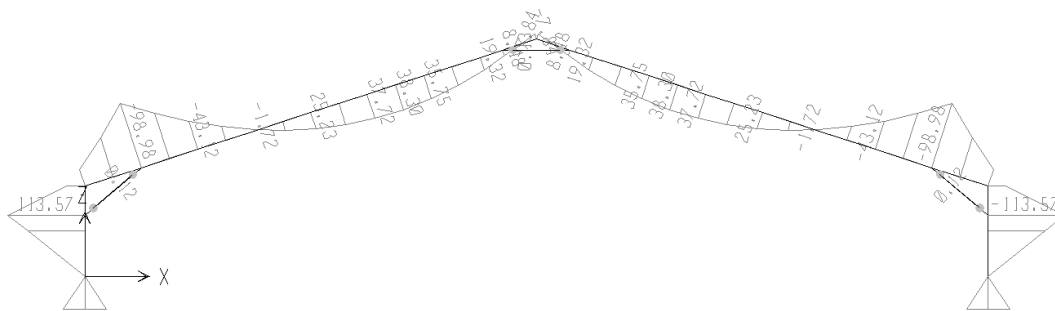


Figura 4.11: Diagrama de momentos fletores para a combinação ELU2

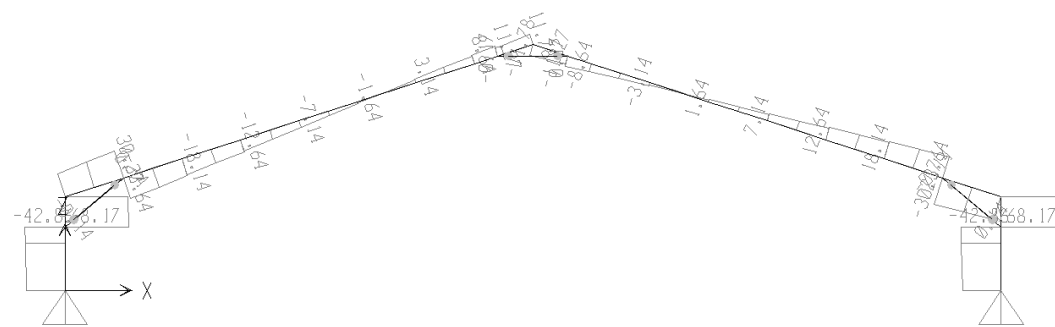


Figura 4.12: Diagrama de esforço cortante para a combinação ELU2

A as figuras 4.13, 4.14 e 4.15 apresentam, respectivamente, os diagramas de esforço normal, momento fletor e esforço cortante para a combinação ELU 3.

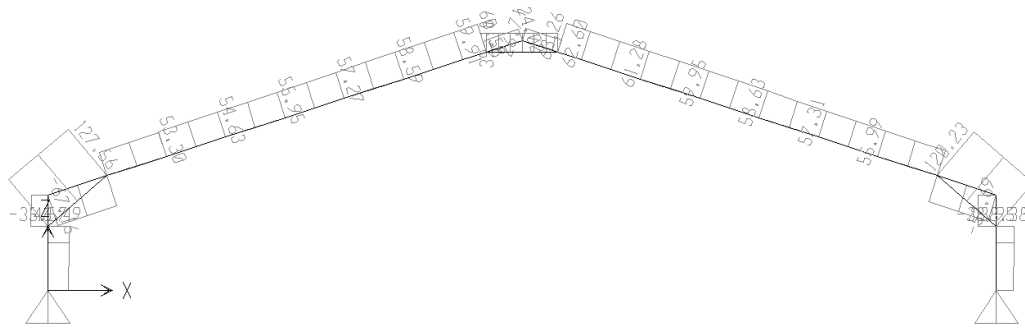


Figura 4.13: Diagrama de esforço normal para a combinação ELU3

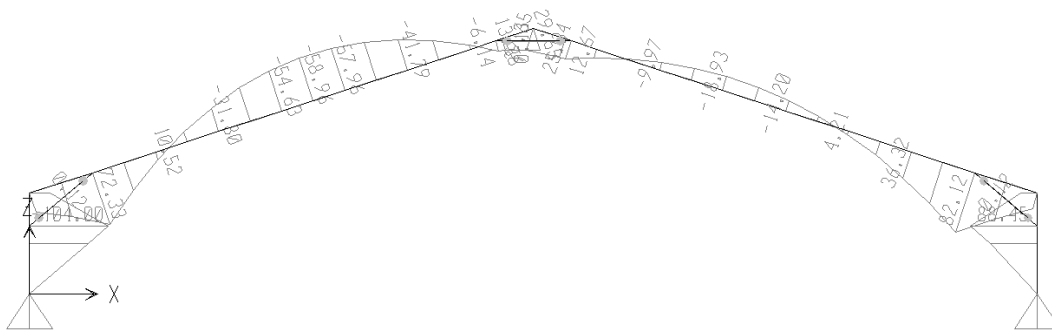


Figura 4.14: Diagrama de momentos fletores para a combinação ELU3

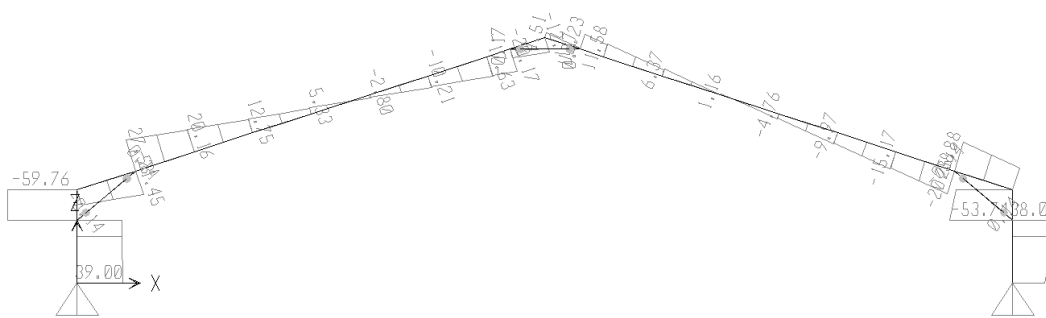


Figura 4.15: Diagrama de esforço cortante para a combinação ELU3

A as figuras 4.16, 4.17 e 4.18 apresentam, respectivamente, os diagramas de esforço normal, momento fletor e esforço cortante para a combinação ELU 4.

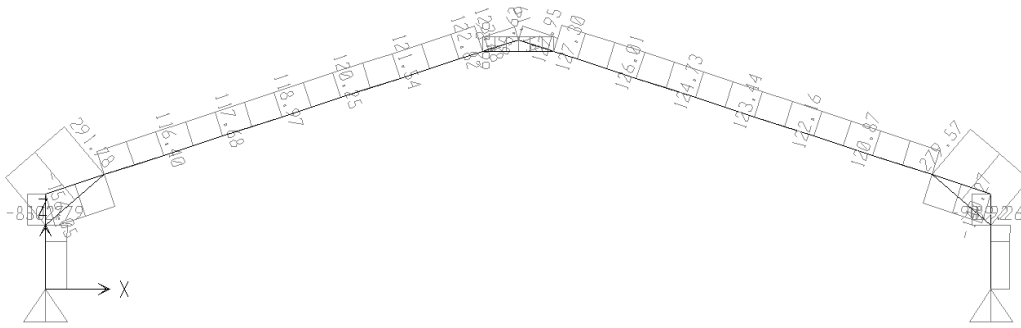


Figura 4.16: Diagrama de esforço normal para a combinação ELU4

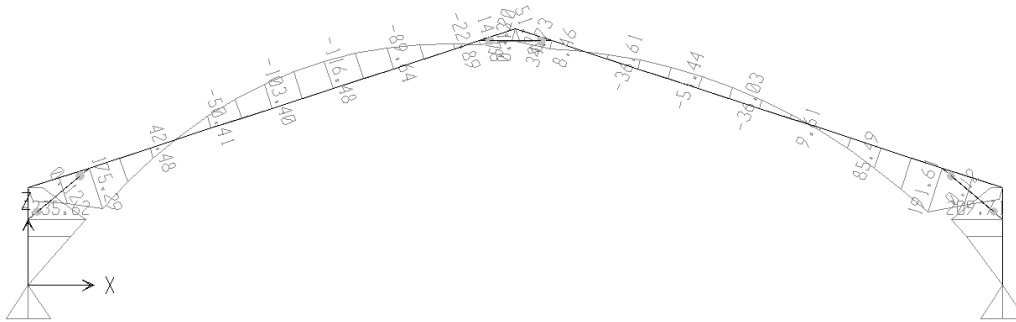


Figura 4.17: Diagrama de momentos fletores para a combinação ELU4

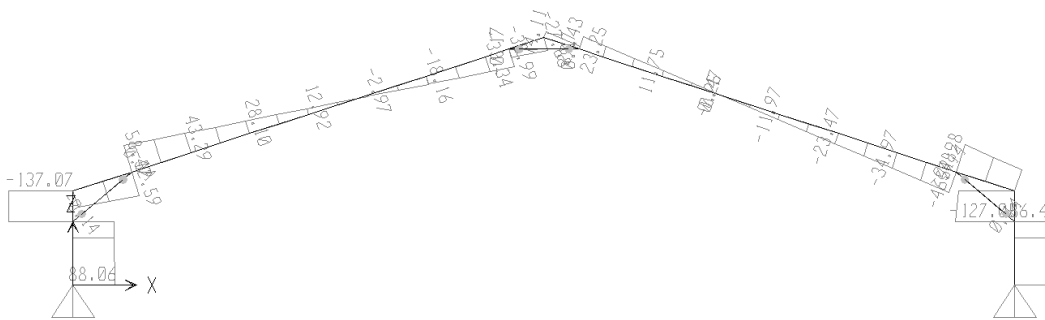


Figura 4.18: Diagrama de esforço cortante para a combinação ELU4

A as figuras 4.19, 4.20 e 4.21 apresentam, respectivamente, os diagramas de esforço normal, momento fletor e esforço cortante para a combinação ELU 5.

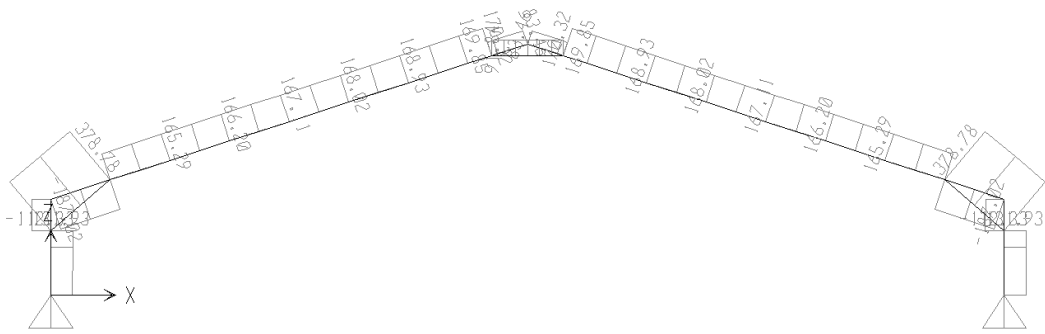


Figura 4.19: Diagrama de esforço normal para a combinação ELU5

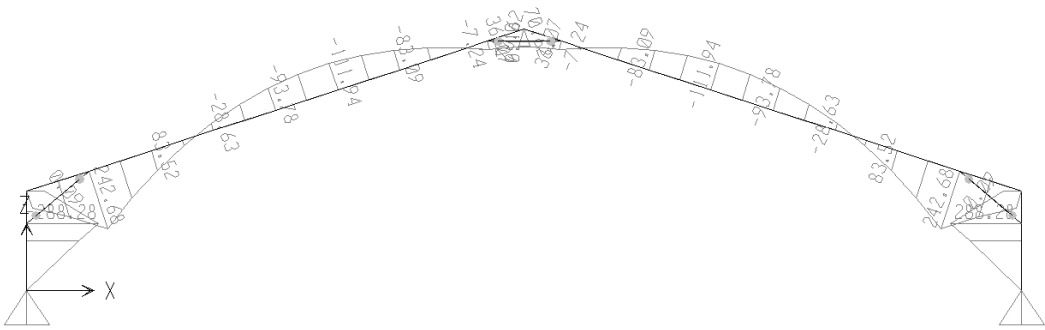


Figura 4.20: Diagrama de momentos fletores para a combinação ELU5

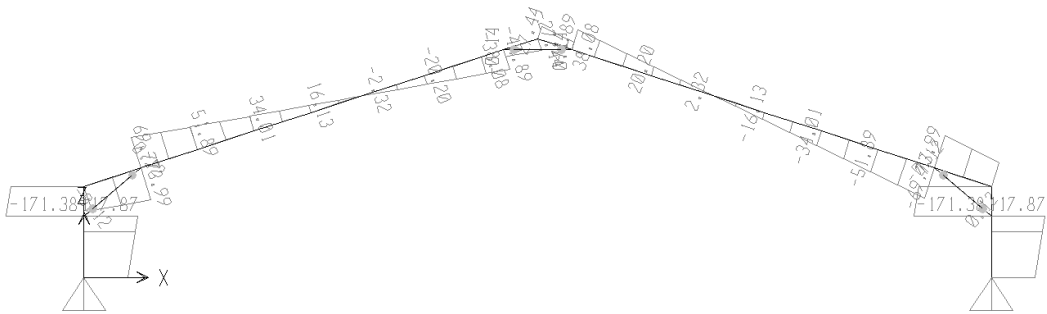


Figura 4.21: Diagrama de esforço cortante para a combinação ELU5

A tabela 4.1 apresenta os esforços críticos para o dimensionamento das colunas, vigas e tirantes. As tabelas completas com os resultados das análises estão apresentadas no Apêndice B.

Tabela 4.1: Esforços críticos para o dimensionamento da estrutura

Elemento	Posição (m)	Combinação	N (kN)	V (kN)	M (kN.m)
Coluna / Viga					
Esforço cortante combinado com momento fletor					
1	2,7	ELU 5	-112,3	-171,4	-288,3
Esforço normal de tração combinado com momento fletor					
1	2,7	ELU 5	131,9	117,9	-288,3
8	0	ELU 5	164,6	69,8	242,7
Esforço normal de compressão combinado com momento fletor					
1	2,7	ELU 5	-112,3	-171,4	-288,3
24	0	ELU 5	-186,3	74,0	242,7
Tirante					
Tração					
5	0	ELU 5	378,8	-	-
Compressão					
5	0	ELU 2	-145,5	-	-

5 Dimensionamento do pórtico transversal

A partir do resultado da análise estrutural, pode ser feito o dimensionamento dos elementos que formam os pórticos transversais do galpão. Nesta etapa serão dimensionadas as vigas, colunas e tirantes. Todo o dimensionamento dos perfis estará baseado na NBR 14762:2010 (“Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio”).

5.1 Dimensionamento das colunas e vigas

As colunas e vigas são representadas pelos elementos 1 à 24, exceto 5, 6 e 7 no modelo estrutural. Os esforços solicitantes de cálculo máximos estão apresentados na tabela 4.1.

Para a determinação das propriedades geométricas do perfil foi utilizado o programa DIMPERFIL, que é parte integrante do livro “Dimensionamento de Perfis Formados a Frio” do CBCA, cujos autores são o M.Sc. Edson Lubas Silva e o Prof. Dr. Valdir Pignatta e Silva.

Perfil adotado: Perfil de seção tubular retangular formado pela junção de dois perfis tipo “U” enrijecido com dimensões 400x200x30x8 mm.

A Figura 5.1 apresenta os dados calculados pelo programa para a utilização no dimensionamento assim como a representação gráfica da seção do perfil.

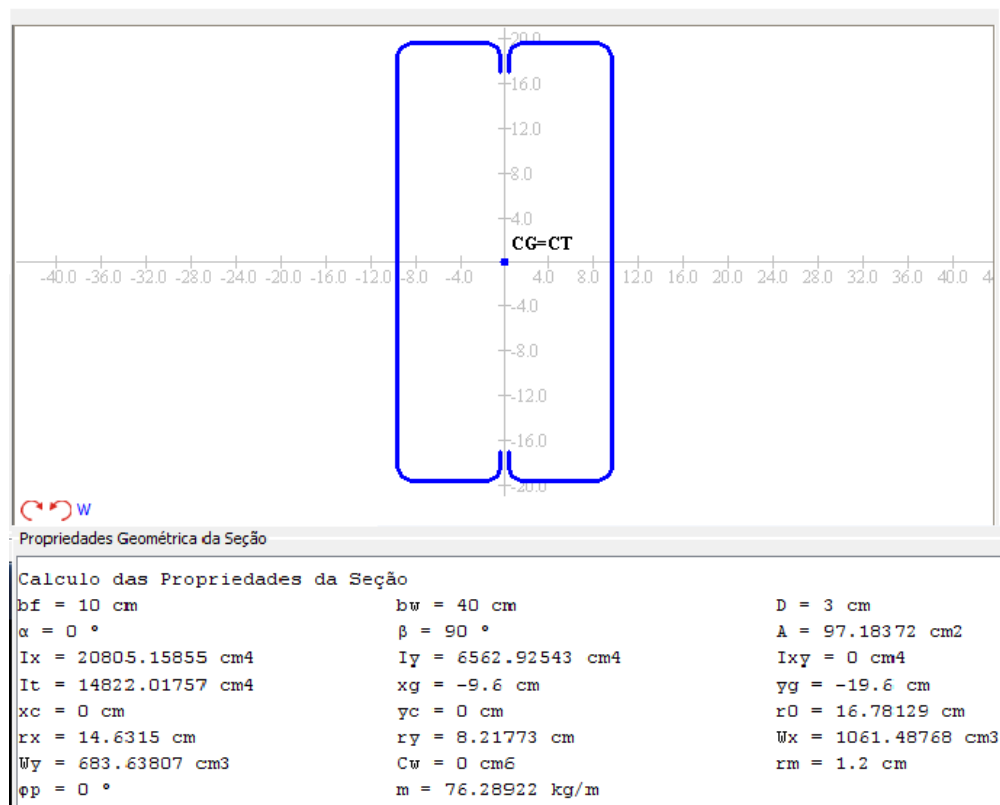


Figura 5.1: Propriedades geométricas do perfil 400x200x30x8 mm

O software DimPerfil não considera o perfil como um perfil fechado, portanto, a constante de torção da seção I_t deve ser calculada manualmente pela equação 5.1:

$$I_t = \frac{4tA_m^2}{L_m} \quad (5.1)$$

onde

t – espessura da parede;

A_m – área média da seção;

L_m – perímetro médio da seção;

Pela equação 5.1 temos:

$$A_m = (400 - 8) \times (400 - 8) = 153664 \text{ mm}^2$$

$$L_m = 4 \times (400 - 8) = 1568 \text{ mm}$$

$$I_t = \frac{4 \times 8 \times 153664^2}{1568} = 481890304,0 \text{ mm}^4 = 4,819 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

Por ser um perfil fechado, todos os elementos do perfil são considerados “AA” (elementos com bordas vinculadas).

Segundo o item 9.1.2 da NBR 14762:2010, como condição geral para o dimensionamento de barras, a relação largura-espessura não deve ultrapassar os valores estabelecidos pela tabela 4. Os elementos do perfil em estudo são classificados da seguinte forma:

“Elemento comprimido com ambas as bordas vinculadas a elementos AA”

$$(b/t)_{\max} = 500 \quad (5.2)$$

Verificação:

$$\text{Para a mesa, temos: } (b_f/t) = (0,20/0,008) = 25 < 500 \quad \text{OK}$$

$$\text{Para a alma, temos: } (b_w/t) = (0,40/0,008) = 50 < 500 \quad \text{OK}$$

Será utilizado o Método da Seção Efetiva (MSE), em que a flambagem local é considerada por meio de propriedades geométricas efetivas (reduzidas) da seção transversal das barras, calculadas diretamente conforme os itens 9.7.2 b) para barras submetidas a compressão, 9.8.2.1 b) e 9.8.2.2 b) da NBR 14762:2010 para barras submetidas a flexão.

- Dimensionamento á tração:

Segundo o item 9.6 da NBR 14762:2010, as barras sujeitas a força axial de tração devem atender a seguinte condição:

$$N_{t,Sd} < N_{t,Rd}$$

O valor de $N_{t,Rd}$ utilizado deve ser o menor dos encontrados em:

- Escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_y / \gamma \quad (\gamma = 1,1) \quad (5.3)$$

onde

A – área bruta da seção transversal da barra

$$N_{t,Rd} = \frac{9,718 \times 10^{-3} \times 350000}{1,1} = \mathbf{3092,0 \text{ kN}}$$

- Ruptura da seção líquida na região da ligação:

Pelo tipo de ligação ilustrado nas figuras 4.1, 4.2 e 4.3, os parafusos não estão posicionados no corpo do perfil, portanto só é necessária a consideração da ruptura da seção bruta do perfil.

- Dimensionamento a compressão:

Segundo o item 9.7 da NBR 14762:2010, as barras sujeitas a força axial de compressão devem atender a seguinte condição:

$$N_{c,Sd} < N_{c,Rd}$$

A força axial de compressão resistente de cálculo deve ser calculada pela equação 5.4:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A_{ef} f_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,2) \quad (5.4)$$

onde

χ – fator de redução da força axial de compressão resistente, associado a flambagem global

A_{ef} – área efetiva da seção transversal da barra calculado pelo MSE

Primeiramente, deve-se calcular a força axial de flambagem global elástica N_e , conforme o item 9.7.2.1 da NBR 14762:2010. O valor de N_e é obtido dentre o menor valor dos calculados a seguir:

- Força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo principal x:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2} \quad (5.5)$$

onde

$K_x L_x$ – comprimento efetivo de flambagem global por flexão em relação ao eixo x.

Considerando $K_x = 1$ e $L_x = 17,1$ m (comprimento livre da viga entre o tirante diagonal e o tirante horizontal conforme a figura 5.2), temos:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \times 200000000 \times 2,081 \times 10^{-4}}{(17,1)^2} = 1404,0 \text{ kN}$$

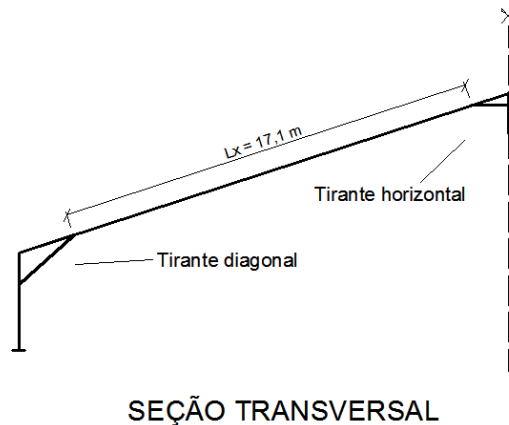


Figura 5.2: Comprimento L_x para as colunas e vigas

- Força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo principal y:

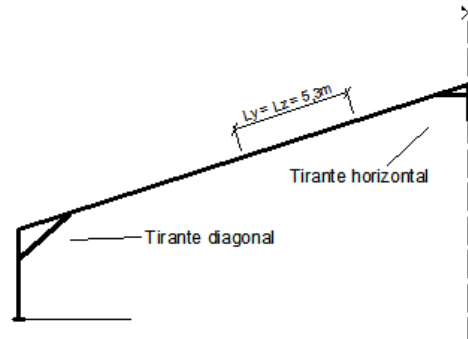
$$N_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2} \quad (5.6)$$

onde

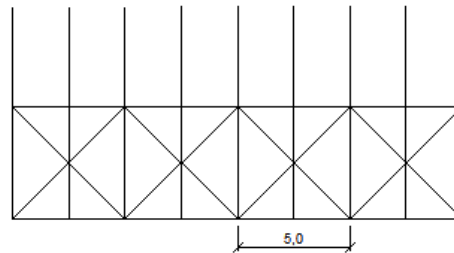
$K_y L_y$ – comprimento efetivo de flambagem global por flexão em relação ao eixo y.

