



**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Matheus da Silva Weber

**ESTUDO COMPARATIVO DA INFLUÊNCIA DA FORÇA DEVIDO À AÇÃO DO  
VENTO NO DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA METÁLICA DE  
GRANDE PORTE.**

Santa Cruz do Sul  
2023

Matheus da Silva Weber

**ESTUDO COMPARATIVO DA INFLUÊNCIA DA FORÇA DEVIDO À AÇÃO DO  
VENTO NO DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA METÁLICA DE  
GRANDE PORTE.**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa  
Cruz do Sul, UNISC, como condição para obtenção  
do título de Engenheiro Civil.

Prof. Henrique L. Rupp  
*Professor Orientador - UNISC*

Santa Cruz do Sul

2023

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo comparar o dimensionamento de uma mesma estrutura metálica, considerando diferentes condições de vento. A influência da ação do vento no projeto de estruturas é de grande importância para garantir a estabilidade e segurança das edificações. O estudo envolve a análise de uma estrutura de pórtico treliçado em um pavilhão de usos gerais, com dimensões de 50m de largura, 100m de comprimento e 10m de pé direito.

A metodologia utilizada consiste em realizar o dimensionamento da estrutura para duas situações de vento: uma utilizando as especificações da norma NBR 6123:1988, considerando a velocidade básica de vento e fatores topográficos e de rugosidade do terreno; e outra levando em conta as características reais do local de execução. Para o dimensionamento, será utilizado o software Mcalc3D 5.0, que permite a modelagem, análise e dimensionamento de estruturas metálicas em 3D.

Os resultados obtidos demonstram uma variação de mais de 30% no peso total de uma estrutura para outra, ficando em torno de 48 toneladas. Apresentando também uma variação nos deslocamentos tanto para deslocamento em x, como para y e para z. Com base nos resultados obtidos, espera-se fornecer informações relevantes para projetistas e engenheiros, auxiliando na tomada de decisões mais seguras e eficientes no dimensionamento de estruturas metálicas em locais com variabilidade das condições de vento. O estudo contribuirá para o aprimoramento das práticas de projeto, visando uma melhor compreensão dos efeitos do vento e proporcionando direcionamentos para futuras pesquisas nessa área.

Palavras chave: dimensionamento, estrutura metálica, vento, categoria de rugosidade.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema de transmissão de cargas. ....	9
Figura 2 - Tipos de haste conforme sua solicitação. ....	11
Figura 3 - Pórtico Espacial. ....	15
Figura 4 - Pórtico Plano. ....	16
Figura 5 - Treliça Plana. ....	16
Figura 6 - Treliça Espacial. ....	17
Figura 7 - Grelha plana. ....	17
Figura 8 - Ligações. ....	18
Figura 9 - Eletrodo manual revestido. ....	19
Figura 10 - Arco submerso. ....	19
Figura 11 - Arco com proteção gasosa. ....	20
Figura 12 - Parafuso com porca sextavada. ....	20
Figura 13 - Ligação tipo apoio. ....	21
Figura 14 - Ligação tipo atrito. ....	21
Figura 15 - Galpão metálico. ....	22
Figura 16 - Componentes de uma treliça. ....	23
Figura 17 - Treliças de banzo paralelo. ....	23
Figura 18 - Treliças de banzo inclinado. ....	23
Figura 19 - Plantas de cobertura sem e com contraventamento. ....	24
Figura 20 - Detalhe de montagem de tirantes e corrente rígida. ....	25
Figura 21 - Detalhe de montagem de contraventos. ....	26
Figura 22 - Vista longitudinal com contraventamento de pilares. ....	26
Figura 23 - Definições de vento. ....	34
Figura 24 - Isopleta da velocidade básica $V_0$ (m/s). ....	35
Figura 25 - Fator topográfico $S_1(z)$ . ....	37
Figura 26 - Estrutura do trabalho. ....	47
Figura 27 - Modelagem pórtico padrão. ....	50
Figura 28 - Modelagem estrutura principal. ....	50
Figura 29 - Modelagem travamento da estrutura. ....	51
Figura 30 - Modelagem estrutura completa. ....	51
Figura 31 - Ação permanente nos pórticos centrais. ....	52
Figura 32 - Ação permanente nos pórticos de oitão. ....	53
Figura 33- Sobrecarga de utilização nos pórticos centrais. ....	53

Figura 34 - Sobrecarga de utilização pórticos de oitão.....	54
Figura 35 - Sobrecarga de painéis solares nos pórticos centrais.....	54
Figura 36 - Sobrecarga de painéis solares nos pórticos oitão.....	55
Figura 37 - Coeficiente de forma externo para vento a 0°.....	58
Figura 38 - Coeficiente de forma externo para vento a 90°.....	58
Figura 39 - Coeficiente de forma externo para vento a 180°.....	58
Figura 40 - Coeficiente de forma externo para vento a 270°.....	59
Figura 41 - Coeficiente de forma externo para vento a 0°.....	59
Figura 42 - Coeficiente de forma externo para vento a 90°.....	59
Figura 43 - Coeficiente de forma externo para vento a 180°.....	60
Figura 44 - Coeficiente de forma externo para vento a 270°.....	60
Figura 45 - Coeficiente de forma externo para telhados vento a 0°.....	61
Figura 46 - Coeficiente de forma externo para telhados vento a 90°.....	61
Figura 47 - Coeficiente de forma externo para telhados vento a 180°.....	61
Figura 48 - Coeficiente de forma externo para telhados vento a 270°.....	62
Figura 49 - Coeficiente de pressão interna o $CP_i=-0,3$ .....	62
Figura 50 - Coeficiente de pressão interna o $CP_i=+0,2$