Considerando $K_y = 1$ e $L_y = 5,3$ m (comprimento livre da viga entre dois pontos de contraventamento no plano da cobertura conforme a figura 5.3), temos:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \times 200000000 \times 6,563 \times 10^{-5}}{(5,3)^2} = 4612,0 \text{ kN}$$



SEÇÃO TRANSVERSAL



PLANTA

Figura 5.3: Comprimento L_y e L_z para as colunas

- Força axial de flambagem global elástica por torção:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right] \quad (5.7)$$

onde

$K_z L_z$ – comprimento efetivo de flambagem global por torção;

G – módulo de elasticidade transversal;

J – constante de torção da seção;

C_w – constante de empenamento da seção

r_0 – raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção

Considerando $K_z = 1$ e $L_z = 5,3$ m (comprimento livre da viga entre dois pontos de contraventamento no plano da cobertura conforme a figura 5.3), temos:

$$N_{ez} = \frac{1}{0,168^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 2 \times 10^8 \times 0}{(5,3)^2} + 7,692 \times 10^7 \times 4,819 \times 10^{-4} \right] =$$

1331000,0 kN

Logo, $N_e = N_{ex} = 1404,0$ kN.

De posse do valor de N_e calcula-se o índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global (λ_0).

$$\lambda_0 = \left(\frac{Af_y}{N_e} \right)^{0,5} \quad (5.8)$$

$$\lambda_0 = \left(\frac{9,718 \times 10^{-3} \cdot 350000}{1404,0} \right)^{0,5} = 1,556$$

A partir de λ_0 calcula-se o fator de redução da força axial de compressão resistente associado à flambagem global (χ).

$$\chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}, \text{ para } \lambda_0 \geq 1,5 \quad (5.9)$$

$$\chi = \frac{0,877}{1,556^2} = 0,362$$

Calcula-se então o valor da força axial de flambagem local elástica (N_l) pela expressão 5.10:

$$N_l = k_l \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2) \left(\frac{b_w}{t} \right)^2} A \quad (5.10)$$

onde

k_l – coeficiente de flambagem local para a seção completa, obtido diretamente pela Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Coeficientes de flambagem local k_1 para barras sob compressão centrada (NBR 14762:2010)

$\eta = b_f / b_w$	Caso a	Caso b	Caso c	Caso d
	Seção U simples e Seção Z simples	Seção U enrijecido, Seção Z enrijecido e Seção cartola	Seção rack	Seção tubular retangular (solda de costura contínua)
0,1	4,25	-	-	-
0,2	4,52	6,04	-	5,67
0,3	4,33	5,73	5,76	5,44
0,4	3,71	5,55	5,61	5,29
0,5	2,88	5,40	5,47	5,16
0,6	2,17	5,26	5,35	5,03
0,7	1,67	5,11	5,23	4,87
0,8	1,32	4,89	5,10	4,66
0,9	1,06	4,56	4,85	4,37
1,0	0,88	4,10	4,56	4,00

NOTA 1 b_f , b_w , b_s e D são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado nas Figuras da Tabela 9.

NOTA 2 Para o caso b, os valores são válidos para $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$.

NOTA 3 Para o caso c, os valores são válidos para $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$ e $0,1 \leq b_s/b_w \leq 0,4$.

NOTA 4 Para valores intermediários, interpolar linearmente.

$$\eta = \frac{b_f}{b_w} = \frac{0,2}{0,4} = 0,5$$

Pela Tabela 5.1, fazendo uma interpolação linear no caso “d”, temos:

$$k_1 = 5,16$$

Então:

$$N_l = 5,16 \frac{\pi^2 \times 200000000}{12(1-0,3^2)(0,40/0,008)^2} 9,718 \times 10^{-3} = 3626,0 \text{ kN}$$

A partir do N_l calcula-se o índice de esbeltez reduzido da seção (λ_p), dado pela equação 5.11:

$$\lambda_p = \left(\frac{\chi A f_y}{N_l} \right)^{0,5} \quad (5.11)$$

$$\lambda_p = \left(\frac{0,362 \times 9,718 \times 10^{-3} \times 350000}{3626,0} \right)^{0,5} = 0,583$$

$$A_{ef} = A, \text{ para } \lambda_p \leq 0,776$$

Pela equação 5.5, temos:

$$N_{c,Rd} = \frac{0,362 \times 9,718 \times 10^{-3} \times 350000}{1,2} = 1026,0 \text{ kN}$$

O item 9.7.4 da NBR 14762:2010 limita o índice de esbeltez (KL/r) das barras comprimidas no valor máximo de 200. Deve então ser feita a verificação:

$$\frac{K_x \times L_x}{r_x} = \frac{1,0 \times 17,1}{0,146} = 116,9 \leq 200 \quad \text{OK}$$

$$\frac{K_y \times L_y}{r_y} = \frac{1,0 \times 5,3}{0,082} = 64,5 \leq 200 \quad \text{OK}$$

- Dimensionamento a flexão simples:

Segundo o item 9.8 da NBR 14762:2010, as barras prismáticas submetidas a momento fletor e força cortante devem atender as seguintes condições:

$$M_{Sd} < M_{Rd}$$

$$V_{Sd} < V_{Rd}$$

➤ Início de escoamento da seção efetiva:

Segundo o item 9.8.2.1 da NBR 14762:2010 o momento resistente correspondente ao início do escoamento da seção efetiva é dado pela equação 5.12:

$$M_{Rd1} = \frac{W_{ef} f_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,1) \quad (5.12)$$

onde

W_{ef} – módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra extrema que atinge o escoamento, calculado pelo MSE.

Primeiramente deve-se calcular o momento fletor de flambagem local elástica (M_l), de acordo com a expressão 5.13:

$$M_l = k_l \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(b_w/t)^2} W_c \quad (5.13)$$

onde

W – módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra extrema que atinge o escoamento;

W_c – módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra mais extrema comprimida;

k_l – coeficiente de flambagem local para a seção completa, obtido diretamente pela Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Coeficientes de flambagem local k_l da seção completa em barras sob flexão simples em torno do eixo de maior inércia (NBR 14762:2010).

$\eta = b_f / b_w$	Caso a	Caso b			Caso c
	Seção U simples e Seção Z simples	Seção U enrijecido e Seção Z enrijecido			Seção tubular retangular (solda de costura contínua)
		$\mu \leq 0,2$	$\mu = 0,25$	$\mu = 0,3$	
0,2	18,4	32,0	25,8	21,2	31,0
0,3	9,6	29,3	23,8	19,7	28,9
0,4	5,6	24,8	20,7	18,2	25,6
0,5	3,6	18,7	17,6	16,0	19,5
0,6	2,6	13,6	13,3	13,0	14,2
0,7	1,9	10,2	10,1	10,1	10,6
0,8	1,5	7,9	7,9	7,9	8,2
0,9	1,2	6,2	6,3	6,3	6,6
1,0	1,0	5,1	5,1	5,1	5,3

NOTA 1 b_f , b_w e D são a largura nominal da mesa, da alma e do enrijecedor de borda, respectivamente.
 NOTA 2 $\mu = D/b_w$.
 NOTA 3 Para valores intermediários interpolar linearmente.

$$\eta = \frac{b_f}{b_w} = \frac{0,2}{0,4} = 0,571$$

Pela Tabela 5.2, fazendo uma interpolação linear no caso “c”, temos:

$$k_l = 19,5$$

Então:

$$M_l = 19,5 \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^8}{12(1-0,3^2)(0,40/0,008)^2} \times 1,061 \times 10^{-3} = 1497,0 \text{ kN.m}$$

A partir do M_l calcula-se o índice de esbeltez reduzido da seção (λ_p), dado pela equação 5.14:

$$\lambda_p = \left(\frac{W_{fy}}{M_l} \right)^{0,5} \quad (5.14)$$

$$\lambda_p = \left(\frac{1,061 \times 10^{-3} \times 350000}{1497,0} \right)^{0,5} = 0,498$$

$$W_{ef} = W, \text{ para } \lambda_p \leq 0,673$$

Pela equação 5.11, temos:

$$M_{Rd1} = \frac{1,061 \times 10^{-3} \times 350000}{1,1} = 337,7 \text{ kN.m}$$

➤ Flambagem lateral por torção:

Segundo o item 9.8.2.2 da NBR 14762:2010, o momento fletor resistente de cálculo referente à flambagem lateral com torção, tomando-se um trecho compreendido entre seções contidas lateralmente, deve ser calculado pela expressão 5.15:

$$M_{Rd2} = \frac{\chi_{FLT} W_{c,ef} f_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,1) \quad (5.15)$$

onde

$W_{c,ef}$ – módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra extrema comprimida, calculado pelo MSE;

χ_{FLT} – fator de redução do momento fletor resistente, associado à flambagem lateral com torção.

Primeiramente, deve-se calcular λ_0 de acordo com a expressão 5.16:

$$\lambda_0 = \left(\frac{W_c f_y}{M_e} \right)^{0,5} \quad (5.16)$$

onde

M_e – momento fletor de flambagem lateral com torção em regime elástico.

Para barras com seção duplamente simétricas sujeitas a flexão em torno do eixo de simetria (eixo x) o valor de M_e é dado pela equação 5.17:

$$M_e = C_b r_0 (N_{ey} N_{ez})^{0,5} \quad (5.17)$$

onde

C_b – fator de modificação para momento fletor não uniforme, que a favor da segurança pode ser tomado com 1,0.

N_{ey} e N_{ez} são os calculados no dimensionamento a compressão.

Então, pela equação 5.16:

$$M_e = 1,0 \times 0,168 (4612 \times 404900)^{0,5} = 7251,0 \text{ kN.m}$$

Pela equação 5.15, temos:

$$\lambda_0 = \left(\frac{1,061 \times 10^{-3} \times 350000}{7251,0} \right)^{0,5} = 0,226$$

$$\chi_{FLT} = 1,0, \text{ para } \lambda_0 \leq 0,6$$

De posse de χ_{FLT} , calcula-se o valor de λ_p pela equação 5.18:

$$\lambda_p = \left(\frac{\chi_{FLT} W_c f_y}{M_l} \right)^{0,5} \quad (5.18)$$

$$\lambda_p = \left(\frac{1,0 \times 1,061 \times 10^{-3} \times 350000}{1497,0} \right)^{0,5} = 0,498$$

$$W_{c,ef} = W_c, \text{ para } \lambda_p \leq 0,673$$

Finalmente, pela equação 5.14, temos:

$$M_{Rd2} = \frac{1,0 \times 1,061 \times 10^{-3} \times 350000}{1,1} = 337,7 \text{ kN.m}$$

Não há necessidade da análise de flambagem distorcional por se tratar de um perfil de seção fechada.

$$M_{Rd} = M_{Rd1} = M_{Rd2} = \mathbf{337,7 \text{ kN.m}}$$

- Esforço cortante resistente:

De acordo com o item 9.8.3 da NBR 14762:2010, para o cálculo da força cortante resistente de cálculo deve-se avaliar a seguinte inequação:

$$\frac{h}{t} \leq 1,08 \left(\frac{E k_v}{f_y} \right)^{0,5} \quad (5.19)$$

onde

t – espessura da alma;

h – largura da alma (altura da parte plana da alma);

k_v – coeficiente de flambagem local por cisalhamento com valor 5,0 para perfis com alma sem enrijecedores transversais;

$$h = b_w - 2t = 0,40 - 2 \times 0,008 = 0,384 \text{ m} \quad (5.20)$$

Verificando a inequação 5.18, temos:

$$\frac{0,384}{0,008} \leq 1,08 \left(\frac{2 \times 10^8 \times 5,0}{350000} \right)^{0,5}$$

$$48 \leq 57,7$$

Atendida a relação, temos que:

$$V_{Rd} = \frac{0,6f_y h t}{\gamma} \quad (\gamma=1,1) \quad (5.21)$$

A equação 5.20 fornece o esforço cortante resistente para uma alma, no caso do perfil em questão, devemos multiplicar o resultado por 2 por se tratarem de duas almas.

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \times 350000 \times 0,384 \times 0,008 \times 2}{1,1} = \mathbf{1173,0 \text{ kN}}$$

Verifica-se que os esforços resistentes da seção não foram reduzidos por flambagem local.

As colunas e as vigas estão sujeitas a esforços de momento fletor e força cortante combinados, logo deve ser feita a verificação para esta combinação assim como a verificação à flexão composta.

Os esforços solicitantes estão apresentados na tabela 4.1.

- Momento fletor e força cortante combinados:

De acordo com o item 9.8.4 da NBR 14762:2010, para barras sem enrijecedores transversais, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo na mesma seção, devem satisfazer à expressão de interação 5.22:

$$\left(\frac{M_{sd}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (5.22)$$

$$\left(\frac{288,3}{337,7}\right)^2 + \left(\frac{171,4}{1173,0}\right)^2 = 0,75 \leq 1 \quad (OK)$$

- Flexão Composta:

De acordo com o item 9.8.7 da NBR 14762:2010, as barras submetidas à flexão composta devem satisfazer a expressão de interação 5.23:

$$\frac{N_{sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{sd}}{M_{Rd}} \leq 1 \quad (5.23)$$

Para o caso de tração, temos:

- Elemento 1:

$$\frac{131,9}{3092,0} + \frac{288,3}{337,7} = 0,90 \leq 1 \quad (OK)$$

- Elemento 8:

$$\frac{164,6}{3092,0} + \frac{242,7}{337,7} = 0,77 \leq 1 \quad (OK)$$

Para o caso de compressão, temos:

➤ Elemento 1:

$$\frac{-112,3}{-1026,0} + \frac{288,3}{337,7} = 0,96 \leq 1 \quad (OK)$$

➤ Elemento 24:

$$\frac{-186,3}{-1026,0} + \frac{242,7}{337,7} = 0,93 \leq 1 \quad (OK)$$

Assim sendo, o perfil 400x200x30x8 mm das colunas e vigas atende a todas as solicitações de cálculo.

5.2 Dimensionamento dos tirantes:

Os tirantes são representados pelos elementos 5, 6 e 7 no modelo estrutural. Os esforços solicitantes de cálculo máximos para os tirantes são apresentados na tabela 4.1.

Perfil adotado: Perfil aberto tipo duplo “U” enrijecido com dimensões 100x100x20x6 mm.

A Figura 5.4 apresenta os dados calculados pelo programa para a utilização no dimensionamento assim como a representação gráfica da seção do perfil.

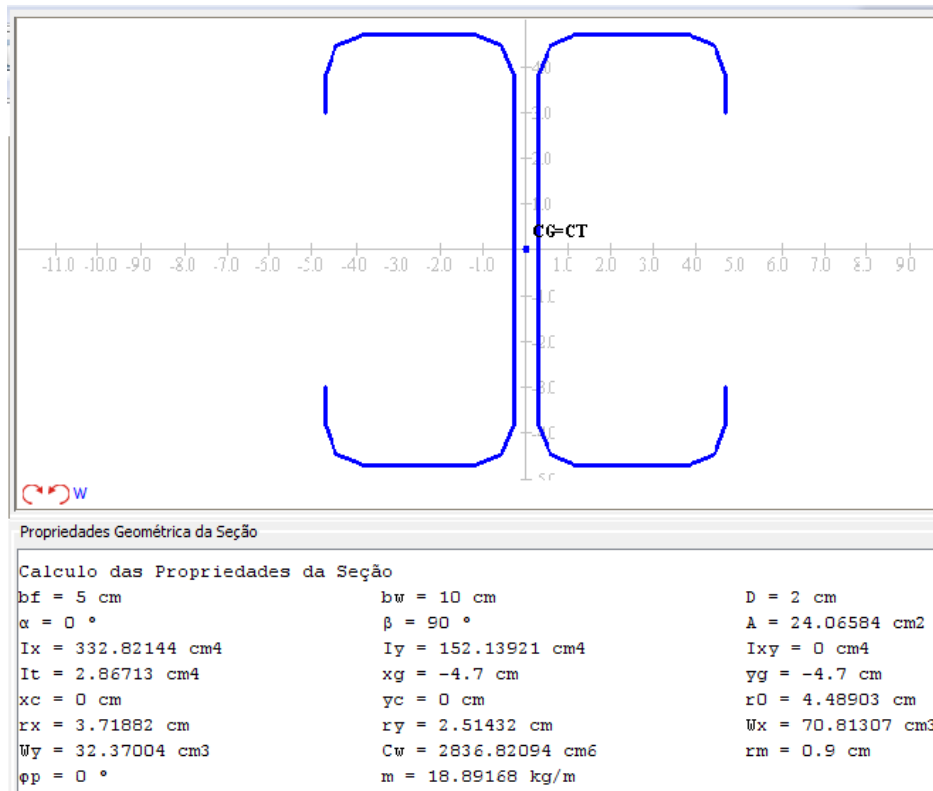


Figura 5.4: Propriedades geométricas do perfil 100x100x20x6 mm

A constante de torção I_t é dada pela equação 5.24:

$$I_t = \frac{1}{3} \sum b_i t_i^3 \quad (5.24)$$

onde

b_i – largura do elemento i ;

t_i – espessura do elemento i .

Pela equação 5.24:

$$I_t = \frac{1}{3} \left((4 \times 20 + 2 \times 100) 6^3 + 100 \times 10^3 \right) = 77760,0 \text{ mm}^4 = 7,776 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Verificação da relação largura-espessura conforme o item 9.1.2 da NBR 14762:2010:

$$(b/t)_{\max} = 60$$

$$\text{Para a mesa, temos: } (b_f/t) = (0,05/0,006) = 8,3 < 60 \quad \text{OK}$$

$$\text{Para a alma, temos: } (b_w/t) = (0,10/0,006) = 16,7 < 60 \quad \text{OK}$$

- Dimensionamento à tração:

- Escoamento da seção bruta:

Conforme a equação 5.3, temos:

$$N_{t,Rd1} = \frac{2,407 \times 10^{-3} \times 350000}{1,1} = 765,9 \text{ kN}$$

- Ruptura da seção líquida na região da ligação:

$$N_{t,Rd} = C_t \cdot A_n \cdot f_u / \gamma \quad (\gamma = 1,65) \quad (5.25)$$

onde

A_n – área líquida da seção transversal da barra na região da ligação;

C_t - coeficiente de redução da área líquida;

A ligação a ser considerada está ilustrada na figura 4.4 com parafusos de 16,0 mm.

$$A_n = 0,9 (A - n_f \cdot d_f \cdot t) \quad (5.26)$$

onde

n_f – quantidade de furos contidos na linha de ruptura analisada;

d_f - dimensão do furo na direção perpendicular a ligação;

t – espessura da parte conectada analisada.

$$d_f = 16,0 + 3,5 = 19,5 \text{ mm}$$

$$n_f = 4 \text{ (2 furos em cada alma)}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

$$C_t = 1,0 - 1,2 \left(\frac{x}{L} \right) \quad (5.27)$$

onde

x – excentricidade da ligação;

L – comprimento da ligação .

$$x = 18,4 \text{ mm}$$

$$L = 80 \text{ mm}$$

Pela equação 5.25, temos:

$$C_t = 1,0 - 1,2 \left(\frac{15,4}{80} \right) = 0,77$$

Pela equação 5.24:

$$A_n = 0,9 (2,407 \times 10^{-3} - 4 \times 0,0195 \times 0,006) = 1,745 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Finalmente, pela equação 5.23:

$$N_{t,Rd2} = \frac{0,77 \times 1,745 \times 10^{-3} \times 485000}{1,65} = 395,0 \text{ kN}$$

Logo, o esforço normal resistente é dado pelo menor dos dois valores:

$$N_{t,Rd} = N_{t,Rd2} = \mathbf{395,0 \text{ kN}}$$

Dimensionamento à compressão:

- Força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo principal x:

Considerando $K_x = 1$ e $L_x = 3,0$ m (comprimento do tirante), temos pela equação 5.5:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \times 200000000 \times 3,328 \times 10^{-6}}{(3)^2} = 730,0 \text{ kN}$$

- Força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo principal y:

Considerando $K_y = 1$ e $L_y = 3,0$ m (comprimento do tirante), temos pela equação 5.6:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \times 200000000 \times 1,521 \times 10^{-6}}{(3)^2} = 333,7 \text{ kN}$$

- Força axial de flambagem global elástica por torção:

Considerando $K_z = 1$ e $L_z = 3,0$ m (comprimento do tirante), temos pela equação 5.7:

$$N_{ez} = \frac{1}{0,045^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 2 \times 10^8 \times 2,837 \times 10^{-9}}{(3)^2} + 7,692 \times 10^7 \times 7,776 \times 10^{-8} \right] = 3115,0 \text{ kN}$$

Logo, $N_e = N_{ey} = 333,7 \text{ kN}$.

Cálculo de λ_0 pela equação 5.8:

$$\lambda_0 = \left(\frac{2,407 \times 10^{-3} \cdot 350000}{333,7} \right)^{0,5} = 1,59$$

Cálculo do fator de redução da força axial de compressão resistente associado à flambagem global (χ) pela equação 5.9:

$$\chi = \frac{0,877}{1,59^2} = 0,347$$

Pela Tabela 5.1, temos:

$$\eta = \frac{bf}{bw} = \frac{0,05}{0,1} = 0,5$$

$$k_1 = 5,4$$

De acordo com a equação 5.10:

$$N_l = 5,4 \frac{\pi^2 \times 200000000}{12(1-0,3^2) \left(\frac{0,10}{0,006} \right)^2} 2,407 \times 10^{-3} = 6422,0 \text{ kN}$$

Cálculo de λ_p pela equação 5.11:

$$\lambda_p = \left(\frac{0,347 \times 2,407 \times 10^{-3} \times 350000}{6422} \right)^{0,5} = 0,539$$

$$A_{ef} = A, \text{ para } \lambda_p \leq 0,776$$

Pela equação 5.4, temos:

$$N_{c,Rd} = \frac{0,347 \times 2,407 \times 10^{-3} \times 350000}{1,2} = \mathbf{243,9 \text{ kN}}$$

Verificação da esbeltez de acordo com o item 9.7.4 da NBR 14762:2010:

$$\frac{K_x \times L_x}{r_x} = \frac{1,0 \times 3,0}{0,037} = 80,6 \leq 200 \quad \text{OK}$$

$$\frac{K_y \times L_y}{r_y} = \frac{1,0 \times 3,0}{0,025} = 119,5 \leq 200 \quad \text{OK}$$

Verificação do perfil à tração:

$$N_{t,Sd} = 378,8 \text{ kN (pela tabela 4.1)}$$

$$N_{t,Rd} = 395,0 \text{ kN}$$

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd} \quad \text{OK}$$

Verificação do perfil à compressão:

$$N_{c,Sd} = -145,5 \text{ kN (pela tabela 4.1)}$$

$$N_{c,Rd} = -243,9 \text{ kN}$$

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad \text{OK}$$

Assim sendo, o perfil 100x100x20x6 mm dos tirantes atende a todas as solicitações de cálculo.

5.3 Verificação das flechas

A verificação das flechas na estrutura deve ser feita nos Estados Limites de Serviço. O item 9.85 da NBR 14762:2010 prevê uma redução do momento de inércia da seção do perfil para o cálculo dos deslocamentos caso $\lambda_{pd} > 0,673$ que é dado pela equação 5.26.

$$\lambda_{pd} = \left(\frac{M_n}{M_l} \right)^{0,5} \quad (5.26)$$

onde

M_n – momento fletor solicitante calculado no ELS.

Os resultados das análises no ELS estão disponíveis no Apêndice B. A combinação que resultou nos momentos mais críticos foi a ELS 2. A figura 5.5 apresenta a deformada do pórtico para esta combinação.

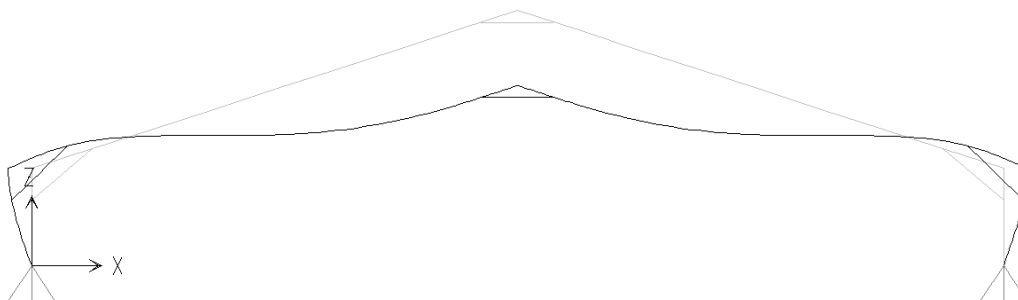


Figura 5.5: Deformada do pórtico para a combinação ELS 2

O deslocamento vertical máximo verificado na viga foi na cumeeira com o valor de 0,044 m.

A figura 5.6 apresenta o diagrama de momentos fletores para a combinação ELS 2.

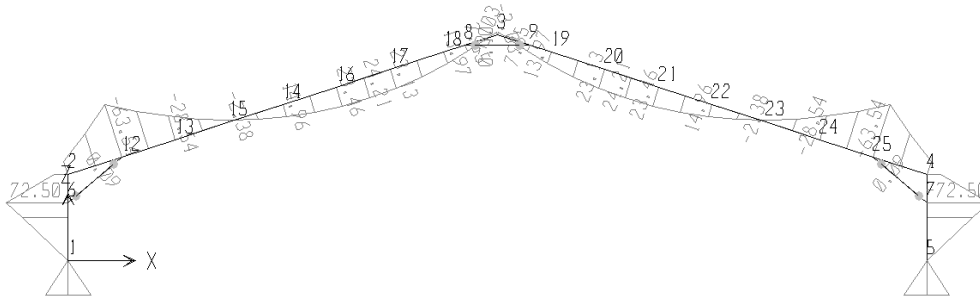


Figura 5.6: Diagrama de momentos fletores para a combinação ELS 2

O maior momento fletor encontrado foi de 72,5 kN.m. Logo, pela equação 5.26:

$$\lambda_{pd} = \left(\frac{72,5}{1497,0} \right)^{0,5} = 0,220 \leq 0,673$$

Portanto não há necessidade de redução da rigidez.

De acordo com a tabela C.1 do anexo C da NBR 8800:2008, o deslocamento vertical máximo permitido para vigas de cobertura é dado por:

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{L}{250} = \frac{40}{250} = 0,16 \text{ m}$$

$$f = 0,044 < f_{m\acute{a}x}$$

Logo, o perfil atende aos critérios de deslocamento.

6 Dimensionamento dos sistema de contraventamento

Sistemas estruturais formados por treliças e pórticos dispostos em planos verticais paralelos, como é usual em coberturas, estruturas para galpões e para edificações, devem ser contraventados para garantir sua estabilidade lateral e reduzir o comprimento de flambagem para as hastes comprimidas (PFEIL, 2008). Além disso, devem garantir também a resistência aos esforços de vento no sentido longitudinal da estrutura.

Primeiramente, deve-se calcular o esforço de vento a ser resistido pelo contraventamento. Pela figura 3.4, o coeficiente de forma externo (C_e) na parede frontal para um vento a 0° vale $+0,7$. Considerando uma abertura a sotavento, temos um coeficiente de pressão interna (C_{pi}) correspondente ao valor do C_e nesta face, que no caso é de $-0,3$. Portanto, pela equação 3.4, temos que:

$F = (C_e - C_{pi})q \cdot A = (0,7 - (-0,3)) \times 0,839A = 0,839 A$, onde A é a área de influência a ser considerada.

6.1 Dimensionamento do contraventamento vertical no plano longitudinal

Para o fechamento das paredes frontais serão utilizadas colunas a cada 5,0 metros para que sejam colocadas as lonas. Tais colunas possuem ligações rotuladas tanto na base quanto na ligação com as vigas.

A figura 6.1 ilustra a área de influencia do esforço de vento a ser resistido pelo contravento vertical. Entretanto, é razoável assumir que aproximadamente metade desse esforço é absorvido pelas bases das colunas de fechamento. Logo, o esforço de cálculo devido ao vento para o contraventamento vertical é dado por:

$$V_{sd} = 1,4 \times 0,839 \times (10,5+4,0) \times 20,0 / 4 = 85,1 \text{ kN}$$

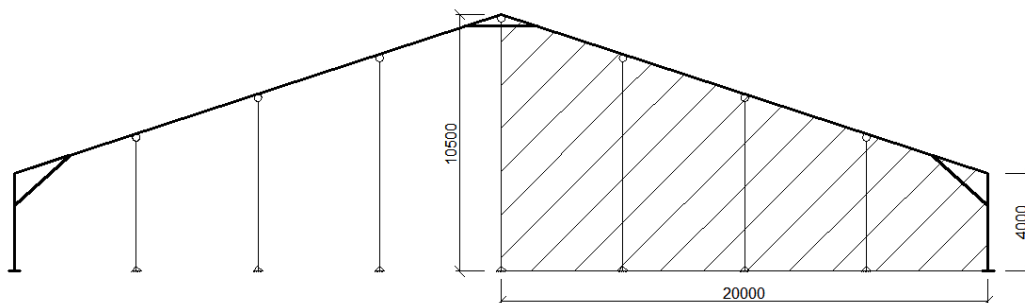


Figura 6.1: Área de influência para o contraventamento vertical

Segundo o item 4.11 da NBR 8800:2008, o contraventamento de pilares deve atender aos critérios de resistência e rigidez mínimos além de resistir aos esforços de vento. Neste caso, o contraventamento é do tipo nodal uma vez que o elemento de contraventamento é conectado a um ponto da haste contraventada e a um apoio externo

rígido, que neste caso é a base do pilar. A força resistente e a rigidez de cálculo necessárias das contenções nodais, quando elas forem igualmente espaçadas, são dadas, respectivamente, por:

$$F_{br} = 0,01N_{Sd} \quad (6.1)$$

$$k_{nec} = \frac{2\left(4-\frac{2}{n}\right)\gamma_r N_{Sd}}{L_{bc}} \quad (6.2)$$

onde

γ_r – coeficiente de ponderação de rigidez, igual 1,35;

N_{Sd} – força axial de compressão solicitante de cálculo no pilar;

L_{br} – distância entre contenções;

n – número de contenções.

A combinação ELU 2 fornece os esforços de compressão máximos nas colunas e vale -49,5 kN.

Conforme a figura 2.2, cada conjunto de contraventamento é responsável por contraventar 5 pilares, portanto:

$$N_{Sd} = 5 \times (-49,2) = - 246,0 \text{ kN}$$

A figura 6.2 ilustra o comportamento do sistema de contraventamento vertical.

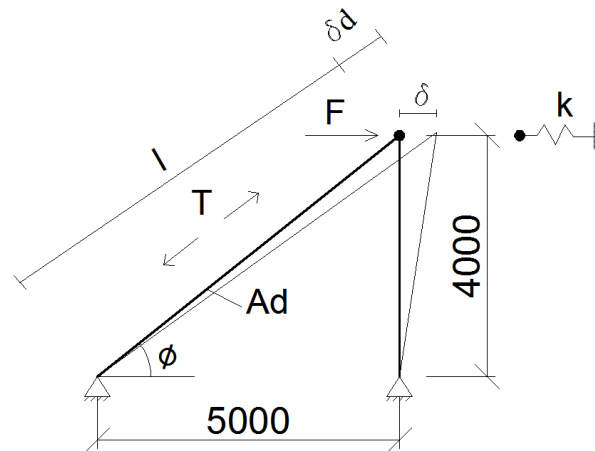


Figura 6.2: Comportamento do sistema de contraventamento vertical

- Cálculo da rigidez necessária para estabilizar as colunas:

O número de contenções “n” é igual a 1 e a distância entre contenções é o próprio comprimento do pilar. Logo, pela equação 6.2:

$$k_{nec} = \frac{2\left(4-\frac{2}{1}\right)1,35 \times 246,0}{4,0} = 332,1 \text{ kN/m}$$

- Cálculo da área A_d do elemento de contraventamento para atender ao critério de rigidez:

Para determinar a rigidez horizontal k oferecida pela diagonal de área A_d , aplica-se um deslocamento unitário δ e calcula-se a força resultante F , conforme a figura 6.2. O alongamento obtido na diagonal é dado por δ_d e seu esforço de tração T é dado pela equação 6.3.

$$T = \frac{EA_d}{l} \delta_d \quad (6.3)$$

O comprimento do cabo l vale:

$$l = \sqrt{4^2 + 5^2} = 6,4 \text{ m}$$

O ângulo ϕ é dado por:

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{4,0}{5,0}\right) = 38,7^\circ$$

Pela Lei de Hooke:

$$\kappa = \frac{F}{\delta} \quad (6.4)$$

Por trigonometria, temos:

$$F = T \cos \phi \quad (6.5)$$

$$\delta = \delta_d / \cos \phi \quad (6.6)$$

Substituindo as equações 6.5 e 6.6 na equação 6.4, temos:

$$k = \frac{T \cos \phi}{\delta_d / \cos \phi} = \frac{EA_d}{l} \cos^2 \phi \quad (6.7)$$

Igualando-se k à rigidez necessária, temos:

$$A_d \geq \frac{k_{nec} \cdot l}{E \cos^2 \phi} = \frac{3,32 \times 640}{20000 \cdot \cos^2(38,7)} = 0,17 \text{ cm}^2 \quad (6.8)$$

Diâmetro mínimo do cabo:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,17}{\pi}} = 0,47 \text{ cm} = 4,7 \text{ mm}$$

- Cálculo da força no cabo devido à força F_{br} :

Pela equação 6.1:

$$F_{br} = 0,01 \times 246,0 = 2,46 \text{ kN}$$

Força no cabo:

$$F_{d1} = \frac{F_{br}}{\cos(\theta)} = \frac{2,46}{\cos(38,7)} = 3,2 \text{ kN}$$

➤ Cálculo da força no cabo devido à força de vento:

$$F_{d2} = \frac{V_{sd}}{\cos(\theta)} = \frac{85,1}{\cos(38,7)} = 109,0 \text{ kN}$$

➤ Força solicitante total no cabo:

$$F_{sd} = F_{d1} + F_{d2} = 3,2 + 109,0 = 112,2 \text{ kN}$$

A determinação dos cabos será feita diretamente pela tabela do fabricante Siva Cabos de Aço Ltda baseada na NBR ISO 2408:2008 disponível no Apêndice A. a partir do esforço solicitante e da área mínima do cabo. O fator de segurança indicado para cabos de aço estáticos varia de 3 a 4.

$$F_{Rd} \geq 4 \times 112,2 = 448,8 \text{ kN}$$

Cabo adotado: Cabo de aço polido ϕ 28,6 mm (1 1/8") 6x25 AF, com capacidade de carga de 487,19 kN.

Verifica-se que o diâmetro também atende ao critério de rigidez.

6.2 Dimensionamento do contraventamento do plano da cobertura

O dimensionamento do contraventamento do plano da cobertura é feito de forma semelhante ao contraventamento do plano longitudinal. Neste caso, os pilares são substituídos pelas vigas de cobertura e ao invés de termos um sistema de contenção nodal, tem-se um sistema de contenção relativo, no qual o elemento de contraventamento é conectado a um outro ponto contraventado adjacente para oferecer restrição ao movimento lateral. O esquema de contraventamento está ilustrado na figura 2.2.

Segundo o item 4.11 da NBR 8800:2008 a força resistente e a rigidez de cálculo necessárias das contenções de translação relativas são dadas, respectivamente, por:

$$F_{br} = 0,008 \frac{M_{sd} C_d}{h_0} \quad (6.9)$$

$$k_{nec} = \frac{4\gamma_r M_{sd} C_d}{L_{bb} h_0} \quad (6.10)$$

onde

M_{sd} – momento fletor solicitante de cálculo

h_0 – distância entre os centros de gravidade das mesas

C_d – coeficiente igual a 1,0

L_{bb} – distância entre contenções (comprimento destravado)

A combinação que fornece o valor máximo de momento fletor na viga é a ELU 5 e vale 244,8 kN.m. Considerando que cada conjunto de contraventamento é responsável pelo contraventamento de 5 pórticos, temos que:

$$M_{sd} = 5 \times 244,8 = 1224,0 \text{ kN.m}$$

$$h_0 = b_w - t = 0,40 - 0,008 = 0,36 \text{ m}$$

$$L_{bb} = 5,3 \text{ m (conforme figura 5.3)}$$

Pela equação 6.9, temos:

$$F_{br} = 0,008 \frac{1224,0 \times 1}{0,36} = 27,2 \text{ kN}$$

Pela equação 6.10, temos:

$$k_{nec} = \frac{4 \times 1,35 \times 1224,0 \times 1}{5,3 \times 0,34} = 3667,9 \text{ kN/m}$$

As colunas de fechamento da parede frontal recebem a carga de vento e a transferem para as fundações das mesmas e para a treliça de contraventamento do plano do telhado. A área de influência para o dimensionamento do contraventamento está ilustrada na figura 6.3.

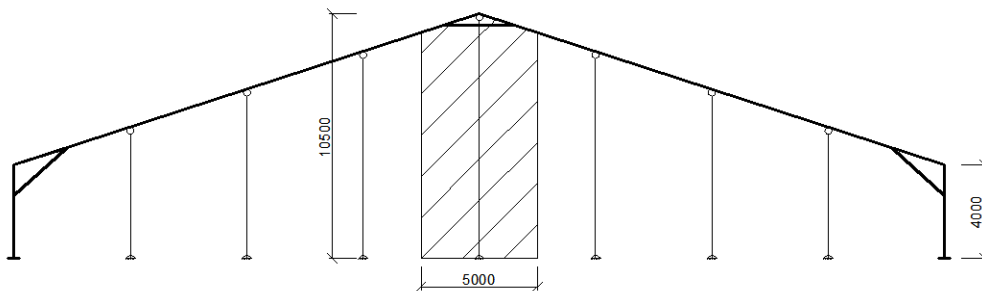


Figura 6.3: Área de influência para o contraventamento do plano do telhado

Admitindo-se que metade do esforço é resistido pelas fundações dessas colunas, o esforço de vento a ser resistido pelo contraventamento do plano do telhado é dado por:

$$V_{sd} = 1,4 \times 0,839 \times (10,5 \times 5,0) / 2 = 30,8 \text{ kN}$$

- Cálculo da área A_d do elemento de contraventamento para atender ao critério de rigidez:

O comprimento do cabo é dado por:

$$l = \sqrt{5^2 + 5,3^2} = 7,3 \text{ m}$$

O ângulo ϕ é dado por:

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{5}{5,3}\right) = 43,3^\circ$$

A figura 6.4 é análoga à figura 6.2 e ilustra o comportamento do contraventamento no plano da cobertura.

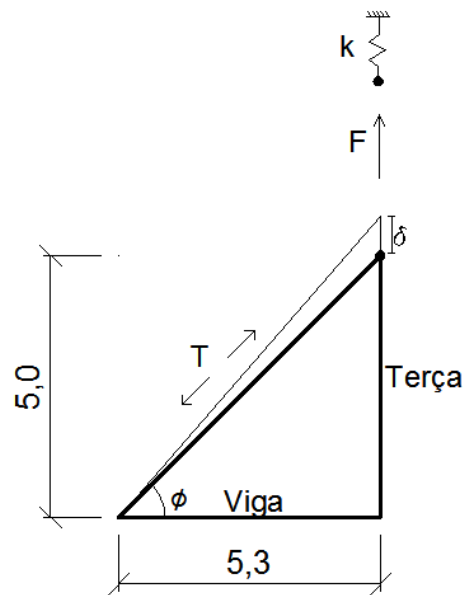


Figura 6.4: Comportamento do sistema de contraventamento no plano da cobertura

Pela equação 6.8 e substituindo o cosseno por seno, temos:

$$A_d \geq \frac{k_{nec} \cdot l}{E \cdot \text{sen}^2 \phi} = \frac{36,7 \times 730}{20000 \cdot \text{sen}^2(43,3)} = 2,8 \text{ cm}^2$$

Diâmetro mínimo do cabo:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 2,8}{\pi}} = 1,89 \text{ cm} = 18,9 \text{ mm}$$

- Cálculo da força no cabo devido à força F_{br} :

$$F_{d1} = \frac{F_{br}}{\text{sen}(\theta)} = \frac{27,2}{\text{sen}(43,3)} = 39,7 \text{ kN}$$

- Cálculo da força no cabo devido à força de vento:

$$F_{d2} = \frac{V_{sd}}{\text{sen}(\theta)} = \frac{30,8}{\text{sen}(43,3)} = 44,9 \text{ kN}$$

- Força solicitante total no cabo:

$$F_{sd} = F_{d1} + F_{d2} = 39,7 + 44,9 = 84,6 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} \geq 4 \times 34,6 = 138,4 \text{ kN}$$

Cabo adotado: Cabo de aço polido ϕ 19,1 mm (3/4") 6x25 AF, com capacidade de carga de 217,3 kN.

Neste caso, o critério de rigidez foi determinante para o dimensionamento do cabo.

6.3 Dimensionamento das terças

As terças fazem parte do sistema de contraventamento no plano da cobertura e por esta razão estarão sujeitas ao esforço de tração F_{br} calculado no item anterior, devendo também atender ao critério de rigidez calculado. Além disso, o perfil deve ser verificado à compressão uma vez que as terças transferem as cargas de vento absorvidas pelas colunas de fechamento frontal. Este elemento não estará sujeito a momentos fletores uma vez que as lonas de cobertura estão fixadas diretamente nas vigas dos pórticos.

A área mínima necessária do perfil para atender ao critério de rigidez é dada pela equação 6.11:

$$A = \frac{k_{nec}L}{E} = \frac{36,7 \times 500}{20000} = 0,9 \text{ cm}^2 \quad (6.11)$$

A área mínima para resistir à força F_{br} é dada por:

$$A = \frac{F_{br} \times 1,1}{f_y} = \frac{27,2 \times 1,1}{35} = 0,9 \text{ cm}^2$$

Perfil adotado: Perfil de seção tubular retangular com dimensões 50x50x10x3.

A Figura 6.5 apresenta os dados calculados pelo programa para a utilização no dimensionamento assim como a representação gráfica da seção do perfil.

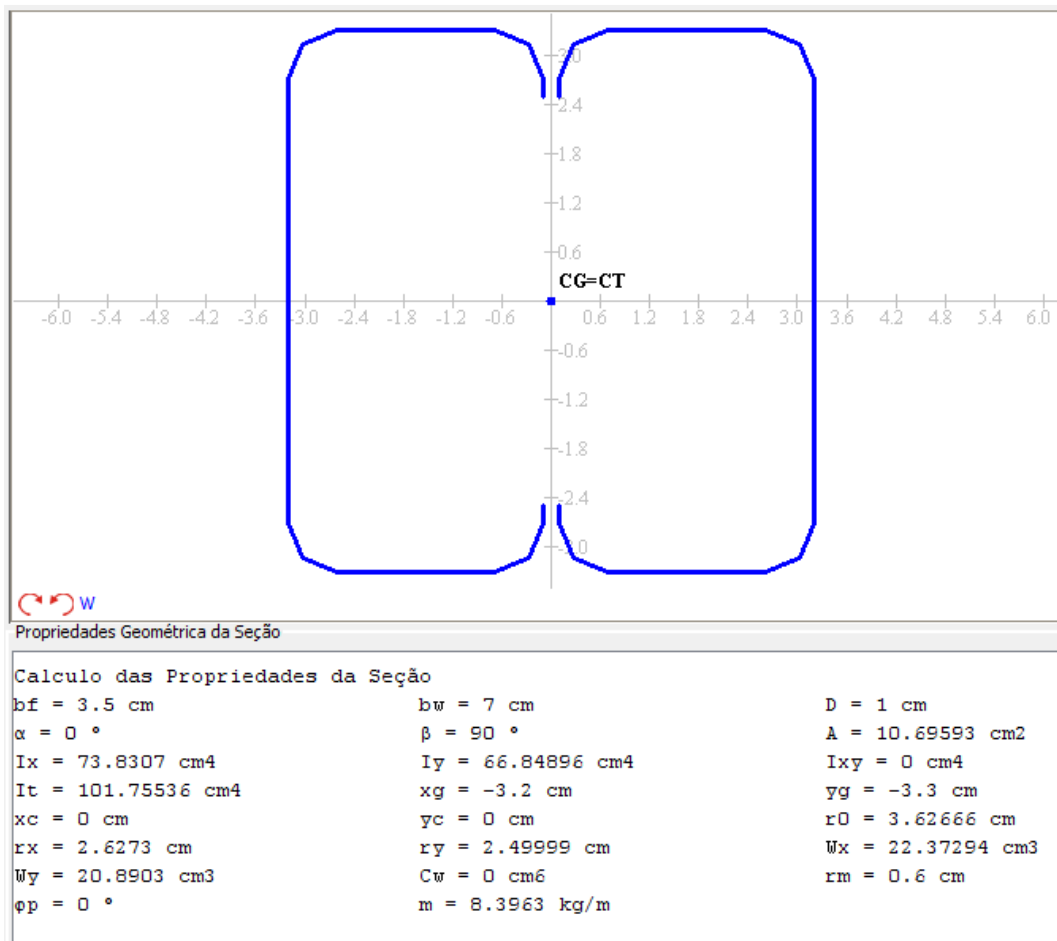


Figura 6.5: Propriedades geométricas do perfil 70x70x10x4 mm

O perfil tem 10,7 cm² de área, o que atende aos requisitos de força e rigidez.

➤ Verificação à compressão:

Verificação da relação largura-espessura conforme o item 9.1.2 da NBR 14762:2010:

$$(b/t)_{\max} = 60$$

Para a mesa, temos: $(b_f/t) = (0,07/0,004) = 17,5 < 60$ OK

Para a alma, temos: $(b_w/t) = (0,05/0,004) = 17,5 < 60$ OK

Cálculo de I_t pela equação 5.1:

$$A_m = (70 - 4) \times (70 - 4) = 4356,0 \text{ mm}^2$$

$$L_m = 4 \times (70 - 4) = 264,0 \text{ mm}$$

$$I_t = \frac{4 \times 4 \times 4356,0^2}{264,0} = 1149984,0 \text{ mm}^4 = 1,15 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

Considerando $K_x = 1$ e $L_x = 5,0$ m (comprimento da terça), temos pela equação 5.5:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \times 2000000000 \times 7,383 \times 10^{-7}}{(5)^2} = 58,3 \text{ kN}$$

- Força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo principal y:

Considerando $K_y = 1$ e $L_y = 5,0$ m (comprimento da terça), temos pela equação 5.6:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \times 2000000000 \times 6,685 \times 10^{-7}}{(5)^2} = 52,8 \text{ kN}$$

- Força axial de flambagem global elástica por torção:

Considerando $K_z = 1$ e $L_z = 5,0$ m (comprimento da terça), temos pela equação 5.7:

$$N_{ez} = \frac{1}{0,036^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 2 \times 10^8 \times 0}{(5)^2} + 7,692 \times 10^7 \times 1,15 \times 10^{-6} \right] = 59500,0 \text{ kN}$$

Logo, $N_e = N_{ey} = 52,8$ kN.

Cálculo de λ_0 pela equação 5.8:

$$\lambda_0 = \left(\frac{1,07 \times 10^{-3} \cdot 350000}{52,8} \right)^{0,5} = 2,66$$

Cálculo do fator de redução da força axial de compressão resistente associado à flambagem global (χ) pela equação 5.9:

$$\chi = \frac{0,877}{2,66^2} = 0,124$$

Pela Tabela 5.1, temos:

$$\eta = \frac{bf}{bw} = \frac{0,07}{0,07} = 1,0$$

$$k_1 = 4,0$$

De acordo com a equação 5.10:

$$N_l = 4,0 \frac{\pi^2 \times 2000000000}{12(1-0,3^2) \left(\frac{0,07}{0,004} \right)^2} 1,07 \times 10^{-3} = 2525,0 \text{ kN}$$

Cálculo de λ_p pela equação 5.11:

$$\lambda_p = \left(\frac{0,124 \times 1,07 \times 10^{-3} \times 350000}{2525,0} \right)^{0,5} = 0,135$$

$$A_{ef} = A, \text{ para } \lambda_p \leq 0,776$$

Pela equação 5.4, temos:

$$N_{c,Rd} = \frac{0,124 \times 1,07 \times 10^{-3} \times 350000}{1,2} = \mathbf{38,6 \text{ kN}}$$

Verificação da esbeltez de acordo com o item 9.7.4 da NBR 14762:2010:

$$\frac{K_x \times L_x}{r_x} = \frac{1,0 \times 5,0}{0,026} = 190,3 \leq 200 \quad \text{OK}$$

$$\frac{K_y \times L_y}{r_y} = \frac{1,0 \times 5,0}{0,025} = 200,0 \leq 200 \quad \text{OK}$$

Verificação:

A força de compressão a ser resistida pela terça proveniente dos esforços de vento foi a calculada no item anterior:

$$V_{Sd} = 30,8 \text{ kN} < N_{c,Rd}$$

O perfil está verificado.

7 Dimensionamento das colunas de fechamento frontal

As colunas fixadas nos pórticos de extremidade têm a função de apoiar as lonas de fechamento e transferir as cargas de vento na direção longitudinal para os sistemas de contraventamento. As ligações são consideradas rotuladas tanto na base quanto na ligação da coluna com a viga, conforme a figura 7.1. Para este perfil será feito apenas o dimensionamento a flexão.

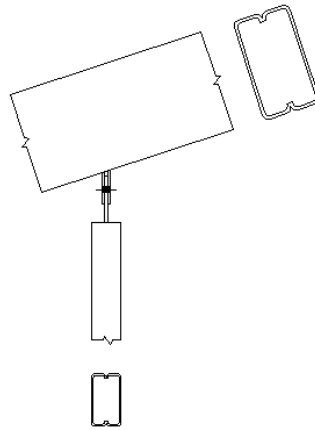


Figura 7.1: Esquema da ligação da coluna de fechamento frontal com a viga

Perfil adotado: Perfil de seção tubular retangular com dimensões 250x150x30x6.

A Figura 7.2 apresenta os dados calculados pelo programa para a utilização no dimensionamento assim como a representação gráfica da seção do perfil.

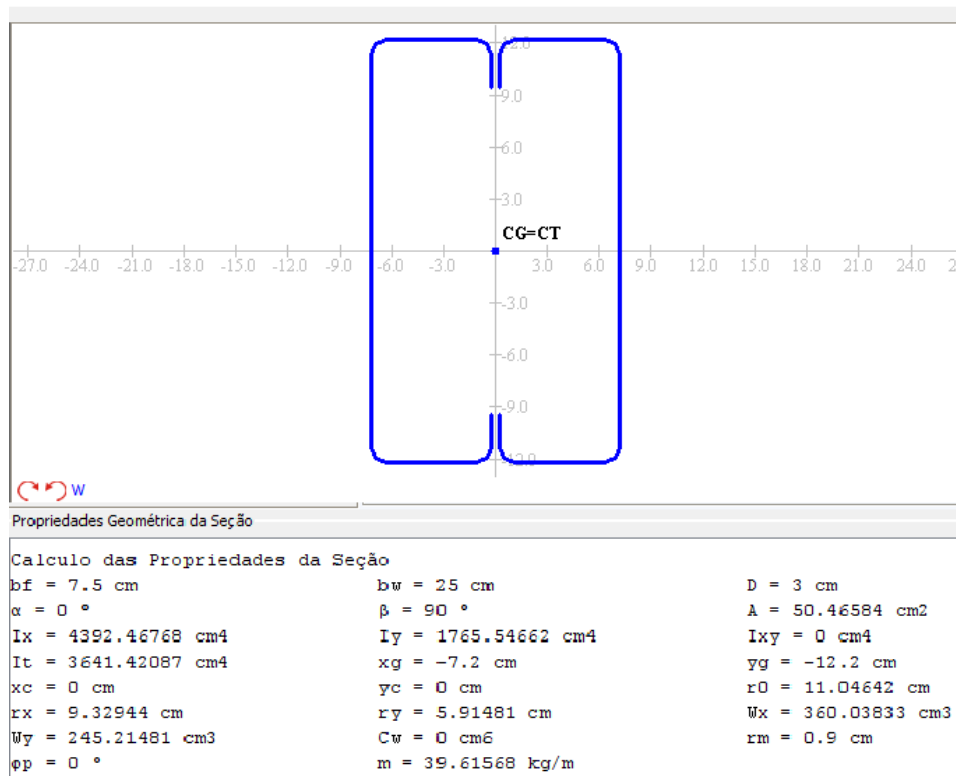


Figura 7.2: Propriedades geométricas do perfil 250x150x30x6 mm

Verificação da relação largura-espessura conforme o item 9.1.2 da NBR 14762:2010:

$$(b/t)_{\max} = 500 \text{ (de acordo com a equação 5.1)}$$

$$\text{Para a mesa, temos: } (b_f/t) = (0,15/0,006) = 25,0 < 500 \quad \text{OK}$$

$$\text{Para a alma, temos: } (b_w/t) = (0,25/0,006) = 41,7 < 500 \quad \text{OK}$$

Cálculo de I_t pela equação 5.1:

$$A_m = (250 - 6) \times (150 - 6) = 35136,0 \text{ mm}^2$$

$$L_m = 2 \times (250 - 6) + 2 \times (150 - 6) = 776,0 \text{ mm}$$

$$I_t = \frac{4 \times 6 \times 35136,0^2}{776,0} = 3,818 \times 10^7 \text{ mm}^4 = 3,818 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

- Dimensionamento a flexão simples:

Considerando $K_y = K_z = 1$ e $L_y = L_z = 10,5$ m (comprimento total da maior coluna), temos pela equação 5.5:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \times 200000000 \times 1,766 \times 10^{-5}}{(10,5)^2} = 316,1 \text{ kN}$$

E pela equação 5.6:

$$N_{ez} = \frac{1}{0,111^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 2 \times 10^8 \times 0}{(10,5)^2} + 7,692 \times 10^7 \times 3,818 \times 10^{-5} \right] = 240500,0 \text{ kN}$$

- Início de escoamento da seção efetiva:

Pela Tabela 5.2, temos:

$$\eta = \frac{bf}{bw} = \frac{0,15}{0,25} = 0,6$$

$$k_1 = 14,2$$

Pela equação 5.12, temos:

$$M_l = 14,2 \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^8}{12(1-0,3^2)(0,25/0,006)^2} \times 3,6 \times 10^{-4} = 1107,0 \text{ kN.m}$$

Cálculo de λ_p pela equação 5.13:

$$\lambda_p = \left(\frac{3,6 \times 10^{-4} \times 350000}{1107,0} \right)^{0,5} = 0,337$$

$$W_{ef} = W, \text{ para } \lambda_p \leq 0,673$$

Pela equação 5.11, temos:

$$M_{Rd1} = \frac{3,6 \times 10^{-4} \times 350000}{1,1} = 114,6 \text{ kN.m}$$

- Flambagem lateral por torção:

Pela equação 5.16:

$$M_e = 1,0 \times 0,111(316,1 \times 240500)^{0,5} = 963,5 \text{ kN.m}$$

Pela equação 5.15, temos:

$$\lambda_0 = \left(\frac{3,6 \times 10^{-4} \times 350000}{963,0} \right)^{0,5} = 0,337$$

$$\chi_{FLT} = 1,0, \text{ para } \lambda_0 \leq 0,6$$

Cálculo de λ_p pela equação 5.17:

$$\lambda_p = \left(\frac{1,0 \times 3,6 \times 10^{-4} \times 350000}{1107,0} \right)^{0,5} = 0,337$$

$$W_{c,ef} = W_c, \text{ para } \lambda_p \leq 0,673$$

Finalmente, pela equação 5.14, temos:

$$M_{Rd2} = \frac{1,0 \times 3,6 \times 10^{-4} \times 350000}{1,1} = 114,6 \text{ kN.m}$$

Não há necessidade da análise de flambagem distorcional por se tratar de um perfil de seção fechada.

$$M_{Rd} = M_{Rd1} = M_{Rd2} = \mathbf{114,6 \text{ kN.m}}$$

- Verificação:

A figura 6.3 mostra a área de contribuição do esforço de vento para o cálculo do momento fletor solicitante de cálculo:

$$M_{Sd} = 1,4 \cdot \frac{ql^2}{8} = 1,4 \times \frac{0,869 \times 5 \times 10,5^2}{8} = 83,8 \text{ kN.m}$$

$$M_{sd} < M_{Rd}$$

O perfil está verificado.

8 Dimensionamento das ligações principais

O dimensionamento das ligações está de acordo com as recomendações da NBR 8800:2008.

8.1 Ligações entre vigas e pilares

O esquema das ligações entre duas vigas e entre pilares e vigas está ilustradas nas figuras 4.1, 4.2 e 4.3. Estas ligações foram consideradas no modelo estrutural como ligações rígidas, portanto estão sujeitas à ação de momentos fletores. A determinação da posição das ligações foi feita a partir do diagrama de momentos fletores da combinação ELU 5, que é a mais crítica, buscando-se os pontos de menores momentos e ao mesmo tempo respeitando-se um limite aceitável para o comprimento das peças no que se refere ao transporte e montagem dos elementos. A figura 8.1 apresenta o posicionamento das ligações entre os elementos principais do pórtico plano.

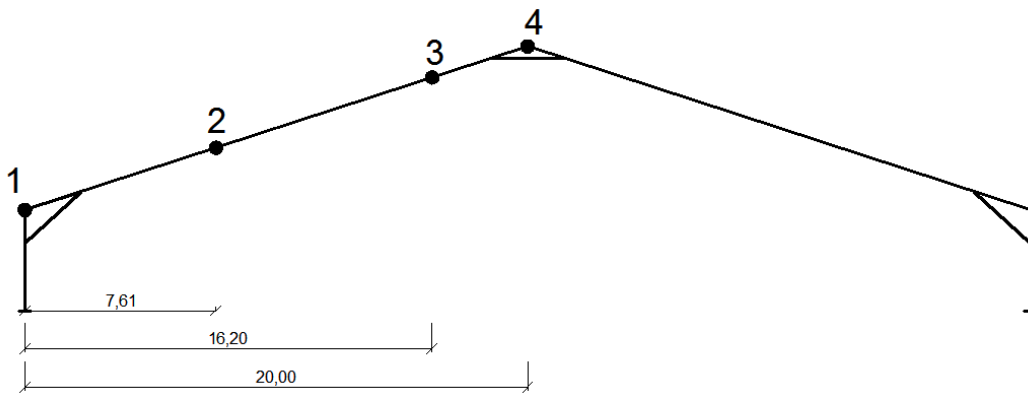


Figura 8.1: Posição das ligações principais

A tabela 8.1 apresenta os esforços solicitantes para o dimensionamento das ligações.

Tabela 8.1: Esforços solicitantes nas ligações

Ligação	Descrição	Coord. X Global (m)	Coord. X Local (m)	Combinação	N (kN)	V (kN)	M (kN.m)
1	viga-pilar	0,00	0,00	ELU 5	-160,7	110,6	72,4
2	viga-viga	7,61	8,00	ELU 5	166,4	33,2	-31,9
3	viga-viga	16,20	17,03	ELU 5	169,5	28,5	-52,5
4	cumeeira	20,00	21,03	ELU 5	87,9	0,3	70,6

A figura 8.2 ilustra uma ligação típica com suas respectivas cotas para o dimensionamento.

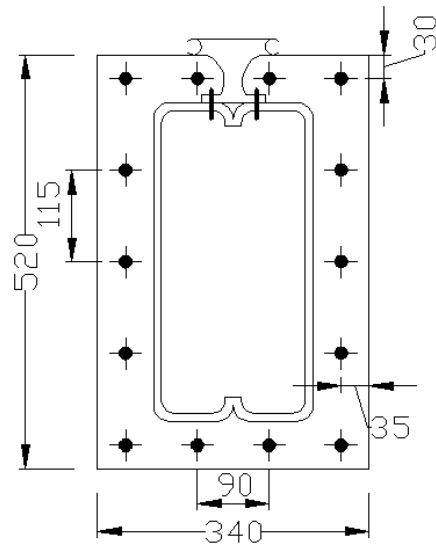


Figura 8.2: Ligação principal típica

➤ Dimensionamento dos parafusos:

Serão utilizados parafusos de alta resistência trabalhando por apoio. Por ser uma estrutura temporária, os curtos prazos para a montagem inviabilizam a utilização de parafusos de alta resistência com protensão inicial além da mão de obra não ser qualificada para este tipo de serviço.

Parafuso utilizado: ASTM A325

$f_u = 825 \text{ MPa}$

Diâmetro: $\frac{1}{2}$ " (12,7 mm)

Área bruta: $1,27 \text{ cm}^2$

Espaçamento vertical entre parafusos: $a = 115 \text{ mm}$

Os parafusos estão sujeitos à corte e à tração devidos ao esforço cortante, esforço normal e momento fletor atuantes na ligação.

A força que produz corte nos conectores será distribuída igualmente entre os seis parafusos junto as almas uma vez que o esforço cortante é transmitido em sua maior parte pelas almas. Já a força de tração gerada pelo esforço normal será dividida igualmente entre os 14 parafusos da ligação.

A força de tração devida ao momento fletor será transmitida pelos parafusos situados a cima da linha neutra (no caso de tração na parte superior da viga) e a força de

compressão será transmitida pelo contato entre as chapas de ligação na região abaixo da linha neutra.

Supondo-se que o diagrama de tensões seja linear, e a soma das áreas dos parafusos tracionados espaçados de a pode ser transformada em um retângulo de altura $(h-y_c)$ e largura igual a :

$$t = \frac{2A_i}{a} = \frac{2 \times 1,27}{11,5} = 0,22 \text{ cm}$$

onde

h – altura da chapa

y_c – posição da linha neutra

A_i – área de um parafuso

A posição da linha neutra é determinada a partir da igualdade dos momentos estáticos:

$$\frac{by_c^2}{2} = \frac{t(h-y_c)^2}{2} \quad \frac{34y_c^2}{2} = \frac{0,22(52-y_c)^2}{2}$$

Resolvendo a equação:

$$y_c = 3,89 \text{ cm}$$

Verifica-se que a linha neutra está situada abaixo da linha da mesa comprimida do perfil. Isso nos permite concluir que a hipótese de cálculo utilizada é conservadora uma vez que o braço de alavanca considerado no cálculo dos esforços de tração nos parafusos superiores é na verdade maior do que o esperado.

O momento de inércia da seção composta é dado pela equação 8.1:

$$I = \frac{by_c^3}{3} + \frac{t}{3}(h - y_c)^3 \quad (8.1)$$

$$I = \frac{34 \times 3,89^3}{3} + \frac{0,22}{3}(52 - 3,89)^3 = 16790,0 \text{ cm}^4$$

Serão verificados os parafusos situados nas posições mais críticas: a linha de parafusos da extremidade superior sujeitas à tração com o maior braço de alavanca a partir da linha neutra e a linha de parafusos imediatamente abaixo que está sujeita a esforços de tração e corte simultaneamente.

No caso da linha superior composta por quatro parafusos, a força de tração no parafuso devido ao momento fletor é dada pela equação 8.2:

$$T_i = \frac{MA_i}{2I} y_t \quad (8.2)$$

y_t – distância entre a linha neutra e o centro do parafuso em estudo

Analogamente, no caso da linha imediatamente inferior composta por dois parafusos, a força de tração devido ao momento fletor é dada por:

$$T_i = \frac{MA_i}{I} y_t \quad (8.3)$$

A força resistente de projeto a corte para um parafuso é dada pela equação 8.4:

$$R_{dv} = \frac{0,4A_g f_u}{1,35} \quad (8.4)$$

$$R_{dv} = \frac{0,4 \times 1,27 \times 82,5}{1,35} = 31,0 \text{ kN}$$

Este tipo de ligação está sujeito ao efeito de alavanca, por isso, segundo o item 6.3.5.2 da NBR 8800:2008, para que este efeito seja adequadamente considerado, a força de tração resistente dos parafusos deve ser reduzida em 33%. Logo, a força resistente de projeto a tração para um parafuso é dada pela equação 8.5:

$$R_{dt} = \frac{0,77 \times 0,75 A_g f_u}{1,35} \quad (8.5)$$

$$R_{dt} = \frac{0,77 \times 0,75 \times 1,27 \times 82,5}{1,35} = 44,8 \text{ kN}$$

Para parafusos sujeitos a corte e a tração simultaneamente deve ser verificada a interação entre as duas solicitações por meio da equação 8.6:

$$\left(\frac{V_d}{R_{dv}}\right)^2 + \left(\frac{T_d}{R_{dt}}\right)^2 \leq 1 \quad (8.6)$$

A tabela 8.2 apresenta a verificação dos esforços nos parafusos situados na linha da extremidade superior sujeitos à tração para cada ligação sendo os valores obtidos pelas equações 8.1, 8.2, 8.4 e 8.5.

Tabela 8.2: Verificação dos esforços nos parafusos sujeitos a tração

Ligação	Rdt (kN)	Td1 (kN)	Td2 (kN)	Td (kN)	
1	44,8	10,7	0,0	10,7	OK
2	44,8	4,7	11,9	16,6	OK
3	44,8	7,7	12,1	19,8	OK
4	44,8	10,4	6,3	16,7	OK

Td1 - Tração devido ao momento fletor

Td2 - Tração devido ao esforço normal

Td – Tração total

A tabela 8.3 apresenta a verificação dos esforços nos parafusos sujeitos à corte e à tração simultaneamente da linha imediatamente abaixo a linha da extremidade superior. Os valores foram obtidos pelas equações 8.1, 8.3, 8.4, 8.5 e 8.6.

Tabela 8.3: Verificação dos esforços nos parafusos sujeitos à corte e à tração

Ligação	Rdv (kN)	Rdt (kN)	Vd (kN)	Td1 (kN)	Td2 (kN)	Td (kN)	Interação
1	31,0	44,8	18,4	7,5	0,0	7,5	0,38
2	31,0	44,8	5,5	3,3	11,9	15,2	0,15
3	31,0	44,8	4,8	5,5	12,1	17,6	0,18
4	31,0	44,8	0,1	7,3	6,3	13,6	0,09

Td1 - Tração devido ao momento fletor

Td2 - Tração devido ao esforço normal

Td - Tração total

➤ Dimensionamento da chapa de ligação:

Para a determinação da espessura das chapas de ligação, devem ser atendidos os critérios indicados na norma para a consideração do efeito de alavanca. A figura 8.3 apresenta os detalhes para esta consideração.

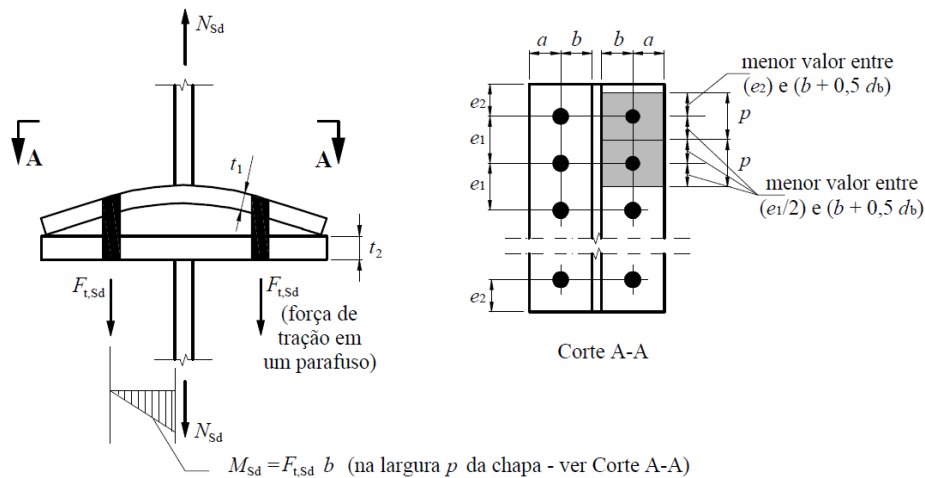


Figura 8.3: Consideração do efeito de alavanca (NBR 8800:2008)

A partir das medidas apresentadas na figura 8.2, pode-se determinar a largura de influência p para o parafuso mais tracionado, que neste caso é parafuso próximo ao perfil de alumínio:

$$p = 2(b + 0,5d_b) = 2(3,0 + 0,5 \times 1,27) = 7,2 \text{ cm}$$

O momento fletor solicitante de cálculo na largura de influência p é dado por:

$$M_{sd} = \frac{F_{t,sd}b}{p} = \frac{19,8 \times 3,0}{7,2} = 8,3 \text{ kN} \cdot \text{cm/cm}$$

O momento fletor resistente de cálculo é dado por:

$$M_{Rd} = \frac{Z f_y}{\gamma_{a1}} \quad (8.7)$$

Considerando uma chapa de espessura igual a 12 mm, tem-se:

$$M_{Rd} = \frac{1,2^2}{4} \times \frac{35}{1,1} = 11,5 \text{ kN.cm/cm}$$

$$M_{Sd} < M_{Rd}$$

Deve-se fazer também a verificação ao rasgamento e pressão de apoio da chapa. A resistência referente à pressão de apoio é dada por:

$$R_{dv} = \frac{2,4dtf_u}{\gamma_{a2}} \quad (8.8)$$

$$R_{dv} = \frac{2,4 \times 1,27 \times 1,2 \times 48,5}{1,35} = 131,4 \text{ kN} > V_d = 18,4 \text{ kN}$$

A resistência referente ao rasgamento da chapa é dada por:

$$R_{dv} = \frac{1,2atf_u}{\gamma_{a2}} \quad (8.9)$$

onde

a – distância entre a borda de dois furos consecutivos ou distância entre a borda de um furo e a extremidade da chapa, a que for menor.

$$a = 3 - \frac{1,27}{2} = 2,4 \text{ cm}$$

$$R_{dv} = \frac{1,2 \times 2,4 \times 1,2 \times 48,5}{1,35} = 124,2 \text{ kN} > V_d = 18,4 \text{ kN}$$

Os itens 6.3.9 e 6.3.10 da NBR 8800:2008 determinam, respectivamente, os espaçamentos mínimos e máximos entre furos. Adicionalmente, atendendo ao item 6.3.11, deve-se atender aos critérios de distância mínima de um furo à borda da chapa.

Pela figura 8.2, o espaçamento entre furos é de 11,5 cm. A distância entre o centro dos furos não deve ser inferior a $3d_b$:

$$3d_b = 3 \times 1,27 = 3,8 \text{ cm} < 11,5 \text{ cm}$$

O espaçamento máximo entre furos não deve exceder 14 vezes a espessura da chapa de ligação, nem 18 cm.

$$14t = 14 \times 1,2 = 16,8 \text{ cm} > 11,5 \text{ cm}$$

O espaçamento mínimo entre o centro de um furo a qualquer borda da parte ligada não deve ser inferior ao valor indicado na Tabela 14 da NBR 8800:2008. Para um

parafuso de 1,27 mm, a distância mínima é de 22 mm. Foi adotada uma distância de 30 mm nas bordas superiores e inferiores.

➤ Dimensionamento da solda:

A figura 8.4 apresenta o detalhe da solda entre o perfil e a chapa de ligação.

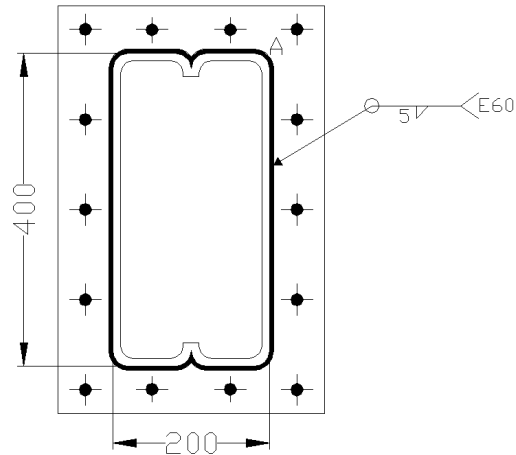


Figura 8.4: Detalhe da solda entre o perfil e a chapa de ligação

Para facilitar os cálculos, a área de solda será tratada como um retângulo, ignorando-se as partes curvas. Será utilizada uma solda de filete por todo o contorno do perfil.

Eletrodo: E60 , $f_w = 415 \text{ Mpa}$

Perna: 0,5 cm

Garganta: $t = 0,7 \times 0,5 = 0,35 \text{ cm}$

Área de solda: $0,35 (40+40+20+20) = 42,0 \text{ cm}^2$

O momento de inércia da seção de solda é dado por:

$$I = 2(0,35 \times 20 \times 20^2) + 2 \left(\frac{0,35 \times 40^3}{12} \right) = 9,333 \times 10^3 \text{ cm}^4$$

Como o esforço cortante é transmitido em sua maior parte pelas almas, o ponto sujeito às maiores tensões na solda é no encontro entre a mesa e alma (ponto A na figura 8.4), uma vez que este ponto também está sujeito às máximas tensões normais devido ao momento fletor.

A tensão cisalhante no filete de solda produzida pelo momento fletor é dada por:

$$\tau_M = \frac{M}{I} y \quad (8.10)$$

A tensão cisalhante no filete de solda produzida pelo esforço normal de tração é dada por:

$$\tau_N = \frac{N}{A} \quad (8.11)$$

A tensão cisalhante no filete de solda produzida pelo esforço cortante é dada por:

$$\tau_V = \frac{V}{2th} \quad (8.12)$$

A tensão cisalhante resultante é dada por:

$$\tau = \sqrt{(\tau_M + \tau_N)^2 + \tau_V^2} \quad (8.13)$$

A resistência da solda é dada pela equação 8.13:

$$\tau_R = \frac{0,6f_w}{\gamma_{w2}} \quad (8.14)$$

$$\tau_R = \frac{0,6 \times 415}{1,35} = 184,4 \text{ MPa}$$

A tabela 8.4 apresenta a verificação dos esforços nos parafusos mais solicitados para cada ligação sendo os valores obtidos pelas equações 8.10 a 8.14.

Tabela 8.4: Verificação dos esforços nas soldas

Ligação	τ_M (MPa)	τ_N (MPa)	τ_V (MPa)	τ (MPa)	τ_R (MPa)	
1	155,1	0,0	39,5	160,1	184,4	OK
2	68,4	39,6	11,9	108,6	184,4	OK
3	112,5	40,4	10,2	153,2	184,4	OK
4	151,3	20,9	0,1	172,2	184,4	OK

8.2 Ligação entre o tirante e o pilar

Os tirantes estão sujeitos a esforços axiais de tração e de compressão, não estando submetidos a momentos fletores por terem ligações flexíveis com os pilares, conforme a figura 4.4.

O esforço axial de tração solicitante de cálculo máximo é observado na Combinação ELU5:

$$N_{t,sd} = 378,8 \text{ kN}$$

O esforço axial de compressão solicitante de cálculo máximo é observado na Combinação ELU2:

$$N_{c,sd} = 145,5 \text{ kN}$$

➤ Dimensionamento dos parafusos:

Diâmetro: 16,0 mm

Área bruta: 2,01 cm²

Espaçamento entre parafusos: a = 100 mm

De acordo com a figura 4.4, os parafusos estarão sujeitos à corte em dois planos distintos. A força resistente de cálculo para corte em um plano é dada pela equação 8.3:

$$R_{dv} = \frac{0,4 \times 2,01 \times 82,5}{1,35} = 49,1 \text{ kN}$$

Utilizando quatro parafusos com dois planos de corte em cada um, a força solicitante de cálculo vale:

$$V_{Sd} = \frac{N_{t,Sd}}{8} = \frac{378,8}{8} = 47,4 \text{ kN} < R_{dv}$$

O esforço axial de compressão solicitante está automaticamente verificado, pois é menor que o esforço de tração.

➤ Verificação da chapa do perfil:

$$V_{Sd} = 47,4 \text{ kN}$$

Espaçamento entre bordas dos furos:

$$a = 5,0 - 1,6 = 3,4 \text{ cm}$$

Espaçamento entre a borda do furo e a extremidade da chapa do perfil:

$$a = 5,0 - \frac{1,6}{2} = 4,2 \text{ cm}$$

Verificação da segurança quanto à pressão de apoio da chapa do perfil pela equação 8.8:

$$R_{dv} = \frac{2,4 \times 1,6 \times 0,6 \times 48,5}{1,35} = 82,8 \text{ kN} > V_{Sd}$$

Verificação da segurança quanto ao rasgamento da chapa do perfil pela equação 8.9:

$$R_{dv} = \frac{1,2 \times 3,4 \times 0,6 \times 48,5}{1,35} = 87,9 \text{ kN} > V_{Sd}$$

Espaçamento mínimo entre furos:

$$3d_b = 3 \times 1,6 = 4,8 \text{ cm} < 5, \text{ cm}$$

Espaçamento máximo entre furos:

$$14t = 14 \times 0,6 = 8,4 \text{ cm} > 5,0 \text{ cm}$$

Espaçamento mínimo entre o centro do furo e a borda da chapa, pela tabela 14 da NBR 8800:2008 para parafusos de 16,0 mm:

$$2,9 \text{ cm} < 3,0 \text{ cm}$$

➤ Dimensionamento da chapa de ligação:

A chapa de ligação está ilustrada na figura 8.5.

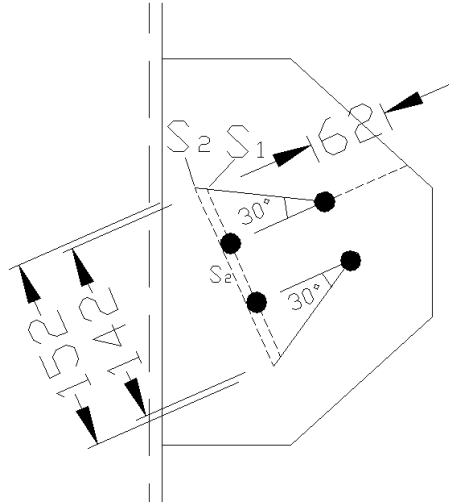


Figura 8.5: Chapa de ligação entre o tirante e a coluna

A força solicitante de cálculo é dada por:

$$V_{Sd} = \frac{N_{t,Sd}}{4} = \frac{378,8}{4} = 94,7 \text{ kN}$$

Verificação da segurança quanto à pressão de apoio da chapa de ligação pela equação 8.8:

$$R_{dv} = \frac{2,4 \times 1,6 \times 1,0 \times 48,5}{1,35} = 138,0 \text{ kN} > V_{Sd}$$

Verificação da segurança quanto ao rasgamento da chapa de ligação pela equação 8.9:

$$R_{dv} = \frac{1,2 \times 6,2 \times 1,0 \times 48,5}{1,35} = 267,3 \text{ kN} > V_{Sd}$$

As seções S₁ e S₂ (ver figura 8.5) devem ser verificadas quanto à segurança a ruptura da seção líquida e escoamento da seção bruta, respectivamente. A área da seção líquida S₁ é dada por:

$$A_n = 1,0 \times 14,2 - 1,0 \times (1,6 + 0,35) = 12,3 \text{ cm}^2$$

A área da seção bruta S₂ é dada por:

$$A_g = 1,0 \times 15,2 = 15,2 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Sd} = 378,8 \text{ kN}$$

A resistência à tração da seção líquida é dada pela equação 5.23, com $\gamma = 1,35$:

$$N_{t,Rd1} = \frac{1,0 \times 12,3 \times 48,5}{1,35} = 441,9 \text{ kN} > N_{t,Sd}$$

A resistência à tração da seção bruta é dada pela equação 5.2:

$$N_{t,Rd2} = \frac{15,2 \times 35,0}{1,1} = 483,6 \text{ kN} > N_{t,Sd}$$

➤ Dimensionamento da solda:

A figura 8.6 ilustra a solda para a ligação da chapa com a coluna.

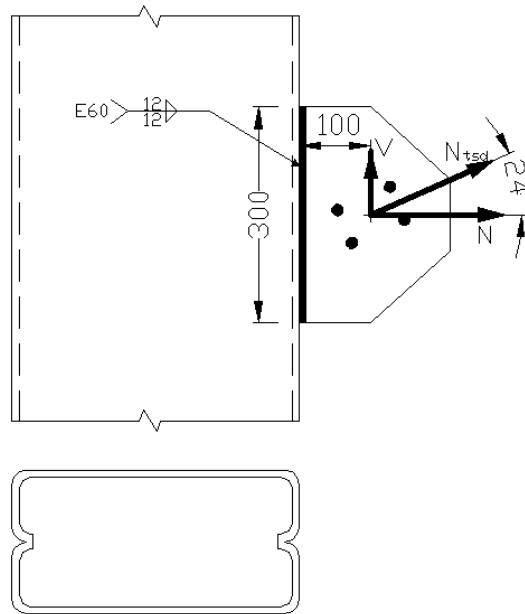


Figura 8.6: Solda entre a chapa de ligação e a coluna

A força solicitante de cálculo $N_{t,Sd}$ pode ser decomposta em suas componentes x e y no centroide da ligação parafusada.

$$N = N_{t,Sd} \cos 24^\circ = 378,8 \times \cos 24^\circ = 346,1 \text{ kN}$$

$$V = N_{t,Sd} \sen 24^\circ = 378,8 \times \sen 24^\circ = 154,1 \text{ kN}$$

$$M = V \times 0,1 = 154,1 \times 10,0 = 1541,0 \text{ kN.cm}$$

Para a ligação entre a chapa e a coluna será utilizada uma solda de filete com 12 mm de perna.

O momento de inércia da seção de solda é dado por:

$$I = \frac{2 \times 1,2 \times 0,7 \times 30^3}{12} = 3780,0 \text{ cm}^4$$

A tensão cisalhante no ponto mais superior do filete de solda gerada pelo momento M é dada pela equação 8.10:

$$\tau_M = \frac{1541,0 \times 15,0}{3780,0} = 6,12 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 61,2 \text{ MPa}$$

A tensão cisalhante devido à força N é dada pela equação 8.11:

$$\tau_N = \frac{346,1}{2 \times 12 \times 0,7 \times 30} = 6,87 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 68,7 \text{ MPa}$$

A tensão cisalhante devido à força V é dada pela equação 8.12:

$$\tau_V = \frac{154,1}{2 \times 1,2 \times 0,7 \times 30} = 3,06 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 30,6 \text{ MPa}$$

A tensão cisalhante total é dada pela equação 8.12:

$$\tau = \sqrt{(61,2 + 68,7)^2 + 30,6^2} = 133,5 \text{ MPa} < \tau_R = 184,4 \text{ MPa}$$

De maneira análoga, deve-se verificar também a solda da chapa de ligação entre o tirante e a viga principal, ilustrada na figura 8.7.

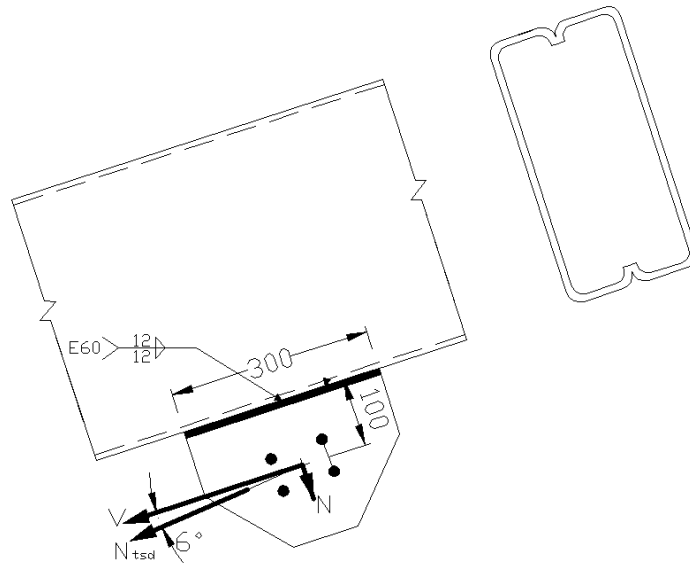


Figura 8.7: Solda entre a chapa de ligação e a viga

$$N = N_{t,sa} \operatorname{sen} 6^\circ = 378,8 \times \operatorname{sen} 6^\circ = 39,6 \text{ kN}$$

$$V = N_{t,sa} \cos 6^\circ = 378,8 \times \cos 6^\circ = 376,7 \text{ kN}$$

$$M = V \times 0,1 = 376,7 \times 10,0 = 3767,0 \text{ kN.cm}$$

$$\tau_M = \frac{3767,0 \times 15,0}{3150,0} = 14,95 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 149,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_N = \frac{39,6}{2 \times 1,2 \times 0,7 \times 30} = 0,79 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 7,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_V = \frac{376,7}{2 \times 1,2 \times 0,7 \times 30} = 7,47 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 74,7 \text{ MPa.}$$

$$\tau = \sqrt{(149,5 + 7,9)^2 + 74,7^2} = 174,2 \text{ MPa} < \tau_R = 184,4 \text{ MPa}$$

9 Estudo das fundações

O projeto de fundações da estrutura deve ter uma análise particular para cada caso. Devido sua natureza temporária, o galpão pode estar montado sobre diversos tipos de superfície. Muitas das vezes, a estrutura não está apoiada diretamente no solo e sim sobre estruturas secundárias como tablados. Isto ocorre quando o terreno possui um desnível que requeira um nivelamento ou até mesmo quando há a necessidade de se ter instalações e acessos abaixo do piso do galpão. A figura 9.1 ilustra um galpão montado diretamente sobre um piso de concreto. Já na figura 9.2, está montado sobre uma estrutura de tablado onde as placas de base apoiam-se sobre o piso de madeira e são ligadas por cabos de aço a contrapesos posicionados sob este tablado. Finalmente, a figura 9.3 apresenta um projeto especial no qual o galpão foi montado sobre uma estrutura elevada composta por andaimes e treliças com suas placas de base fixadas a 12 metros de altura através de tubos, braçadeiras e cabos de aço. Neste caso em particular foram utilizadas colunas de menor comprimento e foi feita uma análise dos esforços de vento devido a grande altura de montagem do galpão.



Figura 9.1: Galpão montado diretamente sobre piso de concreto (MVD Eventos, 2011)



Figura 9.2: Galpão montado sobre tablado (MVD Eventos, 2011)

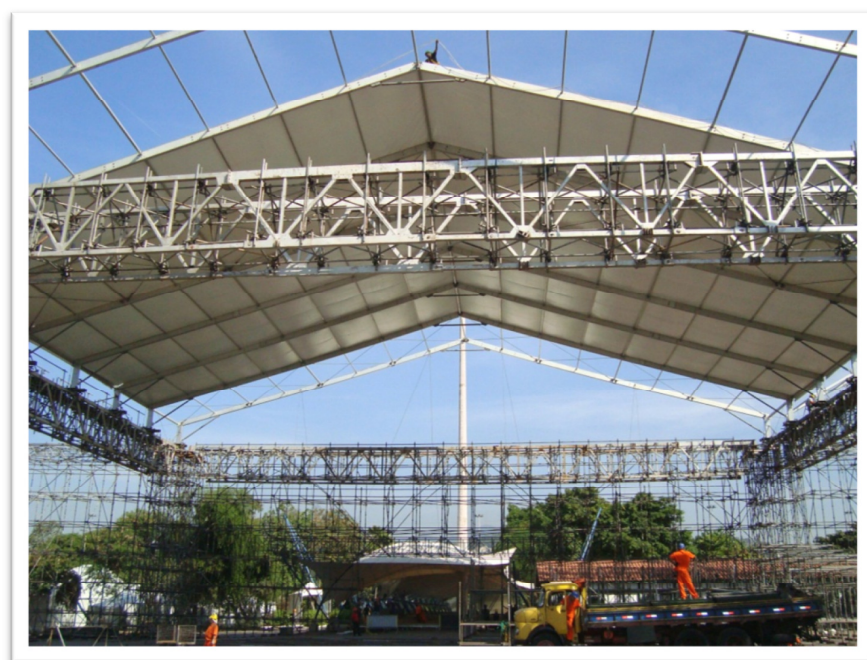


Figura 9.3: Galpão montado sobre estrutura de andaimes e treliças (MVD Eventos, 2011)

Levando em conta a particularidade de cada projeto, este trabalho apresentará apenas o dimensionamento da placa de base e sua ligação com a coluna, ficando como responsabilidade do projetista garantir a fixação das placas nos diferentes tipos de superfície, garantindo a segurança tanto para os esforços de compressão quanto para os de tração. A figura 9.4 apresenta a placa de base com sua respectiva ligação soldada com a coluna.

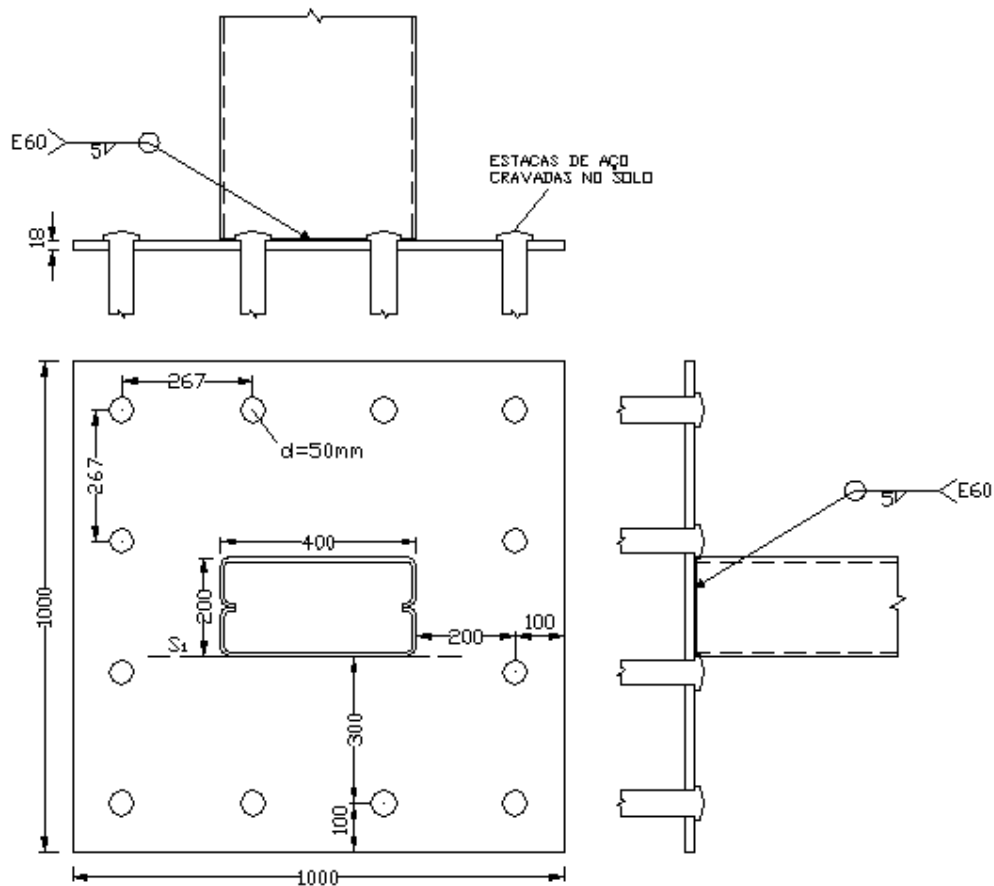


Figura 9.4: Detalhe da placa de base

9.1 Dimensionamento da placa para esforço de compressão

A combinação que produz o maior esforço de compressão na coluna é a ELU2, e a figura 9.5 apresenta as reações nos apoios.

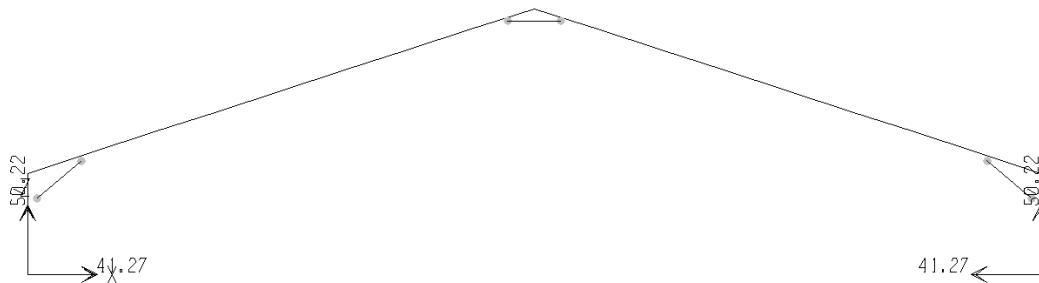


Figura 9.5: Reações de apoio para a combinação ELU2

A força de compressão na base é de 50,2 kN e esta será distribuída sobre a área da placa com 1,0 m de lado, logo, a tensão de compressão na placa é dada por:

$$\sigma_c = \frac{50,2}{1,0 \times 1,0} = 50,2 \frac{kN}{m^2} = 0,005 kN/cm^2$$

O momento para um comprimento unitário na seção S_I da figura 9.4 gerado pela tensão de compressão é dado por:

$$M_{c,Sd} = 0,005 \times 40,0 \times 1,0 = 0,2 kN \cdot cm/cm$$

O momento resistente da placa é dado pela equação 8.7:

$$M_{Rd} = \frac{1,8^2}{4} \times \frac{35}{1,1} = 25,8 kN \cdot \frac{cm}{cm} > M_{c,Sd}$$

9.2 Dimensionamento da placa para esforço de tração

A combinação que produz o maior esforço de tração na coluna é a ELU5, e a figura 9.6 apresenta as reações nos apoios.

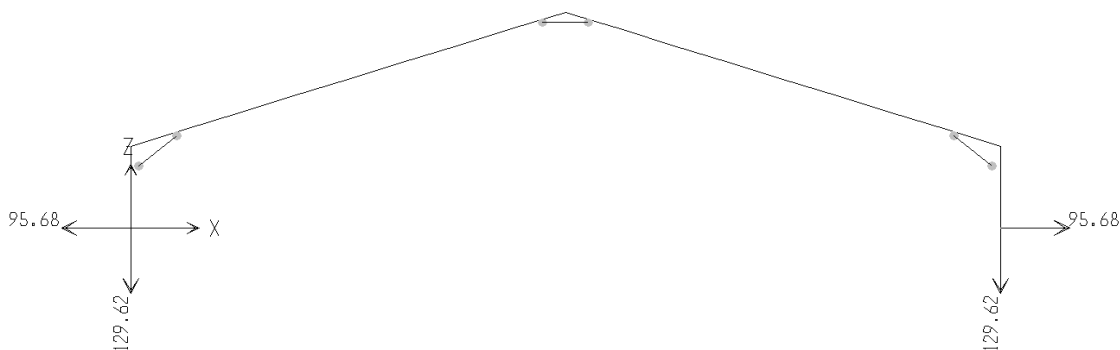


Figura 9.6: Reações de apoio para a combinação ELU5

A força de tração na base é de 129,6 kN e será distribuída igualmente pelas 12 estacas (ou qualquer outro dispositivo instalado dependendo do local de montagem, por exemplo, olhais parafusados presos com cabos de aço ligados a contrapesos):

$$N_{S,d} = \frac{129,6}{12} = 10,8 kN$$

O cálculo do momento na placa gerado por esta força será feito de maneira análoga ao calculado para a chapa de ligação entre vigas no item 8.1. De acordo com a figura 8.3 e com as medidas apresentadas na figura 9.4, a largura de influência p é dada por:

$$p = \frac{e_1}{2} = \frac{26,7}{2} = 13,4 cm$$

O momento solicitante na placa é dado por:

$$M_{Sd} = \frac{F_{t,Sd} b}{p} = \frac{10,8 \times 30}{13,4} = 24,2 kN \cdot \frac{cm}{cm} < M_{Rd}$$

9.3 Dimensionamento da solda

A ligação entre a coluna e a placa de base será feita por meio de uma solda de filete por todo o contorno do perfil, conforme a figura 9.4. A solda deve resistir às reações de apoio vertical e horizontal.

$$F_v = 129,6 \text{ kN}$$

$$F_h = 95,7 \text{ kN}$$

Eletrodo: E60 , $f_w = 415 \text{ Mpa}$

Perna: 0,5 cm

Garganta: $t = 0,7 \times 0,5 = 0,35 \text{ cm}$

Área de solda: $0,35 (40+40+20+20) = 42,0 \text{ cm}^2$

A tensão cisalhante no filete de solda produzida pela reação vertical é dada pela equação 8.11:

$$\tau_N = \frac{F_v}{A} = \frac{129,6}{42,0} = 3,09 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 30,9 \text{ MPa}$$

A tensão cisalhante no filete de solda produzida pela reação horizontal é dada pela equação 8.12:

$$\tau_V = \frac{F_h}{2th} = \frac{95,7}{2 \times 0,35 \times 40} = 3,42 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 34,2 \text{ MPa}$$

A tensão cisalhante resultante é dada pela equação 8.13:

$$\tau = \sqrt{\tau_N^2 + \tau_V^2} = \sqrt{30,9^2 + 34,2^2} = 46,1 \text{ MPa} < f_w$$

10 Transporte e montagem

Após a fabricação de todas as peças e posterior armazenagem em um depósito adequado, o galpão está pronto para ser montado por inúmeras vezes durante sua vida útil. Basicamente, os aspectos de transporte e montagem são os mesmos de um galpão permanente, porém, neste caso em particular, a logística de transporte e velocidade de montagem são fundamentais para que os curtos prazos de operação sejam atendidos.

Apesar de ser uma estrutura relativamente leve, é uma estrutura fabricada em aço e seus perfis principais pesam aproximadamente 80 kg/m, o que implica no uso de máquinas tanto para o transporte quanto para a montagem. Para o transporte horizontal das peças, deve-se ter no mínimo uma empilhadeira no depósito e outra no local de montagem, podendo também ser utilizados manipuladores telescópicos providos de garfos.

Comparando-se com o galpão feito em alumínio, a montagem do galpão em aço não implicará no aumento da capacidade de carga das máquinas nem tampouco no aumento do efetivo de mão de obra. Por exemplo, a capacidade de carga de uma empilhadeira convencional gira em torno de 2,5 toneladas, enquanto a maior peça do galpão pesa aproximadamente 0,7 toneladas. Quanto ao uso do guindaste para içamento das vigas, também não será necessário o aumento de sua capacidade de carga uma vez que a tonelagem do guindaste neste caso é determinada principalmente pela distância de içamento e não pela carga a ser levantada.

De acordo com a figura 8.1, a viga que liga o nó 2 ao nó 3 é a que possui o maior comprimento, medindo 8,60 m. Para transportar peças com este comprimento, é necessário a utilização de cavalos mecânicos com semi-reboques (carretas), que, segundo PINHO (2005), possuem carroceria com capacidade de transportar peças com até 14,8 m e uma carga total de 27 toneladas.

A seguir, está apresentada a sequência padrão de montagem da estrutura. Vale ressaltar que nem sempre estas etapas serão seguidas desta forma uma vez que em determinados casos o local e o tipo de montagem exigem soluções particulares.

- ***Nivelamento da superfície de montagem:***

A superfície onde o galpão será montado deve estar nivelada. Quando o desnível é relativamente pequeno, pode-se utilizar calços sob as placas de base. Se o desnível for acentuado, o ideal é que o galpão seja montado sobre uma estrutura de apoio nivelada (tablado) ilustrado na figura 9.2.

- ***Locação das bases:***

Com a superfície nivelada, inicia-se o processo de locação das bases. Este processo geralmente não requer o auxílio de topografia e é feito com a utilização de trenas e níveis.

- ***Colocação das bases e colunas:***

As bases com as colunas soldadas são instaladas manualmente nos pontos previamente marcados.

- ***Montagem das vigas principais:***

As vigas do pórtico principal devem ser ligadas entre si no chão. Para esta operação é imprescindível o uso de empilhadeira para manipulação e posicionamento das vigas. É também nesta etapa que o tirante da cumeeira é instalado.

- ***Içamento das vigas principais:***

Nesta etapa, é necessária a utilização de guindaste para o içamento do conjunto de vigas. A tonelagem do guindaste a ser utilizado dependerá das condições de posicionamento do mesmo. Muitas das vezes, por falta de espaço, o guindaste fica muito afastado da área de montagem aumentando o raio de operação da lança, o que pode requerer um guindaste com maior capacidade. O operador do guindaste auxiliado por montadores posicionam o conjunto de vigas sobre as duas colunas já instaladas e uma segunda equipe aparafusa as ligações entre viga e coluna. A figura 10.1 ilustra o içamento de um galpão montado sobre uma estrutura elevada de andaimes e treliças.



Figura 10.1: Içamento do conjunto de vigas (MVD Eventos, 2011)

- ***Travamento do pórtico:***

O primeiro pórtico montado não tem estabilidade até que se instalem os dispositivos de contraentamento. Por esta razão, o pórtico deve ser estabilizado com

cabos de aço presos as vigas e ancorados no solo (ou contrapesos). Nesta etapa, colocam-se os dois tirantes inclinados.

- ***Contraventamento da estrutura:***

Com o primeiro pórtico devidamente travado, pode-se repetir o processo de montagem para o segundo pórtico. Enquanto o guindaste segura o conjunto de vigas já aparafusado nas colunas, uma segunda equipe utilizando um manipulador com plataforma aérea de trabalho instala as terças ligando um pórtico ao outro e os cabos de aço de contraventamento no plano da cobertura. Também devem ser instalados os contraventamentos do plano vertical. A operação deve ser repetida para os demais pórticos, instalando-se os contraventamentos no pórticos em que forem indicados em projeto.

- ***Montagem da estrutura de fechamento:***

Devem ser instalados com o auxílio de manipulador com plataforma aérea de trabalho os elementos responsáveis pelo fechamento das partes frontal e traseira do galpão.

- ***Colocação das lonas:***

Após a estrutura estar montada, inicia-se o processo de colocação das lonas. Os gomos com 5,0 metros de largura possuem por todo seu comprimento nas partes laterais um elemento cilíndrico de borracha que se encaixa perfeitamente nos perfis de alumínio presos às vigas. Por ser uma lona contínua, para um galpão de 40,0 metros de vão livre, a lona fica pesada e requer o uso de máquinas para sua manipulação e instalação. A lona é encaixada nos perfis de alumínio na região do beiral e é puxada por cabos até que cubra todo o comprimento do pórtico. Feito isto, com o auxílio de catracas presas na própria lona, a lona é esticada para evitar o acúmulo de água em caso de chuva. O processo é repetido para cada par de pórticos. A figura 10.2 ilustra esta operação. A figura 10.3 apresenta o galpão com parte das lonas de cobertura colocadas.



Figura 10.2: Colocação da lona de cobertura (MVD Eventos, 2011)



Figura 10.3: Galpão com as lonas de cobertura parcialmente colocadas (MVD Eventos, 2011)

O processo de desmontagem é feito da mesma forma, sendo as etapas seguidas de forma inversa.

11 Conclusão

O presente trabalho apresentou todas as verificações necessárias para a segurança dos elementos estruturais principais. Conclui-se que este é um projeto estruturalmente viável. Porém, para que este trabalho acadêmico possa vir a ser um projeto executivo, outros aspectos não considerados aqui devem ser estudados. Como exemplo, os perfis de alumínio e sua ligação com os perfis em aço não foram abordados neste trabalho.

Verificou-se claramente que os esforços que foram determinantes para o dimensionamento de toda a estrutura foram os esforços devido ao vento. O peso próprio é relativamente baixo e a sobrecarga considerada também não resultou em grandes esforços solicitantes. Comparando-se as dimensões dos perfis principais, observou-se que os do fabricante RÖDER têm dimensões ligeiramente menores. Vale ressaltar que a resistência do alumínio é consideravelmente menor do que a do aço, o que nos faz concluir que os esforços solicitantes considerados neste trabalho foram bem maiores. Observando o estudo dos esforços de vento feito pelo projetista da RÖDER, duas considerações podem ser definidas como fundamentais para o resultado final da análise estrutural. Na primeira, o projetista considera que o galpão é uma estrutura temporária, reduzindo bastante o fator probabilístico correspondente ao fator S_3 da NBR 6123:1988. Ao contrário, neste trabalho foi considerado que apesar de ser temporário em um determinado local, após sua desmontagem estará montado em outro lugar, estando sujeito às mesmas probabilidades de ocorrência de uma tempestade extrema que uma estrutura permanente. Na segunda consideração, o projetista admite que o galpão estará sempre fechado por completo, resultando num coeficiente de pressão interna nulo para todos os casos de vento. Esta consideração não reflete o que ocorre nas montagens corriqueiras do galpão, e por esta razão neste trabalho foi feito um estudo mais detalhado dos possíveis casos de aberturas dominantes.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante um estudo que tornasse o galpão ainda mais versátil, como por exemplo, a padronização dos tamanhos dos segmentos de vigas, o que possibilitaria a montagem de galpões com diferentes vãos livres utilizando as mesmas peças, ou ainda comprimentos variáveis para as colunas, uma vez que galpões com finalidade de armazenagem ou hangares provisórios requerem pés direitos mais altos.

Finalmente, observa-se uma tendência mundial para a utilização do alumínio como material de fabricação de estruturas temporárias. Seu peso reduzido proporciona maior versatilidade uma vez que gera uma facilitação no manuseio das peças, montagem e desmontagem da estrutura, o que é fundamental para este tipo de edificação. No Brasil, a fabricação de elementos deste tipo em alumínio ainda é muito onerosa ou mesmo inviável por não haver maquinário adequado para a extrusão de perfis com estas dimensões, mas acredita-se que o crescimento econômico e industrial acelerado do país traga novos investimentos para o setor.

Bibliografia

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABBT). NBR 7007:2011. *Aços-carbonos e microligados para uso estrutural e geral*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABBT). NBR ISSO 2408:2008. *Cabos de aço para uso geral – Requisitos mínimos*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABBT). NBR 14762:2010. *Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABBT). NBR 6123:1988. *Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABBT). NBR 8800:2008. *Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*. Rio de Janeiro.

FTL HAPPOLD. *50 meters frame tent structural evaluation*. Nova York, Estados Unidos, 1997.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. *Estruturas de aço*, 8ª Edição. LTC – Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, 2008.

PINHO, Mauro Ottoboni. *Transporte e Montagem*. Instituto Aço Brasil, Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA). Rio de Janeiro, 2005.

PRAVIA, Zacarias M. Chamberlain; DREHMER, Gilnei Artur; JÚNIOR, Enio Mesacasa. *Galpões para usos gerais*, 4ª Edição. Instituto Aço Brasil, Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA). Rio de Janeiro, 2010.

SANSUY. *Catálogo técnico de lonas vinílicas*. Embú, São Paulo, 2009.

Referências eletrônicas

LOSBERGER. Disponível em < www.losberger.co.uk/ > Acesso em: Setembro de 2011.


MVD EVENTOS. Disponível em < www.mvdeventos.com.br/ > Acesso em: Setembro de 2011.

NAUTIKA. Disponível em < www.nautika.com.br/ > Acesso em: Julho de 2011.

T2 ESTRUTURAS. Disponível em < www.t2estruturas.com.br/ > Acesso em: Julho de 2011.

TENSOR. Disponível em < www.tensoresstruturas.com.br/ > Acesso em: Agosto de 2011.

Apêndice A – Catálogos




CABOS DE AÇO


BITOLA		TABELA DE PESO				TABELA I.P.S.				TABELA E.I.P.S.			
DIÂMETRO		PESO EM kg POR METRO LINEAR				CARGAS DE RUPTURA RESISTÊNCIA 1.770 N/mm² (IPS) em kaf				CARGAS DE RUPTURA RESISTÊNCIA 1.960 N/mm² (EIPS) em kaf			
Pol.	mm	6X7		6X19 - 6X36		6X7		6X19 - 6X36		6X7		6X19 - 6X36	
		AF / AFA	AA / AACI	AF / AFA	AA / AACI	AF / AFA	AA / AACI	AF / AFA	AA / AACI	AF / AFA	AA / AACI	AF / AFA	AA / AACI
1/16"	1.59	0.012	0.013			151	163			167	181		
5/64"	1.99	0.014	0.015			236	255			261	283		
3/32"	2.38	0.019	0.021			340	367			376	407		
1/8"	3.18	0.034	0.037			604	653			669	723		
5/32"	3.97	0.054	0.061			944	1.021			1.045	1.130		
3/16"	4.76	0.078	0.086	0.09	0.10	1.359	1.469	1.351	1.457	1.505	1.627	1.496	1.613
1/4"	6.35	0.140	0.154	0.16	0.17	2.416	2.613	2.402	2.591	2.676	2.893	2.659	2.869
5/16"	7.94	0.221	0.244	0.24	0.27	3.778	4.085	3.755	4.051	4.183	4.523	4.158	4.486
3/8"	9.53	0.310	0.341	0.35	0.39	5.442	5.885	5.409	5.836	6.026	6.517	5.990	6.462
7/16"	11.10	0.430	0.473	0.48	0.52	7.393	7.983	7.339	7.917	8.176	8.840	8.126	8.767
1/2"	12.70	0.570	0.627	0.63	0.68	9.665	10.451	9.607	10.364	10.702	11.573	10.638	11.476
9/16"	14.30	0.710	0.781	0.79	0.88	12.254	13.250	12.180	13.139	13.569	14.672	13.487	14.550
5/8"	15.90	0.880	0.968	0.98	1.07	15.149	16.381	15.058	16.244	16.775	18.139	16.674	17.988
3/4"	19.10	1.250	1.380	1.41	1.55	21.860	23.638	21.729	23.441	24.207	26.176	24.061	25.957
7/8"	22.20	1.710	1.880	1.92	2.11	29.532	31.934	29.354	31.667	32.702	35.362	32.505	35.066
1"	25.40	2.230	2.450	2.50	2.75	38.660	41.804	38.427	41.454	42.810	46.291	42.552	45.904
1.1/8"	28.60			3.17	3.48			48.719	52.557			52.949	58.199
1.1/4"	31.80			3.91	4.30			60.231	64.977			66.697	71.951
1.3/8"	34.90			4.73	5.21			72.547	78.252			80.334	86.664
1.1/2"	38.00			5.63	6.19			86.007	92.783			95.239	102.743

Obs: O valor do peso é referencial, podendo variar em função da tolerância do passo do cabo de aço.


TIPOS DE CONSTRUÇÃO




6X7+AF
1+6




6X19+AF
Seale
1+9+9



6X25+AF
Filler
1+6+6+12



6X36+AACI
Warrington Seale
1+7+(7+7)+14



6X41+AF
Warrington Seale
1+8+(8+8)+16

Construção	RESISTÊNCIA DOS FIOS COMPONENTES	
	Min.	Max.
6X7		
6X19 Seale		
6X25 Filler		
6X41 Warrington - Seale		

TIPOS DE ALMA (parte interna do Cabo de Aço)

AF (Alma de Fibra Natural - Ex: Sisal)	MAIOR FLEXIBILIDADE e MENOR RESISTÊNCIA à TRACÇÃO
AFA (Alma de Fibra Artificial - Ex: Polietileno)	MAIOR FLEXIBILIDADE e MAIOR RESISTÊNCIA à TRACÇÃO
AA (Alma Constituída por uma Ferra)	MENOR FLEXIBILIDADE e MAIOR RESISTÊNCIA à TRACÇÃO
AACI (Alma Constituída por um Cabo Independente)	MAIOR RESISTÊNCIA à TRACÇÃO

Acabamento dos Cabos: Polidos, Galvanizados, Inoxidáveis e Revestidos

CATEGORIA DE RESISTÊNCIA À TRACÇÃO DE CABOS DE AÇO E ARAMES

DENOMINAÇÃO AMERICANA	RESISTÊNCIA À TRACÇÃO (N/mm²)	
	CABOS DE AÇO	ARAMES
P.S. (Plow Steel)	1.570	1.370 a 1.770
I.P.S. (Improved Plow Steel)	1.770	1.570 a 1.960
E.I.P.S. (Extra Improved Plow Steel)	1.960	1.770 a 2.160
E.E.I.P.S. (Extra Extra Improved Plow Steel)	2.160	1.960 a 2.160

TOLERÂNCIA NO DIÂMETRO DO CABO DE AÇO

Norma	Tolerância no Diâmetro do Cabo de Aço	
	Ø Cabo de Aço	Tolerância (%)
NBR ISO 2408 (mm)	2 ≤ Ø < 4	0 a +8
	4 ≤ Ø < 6	0 a +7
	6 ≤ Ø < 8	0 a +6
	≥ 8	0 a +5
API SPEC 9A	Ø (mm)	-1 a +4
	Ø (pol)	0 a +5


TOLERÂNCIA DOS CANAIS DE POLIAS E TAMBORES

Diâmetro Nominal do Cabo de Aço (polegadas)	Folga Mínima do Diâmetro do Canal Antes da Substituição ou Uso em Polias ou dos Tambores	Folga Máxima para Canais Novos ou Usinados
1/4" a 5/16"	1/64"	1/32"
3/8" a 3/4"	1/32"	1/16"
13/16" a 1.1/8"	3/64"	3/32"
1.3/16" a 1.1/2"	1/16"	1/8"

INSPEÇÃO DOS CABOS DE AÇO EM USO

- 1 - Determinação do trecho crítico;
- 2 - Perda do diâmetro, máximo admissível para cabos com 6 ocos de 6 a 8%;
- 3 - Verificação do número de fios partidos, para cabos com 6 ocos: 6 arames partidos em um comprimento de 6 vezes o diâmetro do cabo (não mais que 3 arames partidos na mesma perna);
- 4 - Verificação do desgaste por abrasão nos arames externos;
- 5 - Verificação de corrosão;
- 6 - Verificação de deformação ou amassamento ao longo do cabo.

Os cabos de aço da SIVA são identificados por um filhote vermelho com a marca SIVA em sua parte interna.



A - CARGAS DE TRABALHO E FATORES DE SEGURANÇA

Caraca de trabalho é a massa máxima que o cabo está autorizado a sustentar. A caraca de trabalho de um cabo de uso aeral, especialmente quando ele é movimentado, não deve, via de regra, exceder a um quinto da caraca de ruptura mínima efetiva do mesmo. O fator ou índice de segurança é a relação entre a caraca de ruptura mínima efetiva do cabo e a caraca aplicada. Um fator de segurança adequado garante:

- Segurança da operação, evitando rupturas;
- Duração do cabo e, conseqüentemente, economia.

Fonte: NBR ISO 24028:2008

sansuy	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS TECHNICAL CHARACTERISTICS			Nº	
				R-0440	
Produto Producto Product	Laminado reforçado de PVC Laminado reforzado de PVC Reinforced PVC film				
Tipo Tipo Type	SP 10722				
			Padrão Padrón Standard	Método Método Method	
Peso	• Peso	• Weight	(g/m2)	780 ± 78	DIN EN 22286
Espessura	• Espesor	• Thickness	(mm)	0,68 ± 0,07	DIN EN 22286
Largura	• Ancho	• Width	(mm)	Variação / - 0 + 5	-
Aderência	• Adhesión	• Adhesion	(kgf/5cm)	≥ 3,5	DIN 53357/A
			Longitudinal Longitudinal Lengthwise	Transversal Transversal Crosswise	Método Método Method
Resistência à ruptura Resistencia a la ruptura Tensile strength		(kgf/5cm)	mín 230	mín 180	DIN 53354
Alongamento à ruptura Estiramiento a la ruptura Elongation at break		(%)	máx 30	máx 35	DIN 53354
Resistência ao rasgo Resistencia al desgarre Tear strength		(kgf)	mín 30	mín 25	DIN 53363
Módulo a 100% Módulo al 100% Module at 100%		(kgf/cm ²)	N.A.	N.A.	N.A.
Estabilidade dimensional Estabilidad dimensional Dimensional stability		(%) ____ °C ____ min.	N.A.	N.A.	N.A.
Aplicação sugerida Aplicación sugerida Suggested application					
<p>· Estes valores estão sujeitos à revisão.</p> <p>· Estos valores estan sujetos a revisión.</p> <p>· These values may be revised.</p>					
Elaborado em Elaborado Elaborated on	14/08/03	Elaborado por Elaborado por Elaborated by	Silva	Aprovado por Aprobado por Approved by	Américo
Revisão nº Revisión nº Revision nr.	03	Data Fecha Date	05/02/2009	Por Por By	Celso Tanaka
Motivo da revisão: Motivo de la revision: Purpose for the revision:	Ajuste de valores. Ajuste de los valores. Adjustment of values.				

Apêndice B – Resultados da análise estrutural

B.1 Esforços nos elementos

Elemento	Porção (m)	Combinação	P (kN)	V2 (kN)	M3 (kN.m)
1	0,00	COMB1	55,01	37,94	0,00
1	2,00	COMB1	57,15	47,80	-85,73
1	2,70	COMB1	57,89	51,25	-120,40
1	2,70	COMB1	-45,39	-71,20	-120,40
1	4,00	COMB1	-44,00	-64,79	-32,01
2	0,00	COMB1	-74,99	-21,11	32,01
2	1,31	COMB1	-74,44	-25,64	62,72
2	2,63	COMB1	-73,90	-30,16	99,39
4	0,00	COMB1	-44,00	-64,79	32,01
4	1,30	COMB1	-45,39	-71,20	120,40
4	1,30	COMB1	57,89	51,25	120,40
4	2,00	COMB1	57,15	47,80	85,73
4	4,00	COMB1	55,01	37,94	0,00
5	0,00	COMB1	160,19	-0,15	0,00
5	1,64	COMB1	160,31	0,00	0,12
5	3,27	COMB1	160,43	0,15	0,00
6	0,00	COMB1	160,43	-0,15	0,00
6	1,64	COMB1	160,31	0,00	0,12
6	3,27	COMB1	160,19	0,15	0,00
7	0,00	COMB1	54,27	-0,17	0,00
7	0,50	COMB1	54,27	-0,12	0,07
7	1,00	COMB1	54,27	-0,06	0,12
7	1,50	COMB1	54,27	0,00	0,13
7	2,00	COMB1	54,27	0,06	0,12
7	2,50	COMB1	54,27	0,12	0,07
7	3,00	COMB1	54,27	0,17	0,00
8	0,00	COMB1	74,83	31,29	99,39
8	1,31	COMB1	75,37	26,76	61,25
8	2,63	COMB1	75,92	22,23	29,05
11	0,00	COMB1	76,15	22,94	29,05
11	1,31	COMB1	76,70	18,42	1,87
11	2,63	COMB1	77,24	13,89	-19,36
12	0,00	COMB1	77,47	14,60	-19,36
12	1,31	COMB1	78,02	10,07	-35,57
12	2,63	COMB1	78,56	5,54	-45,84
13	0,00	COMB1	78,79	6,26	-45,84
13	1,31	COMB1	79,34	1,73	-51,08
13	2,63	COMB1	79,88	-2,80	-50,38
14	0,00	COMB1	80,12	-2,09	-50,38
14	1,31	COMB1	80,66	-6,61	-44,66

14	2,63	COMB1	81,21	-11,14	-33,00
15	0,00	COMB1	81,44	-10,43	-33,00
15	1,31	COMB1	81,98	-14,96	-16,31
15	2,63	COMB1	82,53	-19,49	6,32
16	0,00	COMB1	82,76	-18,77	6,32
16	1,05	COMB1	83,20	-22,39	27,96
16	1,05	COMB1	31,63	-5,45	27,96
16	1,31	COMB1	31,74	-6,36	29,52
16	2,63	COMB1	32,29	-10,89	40,85
17	0,00	COMB1	32,29	10,89	40,85
17	1,31	COMB1	31,74	6,36	29,52
17	1,58	COMB1	31,63	5,45	27,96
17	1,58	COMB1	83,20	22,39	27,96
17	2,63	COMB1	82,76	18,77	6,32
18	0,00	COMB1	82,53	19,49	6,32
18	1,31	COMB1	81,98	14,96	-16,31
18	2,63	COMB1	81,44	10,43	-33,00
19	0,00	COMB1	81,21	11,14	-33,00
19	1,31	COMB1	80,66	6,61	-44,66
19	2,63	COMB1	80,12	2,09	-50,38
20	0,00	COMB1	79,88	2,80	-50,38
20	1,31	COMB1	79,34	-1,73	-51,08
20	2,63	COMB1	78,79	-6,26	-45,84
21	0,00	COMB1	78,56	-5,54	-45,84
21	1,31	COMB1	78,02	-10,07	-35,57
21	2,63	COMB1	77,47	-14,60	-19,36
22	0,00	COMB1	77,24	-13,89	-19,36
22	1,31	COMB1	76,70	-18,42	1,87
22	2,63	COMB1	76,15	-22,94	29,05
23	0,00	COMB1	75,92	-22,23	29,05
23	1,31	COMB1	75,37	-26,76	61,25
23	2,63	COMB1	74,83	-31,29	99,39
24	0,00	COMB1	-73,90	30,16	99,39
24	1,31	COMB1	-74,44	25,64	62,72
24	2,63	COMB1	-74,99	21,11	32,01
1	0,00	COMB2	-50,22	-41,27	0,00
1	2,00	COMB2	-48,08	-42,44	83,71
1	2,70	COMB2	-47,34	-42,86	113,57
1	2,70	COMB2	46,67	68,17	113,57
1	4,00	COMB2	48,06	67,41	25,44
2	0,00	COMB2	79,20	25,59	-25,44
2	1,31	COMB2	79,72	27,98	-60,64
2	2,63	COMB2	80,25	30,37	-98,98
4	0,00	COMB2	48,06	67,41	-25,44
4	1,30	COMB2	46,67	68,17	-113,57

4	1,30	COMB2	-47,34	-42,86	-113,57
4	2,00	COMB2	-48,08	-42,44	-83,71
4	4,00	COMB2	-50,22	-41,27	0,00
5	0,00	COMB2	-145,48	-0,15	0,00
5	1,64	COMB2	-145,36	0,00	0,12
5	3,27	COMB2	-145,24	0,15	0,00
6	0,00	COMB2	-145,24	-0,15	0,00
6	1,64	COMB2	-145,36	0,00	0,12
6	3,27	COMB2	-145,48	0,15	0,00
7	0,00	COMB2	-8,18	-0,17	0,00
7	0,50	COMB2	-8,18	-0,12	0,07
7	1,00	COMB2	-8,18	-0,06	0,12
7	1,50	COMB2	-8,18	0,00	0,13
7	2,00	COMB2	-8,18	0,06	0,12
7	2,50	COMB2	-8,18	0,12	0,07
7	3,00	COMB2	-8,18	0,17	0,00
8	0,00	COMB2	-54,05	-23,64	-98,98
8	1,31	COMB2	-53,53	-21,25	-69,48
8	2,63	COMB2	-53,00	-18,86	-43,12
11	0,00	COMB2	-52,77	-18,14	-43,12
11	1,31	COMB2	-52,24	-15,75	-20,85
11	2,63	COMB2	-51,71	-13,36	-1,72
12	0,00	COMB2	-51,48	-12,64	-1,72
12	1,31	COMB2	-50,96	-10,25	13,33
12	2,63	COMB2	-50,43	-7,86	25,23
13	0,00	COMB2	-50,20	-7,14	25,23
13	1,31	COMB2	-49,67	-4,75	33,04
13	2,63	COMB2	-49,14	-2,36	37,72
14	0,00	COMB2	-48,91	-1,64	37,72
14	1,31	COMB2	-48,39	0,75	38,30
14	2,63	COMB2	-47,86	3,14	35,75
15	0,00	COMB2	-47,63	3,86	35,75
15	1,31	COMB2	-47,10	6,25	29,11
15	2,63	COMB2	-46,57	8,64	19,32
16	0,00	COMB2	-46,34	9,36	19,32
16	1,05	COMB2	-45,92	11,27	8,48
16	1,05	COMB2	-38,08	8,91	8,48
16	1,31	COMB2	-37,98	9,38	6,07
16	2,63	COMB2	-37,45	11,78	-7,84
17	0,00	COMB2	-37,45	-11,78	-7,84
17	1,31	COMB2	-37,98	-9,38	6,07
17	1,58	COMB2	-38,08	-8,91	8,48
17	1,58	COMB2	-45,92	-11,27	8,48
17	2,63	COMB2	-46,34	-9,36	19,32
18	0,00	COMB2	-46,57	-8,64	19,32

18	1,31	COMB2	-47,10	-6,25	29,11
18	2,63	COMB2	-47,63	-3,86	35,75
19	0,00	COMB2	-47,86	-3,14	35,75
19	1,31	COMB2	-48,39	-0,75	38,30
19	2,63	COMB2	-48,91	1,64	37,72
20	0,00	COMB2	-49,14	2,36	37,72
20	1,31	COMB2	-49,67	4,75	33,04
20	2,63	COMB2	-50,20	7,14	25,23
21	0,00	COMB2	-50,43	7,86	25,23
21	1,31	COMB2	-50,96	10,25	13,33
21	2,63	COMB2	-51,48	12,64	-1,72
22	0,00	COMB2	-51,71	13,36	-1,72
22	1,31	COMB2	-52,24	15,75	-20,85
22	2,63	COMB2	-52,77	18,14	-43,12
23	0,00	COMB2	-53,00	18,86	-43,12
23	1,31	COMB2	-53,53	21,25	-69,48
23	2,63	COMB2	-54,05	23,64	-98,98
24	0,00	COMB2	80,25	-30,37	-98,98
24	1,31	COMB2	79,72	-27,98	-60,64
24	2,63	COMB2	79,20	-25,59	-25,44
1	0,00	COMB3	43,61	39,00	0,00
1	2,00	COMB3	45,75	38,29	-77,29
1	2,70	COMB3	46,49	38,04	-104,00
1	2,70	COMB3	-35,57	-59,30	-104,00
1	4,00	COMB3	-34,18	-59,76	-26,62
2	0,00	COMB3	-67,16	-13,32	26,62
2	1,31	COMB3	-66,62	-17,39	46,80
2	2,63	COMB3	-66,07	-21,45	72,33
4	0,00	COMB3	-37,57	-48,70	21,86
4	1,30	COMB3	-38,96	-53,75	88,45
4	1,30	COMB3	38,38	38,00	88,45
4	2,00	COMB3	37,63	35,28	62,80
4	4,00	COMB3	35,50	27,52	0,00
5	0,00	COMB3	127,32	-0,15	0,00
5	1,64	COMB3	127,44	0,00	0,12
5	3,27	COMB3	127,56	0,15	0,00
6	0,00	COMB3	120,23	-0,15	0,00
6	1,64	COMB3	120,11	0,00	0,12
6	3,27	COMB3	119,99	0,15	0,00
7	0,00	COMB3	39,18	-0,17	0,00
7	0,50	COMB3	39,18	-0,12	0,07
7	1,00	COMB3	39,18	-0,06	0,12
7	1,50	COMB3	39,18	0,00	0,13
7	2,00	COMB3	39,18	0,06	0,12
7	2,50	COMB3	39,18	0,12	0,07

7	3,00	COMB3	39,18	0,17	0,00
8	0,00	COMB3	52,21	27,58	72,33
8	1,31	COMB3	52,76	23,51	38,75
8	2,63	COMB3	53,30	19,45	10,52
11	0,00	COMB3	53,54	20,16	10,52
11	1,31	COMB3	54,08	16,10	-13,31
11	2,63	COMB3	54,63	12,03	-31,80
12	0,00	COMB3	54,86	12,75	-31,80
12	1,31	COMB3	55,40	8,68	-45,88
12	2,63	COMB3	55,95	4,62	-54,63
13	0,00	COMB3	56,18	5,33	-54,63
13	1,31	COMB3	56,72	1,27	-58,96
13	2,63	COMB3	57,27	-2,80	-57,96
14	0,00	COMB3	57,50	-2,08	-57,96
14	1,31	COMB3	58,05	-6,15	-52,55
14	2,63	COMB3	58,59	-10,21	-41,79
15	0,00	COMB3	58,82	-9,50	-41,79
15	1,31	COMB3	59,37	-13,56	-26,64
15	2,63	COMB3	59,91	-17,63	-6,14
16	0,00	COMB3	60,14	-16,92	-6,14
16	1,05	COMB3	60,58	-20,17	13,36
16	1,05	COMB3	23,37	-7,89	13,36
16	1,31	COMB3	23,48	-8,70	15,54
16	2,63	COMB3	24,03	-12,77	29,65
17	0,00	COMB3	26,71	4,51	29,65
17	1,31	COMB3	26,16	1,55	25,67
17	1,58	COMB3	26,06	0,96	25,34
17	1,58	COMB3	63,27	13,23	25,34
17	2,63	COMB3	62,83	10,86	12,67
18	0,00	COMB3	62,60	11,58	12,67
18	1,31	COMB3	62,05	8,62	-0,60
18	2,63	COMB3	61,51	5,66	-9,97
19	0,00	COMB3	61,28	6,37	-9,97
19	1,31	COMB3	60,73	3,41	-16,40
19	2,63	COMB3	60,19	0,45	-18,93
20	0,00	COMB3	59,95	1,16	-18,93
20	1,31	COMB3	59,41	-1,80	-18,51
20	2,63	COMB3	58,86	-4,76	-14,20
21	0,00	COMB3	58,63	-4,05	-14,20
21	1,31	COMB3	58,09	-7,01	-6,94
21	2,63	COMB3	57,54	-9,97	4,21
22	0,00	COMB3	57,31	-9,25	4,21
22	1,31	COMB3	56,77	-12,21	18,32
22	2,63	COMB3	56,22	-15,17	36,32
23	0,00	COMB3	55,99	-14,46	36,32

23	1,31	COMB3	55,44	-17,42	57,27
23	2,63	COMB3	54,90	-20,38	82,12
24	0,00	COMB3	-56,61	25,88	82,12
24	1,31	COMB3	-57,15	22,92	50,05
24	2,63	COMB3	-57,70	19,96	21,86
1	0,00	COMB4	99,90	88,06	0,00
1	2,00	COMB4	102,04	86,89	-174,95
1	2,70	COMB4	102,79	86,47	-235,62
1	2,70	COMB4	-85,27	-136,30	-235,62
1	4,00	COMB4	-83,89	-137,07	-57,93
2	0,00	COMB4	-156,05	-36,70	57,93
2	1,31	COMB4	-155,53	-44,65	111,39
2	2,63	COMB4	-155,00	-52,60	175,29
4	0,00	COMB4	-89,53	-118,64	50,01
4	1,30	COMB4	-90,92	-127,05	209,71
4	1,30	COMB4	89,26	86,40	209,71
4	2,00	COMB4	88,51	81,87	150,81
4	4,00	COMB4	86,38	68,94	0,00
5	0,00	COMB4	291,54	-0,15	0,00
5	1,64	COMB4	291,66	0,00	0,12
5	3,27	COMB4	291,79	0,15	0,00
6	0,00	COMB4	279,57	-0,15	0,00
6	1,64	COMB4	279,45	0,00	0,12
6	3,27	COMB4	279,33	0,15	0,00
7	0,00	COMB4	66,26	-0,17	0,00
7	0,50	COMB4	66,26	-0,12	0,07
7	1,00	COMB4	66,26	-0,06	0,12
7	1,50	COMB4	66,26	0,00	0,13
7	2,00	COMB4	66,26	0,06	0,12
7	2,50	COMB4	66,26	0,12	0,07
7	3,00	COMB4	66,26	0,17	0,00
8	0,00	COMB4	115,35	58,47	175,29
8	1,31	COMB4	115,87	50,52	103,67
8	2,63	COMB4	116,40	42,58	42,48
11	0,00	COMB4	116,63	43,29	42,48
11	1,31	COMB4	117,16	35,34	-9,19
11	2,63	COMB4	117,68	27,39	-50,41
12	0,00	COMB4	117,92	28,11	-50,41
12	1,31	COMB4	118,44	20,16	-82,13
12	2,63	COMB4	118,97	12,21	-103,40
13	0,00	COMB4	119,20	12,92	-103,40
13	1,31	COMB4	119,73	4,97	-115,16
13	2,63	COMB4	120,25	-2,97	-116,48
14	0,00	COMB4	120,49	-2,26	-116,48
14	1,31	COMB4	121,01	-10,21	-108,28

14	2,63	COMB4	121,54	-18,16	-89,64
15	0,00	COMB4	121,77	-17,44	-89,64
15	1,31	COMB4	122,30	-25,39	-61,49
15	2,63	COMB4	122,82	-33,34	-22,89
16	0,00	COMB4	123,06	-32,63	-22,89
16	1,05	COMB4	123,48	-38,99	14,76
16	1,05	COMB4	60,51	-18,34	14,76
16	1,31	COMB4	60,62	-19,93	19,79
16	2,63	COMB4	61,14	-27,88	51,20
17	0,00	COMB4	65,62	14,11	51,20
17	1,31	COMB4	65,09	8,00	36,67
17	1,58	COMB4	64,99	6,78	34,73
17	1,58	COMB4	127,95	27,43	34,73
17	2,63	COMB4	127,53	22,54	8,46
18	0,00	COMB4	127,30	23,25	8,46
18	1,31	COMB4	126,77	17,15	-18,09
18	2,63	COMB4	126,25	11,04	-36,61
19	0,00	COMB4	126,01	11,75	-36,61
19	1,31	COMB4	125,49	5,64	-48,04
19	2,63	COMB4	124,96	-0,47	-51,44
20	0,00	COMB4	124,73	0,25	-51,44
20	1,31	COMB4	124,20	-5,86	-47,75
20	2,63	COMB4	123,68	-11,97	-36,03
21	0,00	COMB4	123,44	-11,26	-36,03
21	1,31	COMB4	122,92	-17,36	-17,22
21	2,63	COMB4	122,39	-23,47	9,61
22	0,00	COMB4	122,16	-22,76	9,61
22	1,31	COMB4	121,63	-28,87	43,54
22	2,63	COMB4	121,11	-34,97	85,49
23	0,00	COMB4	120,87	-34,26	85,49
23	1,31	COMB4	120,35	-40,37	134,54
23	2,63	COMB4	119,82	-46,48	191,61
24	0,00	COMB4	-139,22	59,98	191,61
24	1,31	COMB4	-139,75	53,87	116,80
24	2,63	COMB4	-140,27	47,76	50,01
1	0,00	COMB5	129,62	95,68	0,00
1	2,00	COMB5	131,33	112,11	-207,79
1	2,70	COMB5	131,93	117,87	-288,28
1	2,70	COMB5	-112,33	-171,38	-288,28
1	4,00	COMB5	-111,22	-160,70	-72,44
2	0,00	COMB5	-187,02	-55,54	72,44
2	1,31	COMB5	-186,66	-64,76	151,49
2	2,63	COMB5	-186,29	-73,99	242,68
4	0,00	COMB5	-111,22	-160,70	72,44
4	1,30	COMB5	-112,33	-171,38	288,28

4	1,30	COMB5	131,93	117,87	288,28
4	2,00	COMB5	131,33	112,11	207,79
4	4,00	COMB5	129,62	95,68	0,00
5	0,00	COMB5	378,58	-0,12	0,00
5	1,64	COMB5	378,68	0,00	0,09
5	3,27	COMB5	378,78	0,12	0,00
6	0,00	COMB5	378,78	-0,12	0,00
6	1,64	COMB5	378,68	0,00	0,09
6	3,27	COMB5	378,58	0,12	0,00
7	0,00	COMB5	91,84	-0,14	0,00
7	0,50	COMB5	91,84	-0,09	0,06
7	1,00	COMB5	91,84	-0,05	0,09
7	1,50	COMB5	91,84	0,00	0,10
7	2,00	COMB5	91,84	0,05	0,09
7	2,50	COMB5	91,84	0,09	0,06
7	3,00	COMB5	91,84	0,14	0,00
8	0,00	COMB5	164,57	69,77	242,68
8	1,31	COMB5	164,93	60,54	157,04
8	2,63	COMB5	165,29	51,32	83,52
11	0,00	COMB5	165,48	51,89	83,52
11	1,31	COMB5	165,84	42,67	21,39
11	2,63	COMB5	166,20	33,44	-28,63
12	0,00	COMB5	166,39	34,01	-28,63
12	1,31	COMB5	166,75	24,79	-67,27
12	2,63	COMB5	167,11	15,56	-93,78
13	0,00	COMB5	167,30	16,13	-93,78
13	1,31	COMB5	167,66	6,91	-108,92
13	2,63	COMB5	168,02	-2,32	-111,94
14	0,00	COMB5	168,21	-1,75	-111,94
14	1,31	COMB5	168,57	-10,97	-103,58
14	2,63	COMB5	168,94	-20,20	-83,09
15	0,00	COMB5	169,12	-19,63	-83,09
15	1,31	COMB5	169,48	-28,85	-51,23
15	2,63	COMB5	169,85	-38,08	-7,24
16	0,00	COMB5	170,03	-37,51	-7,24
16	1,05	COMB5	170,32	-44,89	36,07
16	1,05	COMB5	83,02	-16,37	36,07
16	1,31	COMB5	83,09	-18,21	40,62
16	2,63	COMB5	83,46	-27,44	70,62
17	0,00	COMB5	83,46	27,44	70,62
17	1,31	COMB5	83,09	18,21	40,62
17	1,58	COMB5	83,02	16,37	36,07
17	1,58	COMB5	170,32	44,89	36,07
17	2,63	COMB5	170,03	37,51	-7,24
18	0,00	COMB5	169,85	38,08	-7,24

18	1,31	COMB5	169,48	28,85	-51,23
18	2,63	COMB5	169,12	19,63	-83,09
19	0,00	COMB5	168,94	20,20	-83,09
19	1,31	COMB5	168,57	10,97	-103,58
19	2,63	COMB5	168,21	1,75	-111,94
20	0,00	COMB5	168,02	2,32	-111,94
20	1,31	COMB5	167,66	-6,91	-108,92
20	2,63	COMB5	167,30	-16,13	-93,78
21	0,00	COMB5	167,11	-15,56	-93,78
21	1,31	COMB5	166,75	-24,79	-67,27
21	2,63	COMB5	166,39	-34,01	-28,63
22	0,00	COMB5	166,20	-33,44	-28,63
22	1,31	COMB5	165,84	-42,67	21,39
22	2,63	COMB5	165,48	-51,89	83,52
23	0,00	COMB5	165,29	-51,32	83,52
23	1,31	COMB5	164,93	-60,54	157,04
23	2,63	COMB5	164,57	-69,77	242,68
24	0,00	COMB5	-186,29	73,99	242,68
24	1,31	COMB5	-186,66	64,76	151,49
24	2,63	COMB5	-187,02	55,54	72,44
1	0,00	ELS1	-29,95	-25,07	0,00
1	2,00	ELS1	-28,24	-25,07	50,14
1	2,70	ELS1	-27,64	-25,07	67,69
1	2,70	ELS1	28,11	40,73	67,69
1	4,00	ELS1	29,22	40,73	14,74
2	0,00	ELS1	47,95	15,77	-14,74
2	1,31	ELS1	48,36	17,02	-36,29
2	2,63	ELS1	48,77	18,27	-59,48
4	0,00	ELS1	29,22	40,73	-14,74
4	1,30	ELS1	28,11	40,73	-67,69
4	1,30	ELS1	-27,64	-25,07	-67,69
4	2,00	ELS1	-28,24	-25,07	-50,14
4	4,00	ELS1	-29,95	-25,07	0,00
5	0,00	ELS1	-86,25	-0,12	0,00
5	1,64	ELS1	-86,15	0,00	0,09
5	3,27	ELS1	-86,05	0,12	0,00
6	0,00	ELS1	-86,05	-0,12	0,00
6	1,64	ELS1	-86,15	0,00	0,09
6	3,27	ELS1	-86,25	0,12	0,00
7	0,00	ELS1	-1,01	-0,14	0,00
7	0,50	ELS1	-1,01	-0,09	0,06
7	1,00	ELS1	-1,01	-0,05	0,09
7	1,50	ELS1	-1,01	0,00	0,10
7	2,00	ELS1	-1,01	0,05	0,09
7	2,50	ELS1	-1,01	0,09	0,06

7	3,00	ELS1	-1,01	0,14	0,00
8	0,00	ELS1	-30,77	-13,56	-59,48
8	1,31	ELS1	-30,36	-12,31	-42,48
8	2,63	ELS1	-29,96	-11,06	-27,12
11	0,00	ELS1	-29,77	-10,49	-27,12
11	1,31	ELS1	-29,37	-9,25	-14,15
11	2,63	ELS1	-28,96	-8,00	-2,82
12	0,00	ELS1	-28,78	-7,43	-2,82
12	1,31	ELS1	-28,37	-6,18	6,12
12	2,63	ELS1	-27,96	-4,93	13,42
13	0,00	ELS1	-27,78	-4,36	13,42
13	1,31	ELS1	-27,37	-3,11	18,34
13	2,63	ELS1	-26,97	-1,87	21,61
14	0,00	ELS1	-26,78	-1,30	21,61
14	1,31	ELS1	-26,38	-0,05	22,49
14	2,63	ELS1	-25,97	1,20	21,73
15	0,00	ELS1	-25,79	1,77	21,73
15	1,31	ELS1	-25,38	3,02	18,59
15	2,63	ELS1	-24,98	4,27	13,80
16	0,00	ELS1	-24,79	4,84	13,80
16	1,05	ELS1	-24,47	5,84	8,19
16	1,05	ELS1	-23,46	5,65	8,19
16	1,31	ELS1	-23,38	5,90	6,67
16	2,63	ELS1	-22,97	7,15	-1,91
17	0,00	ELS1	-22,97	-7,15	-1,91
17	1,31	ELS1	-23,38	-5,90	6,67
17	1,58	ELS1	-23,46	-5,65	8,19
17	1,58	ELS1	-24,47	-5,84	8,19
17	2,63	ELS1	-24,79	-4,84	13,80
18	0,00	ELS1	-24,98	-4,27	13,80
18	1,31	ELS1	-25,38	-3,02	18,59
18	2,63	ELS1	-25,79	-1,77	21,73
19	0,00	ELS1	-25,97	-1,20	21,73
19	1,31	ELS1	-26,38	0,05	22,49
19	2,63	ELS1	-26,78	1,30	21,61
20	0,00	ELS1	-26,97	1,87	21,61
20	1,31	ELS1	-27,37	3,11	18,34
20	2,63	ELS1	-27,78	4,36	13,42
21	0,00	ELS1	-27,96	4,93	13,42
21	1,31	ELS1	-28,37	6,18	6,12
21	2,63	ELS1	-28,78	7,43	-2,82
22	0,00	ELS1	-28,96	8,00	-2,82
22	1,31	ELS1	-29,37	9,25	-14,15
22	2,63	ELS1	-29,77	10,49	-27,12
23	0,00	ELS1	-29,96	11,06	-27,12

23	1,31	ELS1	-30,36	12,31	-42,48
23	2,63	ELS1	-30,77	13,56	-59,48
24	0,00	ELS1	48,77	-18,27	-59,48
24	1,31	ELS1	48,36	-17,02	-36,29
24	2,63	ELS1	47,95	-15,77	-14,74
1	0,00	ELS2	-32,15	-26,68	0,00
1	2,00	ELS2	-30,44	-26,94	53,62
1	2,70	ELS2	-29,85	-27,02	72,50
1	2,70	ELS2	29,98	43,59	72,50
1	4,00	ELS2	31,09	43,43	15,94
2	0,00	ELS2	51,10	16,71	-15,94
2	1,31	ELS2	51,50	18,11	-38,82
2	2,63	ELS2	51,90	19,50	-63,54
4	0,00	ELS2	31,09	43,43	-15,94
4	1,30	ELS2	29,98	43,59	-72,50
4	1,30	ELS2	-29,85	-27,02	-72,50
4	2,00	ELS2	-30,44	-26,94	-53,62
4	4,00	ELS2	-32,15	-26,68	0,00
5	0,00	ELS2	-92,55	-0,12	0,00
5	1,64	ELS2	-92,45	0,00	0,09
5	3,27	ELS2	-92,35	0,12	0,00
6	0,00	ELS2	-92,35	-0,12	0,00
6	1,64	ELS2	-92,45	0,00	0,09
6	3,27	ELS2	-92,55	0,12	0,00
7	0,00	ELS2	-2,47	-0,14	0,00
7	0,50	ELS2	-2,47	-0,09	0,06
7	1,00	ELS2	-2,47	-0,05	0,09
7	1,50	ELS2	-2,47	0,00	0,10
7	2,00	ELS2	-2,47	0,05	0,09
7	2,50	ELS2	-2,47	0,09	0,06
7	3,00	ELS2	-2,47	0,14	0,00
8	0,00	ELS2	-33,47	-14,71	-63,54
8	1,31	ELS2	-33,08	-13,31	-45,12
8	2,63	ELS2	-32,68	-11,92	-28,54
11	0,00	ELS2	-32,49	-11,35	-28,54
11	1,31	ELS2	-32,09	-9,95	-14,54
11	2,63	ELS2	-31,69	-8,56	-2,38
12	0,00	ELS2	-31,51	-7,99	-2,38
12	1,31	ELS2	-31,11	-6,59	7,21
12	2,63	ELS2	-30,71	-5,20	14,96
13	0,00	ELS2	-30,52	-4,63	14,96
13	1,31	ELS2	-30,12	-3,23	20,12
13	2,63	ELS2	-29,72	-1,84	23,46
14	0,00	ELS2	-29,54	-1,27	23,46
14	1,31	ELS2	-29,14	0,13	24,21

14	2,63	ELS2	-28,74	1,52	23,13
15	0,00	ELS2	-28,55	2,09	23,13
15	1,31	ELS2	-28,15	3,49	19,46
15	2,63	ELS2	-27,75	4,88	13,97
16	0,00	ELS2	-27,57	5,45	13,97
16	1,05	ELS2	-27,25	6,57	7,65
16	1,05	ELS2	-24,86	5,94	7,65
16	1,31	ELS2	-24,78	6,21	6,05
16	2,63	ELS2	-24,38	7,61	-3,03
17	0,00	ELS2	-24,38	-7,61	-3,03
17	1,31	ELS2	-24,78	-6,21	6,05
17	1,58	ELS2	-24,86	-5,94	7,65
17	1,58	ELS2	-27,25	-6,57	7,65
17	2,63	ELS2	-27,57	-5,45	13,97
18	0,00	ELS2	-27,75	-4,88	13,97
18	1,31	ELS2	-28,15	-3,49	19,46
18	2,63	ELS2	-28,55	-2,09	23,13
19	0,00	ELS2	-28,74	-1,52	23,13
19	1,31	ELS2	-29,14	-0,13	24,21
19	2,63	ELS2	-29,54	1,27	23,46
20	0,00	ELS2	-29,72	1,84	23,46
20	1,31	ELS2	-30,12	3,23	20,12
20	2,63	ELS2	-30,52	4,63	14,96
21	0,00	ELS2	-30,71	5,20	14,96
21	1,31	ELS2	-31,11	6,59	7,21
21	2,63	ELS2	-31,51	7,99	-2,38
22	0,00	ELS2	-31,69	8,56	-2,38
22	1,31	ELS2	-32,09	9,95	-14,54
22	2,63	ELS2	-32,49	11,35	-28,54
23	0,00	ELS2	-32,68	11,92	-28,54
23	1,31	ELS2	-33,08	13,31	-45,12
23	2,63	ELS2	-33,47	14,71	-63,54
24	0,00	ELS2	51,90	-19,50	-63,54
24	1,31	ELS2	51,50	-18,11	-38,82
24	2,63	ELS2	51,10	-16,71	-15,94
1	0,00	ELS3	0,02	1,03	0,00
1	2,00	ELS3	1,73	0,78	-1,81
1	2,70	ELS3	2,32	0,69	-2,32
1	2,70	ELS3	1,70	-0,22	-2,32
1	4,00	ELS3	2,81	-0,39	-1,93
2	0,00	ELS3	0,69	3,37	1,93
2	1,31	ELS3	1,09	2,54	-1,96
2	2,63	ELS3	1,49	1,72	-4,76
4	0,00	ELS3	1,60	3,56	0,23
4	1,30	ELS3	0,49	1,76	-3,23

4	1,30	ELS3	-0,58	0,68	-3,23
4	2,00	ELS3	-1,17	-0,30	-3,36
4	4,00	ELS3	-2,88	-3,07	0,00
5	0,00	ELS3	1,10	-0,12	0,00
5	1,64	ELS3	1,20	0,00	0,09
5	3,27	ELS3	1,29	0,12	0,00
6	0,00	ELS3	-1,32	-0,12	0,00
6	1,64	ELS3	-1,42	0,00	0,09
6	3,27	ELS3	-1,52	0,12	0,00
7	0,00	ELS3	13,49	-0,14	0,00
7	0,50	ELS3	13,49	-0,09	0,06
7	1,00	ELS3	13,49	-0,05	0,09
7	1,50	ELS3	13,49	0,00	0,10
7	2,00	ELS3	13,49	0,05	0,09
7	2,50	ELS3	13,49	0,09	0,06
7	3,00	ELS3	13,49	0,14	0,00
8	0,00	ELS3	2,83	2,89	-4,76
8	1,31	ELS3	3,23	2,07	-8,02
8	2,63	ELS3	3,62	1,25	-10,20
11	0,00	ELS3	3,81	1,82	-10,20
11	1,31	ELS3	4,21	1,00	-12,04
11	2,63	ELS3	4,61	0,17	-12,81
12	0,00	ELS3	4,79	0,74	-12,81
12	1,31	ELS3	5,19	-0,08	-13,25
12	2,63	ELS3	5,59	-0,90	-12,61
13	0,00	ELS3	5,78	-0,33	-12,61
13	1,31	ELS3	6,18	-1,15	-11,63
13	2,63	ELS3	6,58	-1,97	-9,58
14	0,00	ELS3	6,76	-1,40	-9,58
14	1,31	ELS3	7,16	-2,22	-7,20
14	2,63	ELS3	7,56	-3,04	-3,74
15	0,00	ELS3	7,75	-2,47	-3,74
15	1,31	ELS3	8,15	-3,30	0,05
15	2,63	ELS3	8,55	-4,12	4,92
16	0,00	ELS3	8,73	-3,55	4,92
16	1,05	ELS3	9,05	-4,20	9,00
16	1,05	ELS3	-3,73	0,10	9,00
16	1,31	ELS3	-3,65	-0,07	8,99
16	2,63	ELS3	-3,25	-0,89	9,62
17	0,00	ELS3	-2,30	-2,06	9,62
17	1,31	ELS3	-2,69	-2,49	12,61
17	1,58	ELS3	-2,77	-2,57	13,28
17	1,58	ELS3	10,01	1,73	13,28
17	2,63	ELS3	9,69	1,39	11,64
18	0,00	ELS3	9,50	1,96	11,64

18	1,31	ELS3	9,10	1,53	9,35
18	2,63	ELS3	8,71	1,10	7,62
19	0,00	ELS3	8,52	1,67	7,62
19	1,31	ELS3	8,12	1,24	5,71
19	2,63	ELS3	7,72	0,82	4,35
20	0,00	ELS3	7,54	1,39	4,35
20	1,31	ELS3	7,14	0,96	2,81
20	2,63	ELS3	6,74	0,53	1,83
21	0,00	ELS3	6,55	1,10	1,83
21	1,31	ELS3	6,15	0,68	0,66
21	2,63	ELS3	5,75	0,25	0,05
22	0,00	ELS3	5,57	0,82	0,05
22	1,31	ELS3	5,17	0,39	-0,74
22	2,63	ELS3	4,77	-0,04	-0,98
23	0,00	ELS3	4,58	0,54	-0,98
23	1,31	ELS3	4,18	0,11	-1,40
23	2,63	ELS3	3,78	-0,32	-1,26
24	0,00	ELS3	4,87	-0,14	-1,26
24	1,31	ELS3	4,47	-0,57	-0,80
24	2,63	ELS3	4,07	-1,00	0,23
1	0,00	ELS4	4,09	0,65	0,00
1	2,00	ELS4	5,80	4,17	-4,83
1	2,70	ELS4	6,39	5,41	-8,18
1	2,70	ELS4	-1,80	-4,47	-8,18
1	4,00	ELS4	-0,69	-2,19	-3,85
2	0,00	ELS4	-2,11	0,59	3,85
2	1,31	ELS4	-1,71	-0,40	3,73
2	2,63	ELS4	-1,31	-1,39	4,90
4	0,00	ELS4	-0,69	-2,19	3,85
4	1,30	ELS4	-1,80	-4,47	8,18
4	1,30	ELS4	6,39	5,41	8,18
4	2,00	ELS4	5,80	4,17	4,83
4	4,00	ELS4	4,09	0,65	0,00
5	0,00	ELS4	12,84	-0,12	0,00
5	1,64	ELS4	12,94	0,00	0,09
5	3,27	ELS4	13,03	0,12	0,00
6	0,00	ELS4	13,03	-0,12	0,00
6	1,64	ELS4	12,94	0,00	0,09
6	3,27	ELS4	12,84	0,12	0,00
7	0,00	ELS4	18,88	-0,14	0,00
7	0,50	ELS4	18,88	-0,09	0,06
7	1,00	ELS4	18,88	-0,05	0,09
7	1,50	ELS4	18,88	0,00	0,10
7	2,00	ELS4	18,88	0,05	0,09
7	2,50	ELS4	18,88	0,09	0,06

7	3,00	ELS4	18,88	0,14	0,00
8	0,00	ELS4	10,90	4,21	4,90
8	1,31	ELS4	11,30	3,23	0,02
8	2,63	ELS4	11,70	2,24	-3,58
11	0,00	ELS4	11,89	2,81	-3,58
11	1,31	ELS4	12,29	1,82	-6,62
11	2,63	ELS4	12,69	0,84	-8,37
12	0,00	ELS4	12,87	1,41	-8,37
12	1,31	ELS4	13,27	0,42	-9,57
12	2,63	ELS4	13,67	-0,57	-9,47
13	0,00	ELS4	13,86	0,00	-9,47
13	1,31	ELS4	14,25	-0,99	-8,82
13	2,63	ELS4	14,65	-1,97	-6,88
14	0,00	ELS4	14,84	-1,40	-6,88
14	1,31	ELS4	15,24	-2,39	-4,39
14	2,63	ELS4	15,64	-3,38	-0,60
15	0,00	ELS4	15,82	-2,81	-0,60
15	1,31	ELS4	16,22	-3,79	3,74
15	2,63	ELS4	16,62	-4,78	9,37
16	0,00	ELS4	16,81	-4,21	9,37
16	1,05	ELS4	17,13	-5,00	14,21
16	1,05	ELS4	-0,78	0,97	14,21
16	1,31	ELS4	-0,70	0,77	13,98
16	2,63	ELS4	-0,30	-0,22	13,62
17	0,00	ELS4	-0,30	0,22	13,62
17	1,31	ELS4	-0,70	-0,77	13,98
17	1,58	ELS4	-0,78	-0,97	14,21
17	1,58	ELS4	17,13	5,00	14,21
17	2,63	ELS4	16,81	4,21	9,37
18	0,00	ELS4	16,62	4,78	9,37
18	1,31	ELS4	16,22	3,79	3,74
18	2,63	ELS4	15,82	2,81	-0,60
19	0,00	ELS4	15,64	3,38	-0,60
19	1,31	ELS4	15,24	2,39	-4,39
19	2,63	ELS4	14,84	1,40	-6,88
20	0,00	ELS4	14,65	1,97	-6,88
20	1,31	ELS4	14,25	0,99	-8,82
20	2,63	ELS4	13,86	0,00	-9,47
21	0,00	ELS4	13,67	0,57	-9,47
21	1,31	ELS4	13,27	-0,42	-9,57
21	2,63	ELS4	12,87	-1,41	-8,37
22	0,00	ELS4	12,69	-0,84	-8,37
22	1,31	ELS4	12,29	-1,82	-6,62
22	2,63	ELS4	11,89	-2,81	-3,58
23	0,00	ELS4	11,70	-2,24	-3,58

23	1,31	ELS4	11,30	-3,23	0,02
23	2,63	ELS4	10,90	-4,21	4,90
24	0,00	ELS4	-1,31	1,39	4,90
24	1,31	ELS4	-1,71	0,40	3,73
24	2,63	ELS4	-2,11	-0,59	3,85

B.2 Deslocamentos nodais

Nó	Combinação	U1 (m)	U3 (m)	R2 (rad)
1	ELS1	0,000	0,000	-0,005
2	ELS1	-0,013	0,000	-0,001
3	ELS1	0,000	-0,041	0,000
4	ELS1	0,013	0,000	0,001
5	ELS1	0,000	0,000	0,005
6	ELS1	-0,011	0,000	-0,003
7	ELS1	0,011	0,000	0,003
8	ELS1	0,000	-0,041	0,000
9	ELS1	0,000	-0,041	0,000
12	ELS1	-0,014	0,001	0,001
13	ELS1	-0,012	-0,004	0,003
14	ELS1	-0,005	-0,025	0,004
15	ELS1	-0,009	-0,014	0,004
16	ELS1	-0,002	-0,034	0,003
17	ELS1	-0,001	-0,039	0,001
18	ELS1	0,000	-0,041	0,000
19	ELS1	0,000	-0,041	0,000
20	ELS1	0,001	-0,039	-0,001
21	ELS1	0,002	-0,034	-0,003
22	ELS1	0,005	-0,025	-0,004
23	ELS1	0,009	-0,014	-0,004
24	ELS1	0,012	-0,004	-0,003
25	ELS1	0,014	0,001	-0,001
1	ELS2	0,000	0,000	-0,005
2	ELS2	-0,014	0,000	-0,001
3	ELS2	0,000	-0,044	0,000
4	ELS2	0,014	0,000	0,001
5	ELS2	0,000	0,000	0,005
6	ELS2	-0,012	0,000	-0,003
7	ELS2	0,012	0,000	0,003
8	ELS2	0,000	-0,044	0,000
9	ELS2	0,000	-0,044	0,000
12	ELS2	-0,014	0,001	0,001
13	ELS2	-0,012	-0,005	0,004
14	ELS2	-0,005	-0,027	0,004

15	ELS2	-0,009	-0,016	0,005
16	ELS2	-0,003	-0,036	0,003
17	ELS2	-0,001	-0,041	0,002
18	ELS2	0,000	-0,044	0,000
19	ELS2	0,000	-0,044	0,000
20	ELS2	0,001	-0,041	-0,002
21	ELS2	0,003	-0,036	-0,003
22	ELS2	0,005	-0,027	-0,004
23	ELS2	0,009	-0,016	-0,005
24	ELS2	0,012	-0,005	-0,004
25	ELS2	0,014	0,001	-0,001
1	ELS3	0,000	0,000	-0,001
2	ELS3	-0,006	0,000	-0,002
3	ELS3	-0,004	-0,006	0,001
4	ELS3	-0,002	0,000	-0,001
5	ELS3	0,000	0,000	0,000
6	ELS3	-0,004	0,000	-0,001
7	ELS3	-0,001	0,000	0,000
8	ELS3	-0,004	-0,004	0,001
9	ELS3	-0,004	-0,008	0,001
12	ELS3	-0,007	0,004	-0,001
13	ELS3	-0,008	0,007	-0,001
14	ELS3	-0,008	0,008	0,001
15	ELS3	-0,008	0,008	0,000
16	ELS3	-0,008	0,006	0,001
17	ELS3	-0,006	0,002	0,002
18	ELS3	-0,005	-0,002	0,002
19	ELS3	-0,004	-0,008	0,000
20	ELS3	-0,005	-0,008	0,000
21	ELS3	-0,004	-0,008	0,000
22	ELS3	-0,004	-0,006	-0,001
23	ELS3	-0,003	-0,005	-0,001
24	ELS3	-0,003	-0,003	-0,001
25	ELS3	-0,002	-0,001	-0,001
1	ELS4	0,000	0,000	0,000
2	ELS4	-0,001	0,000	0,000
3	ELS4	0,000	-0,002	0,000
4	ELS4	0,001	0,000	0,000
5	ELS4	0,000	0,000	0,000
6	ELS4	0,000	0,000	0,000
7	ELS4	0,000	0,000	0,000
8	ELS4	0,000	-0,002	0,000
9	ELS4	0,000	-0,002	0,000
12	ELS4	-0,001	0,001	-0,001
13	ELS4	-0,002	0,003	-0,001

14	ELS4	-0,002	0,005	0,000
15	ELS4	-0,002	0,005	0,000
16	ELS4	-0,002	0,003	0,001
17	ELS4	-0,001	0,001	0,001
18	ELS4	0,000	-0,001	0,001
19	ELS4	0,000	-0,001	-0,001
20	ELS4	0,001	0,001	-0,001
21	ELS4	0,002	0,003	-0,001
22	ELS4	0,002	0,005	0,000
23	ELS4	0,002	0,005	0,000
24	ELS4	0,002	0,003	0,001
25	ELS4	0,001	0,001	0,001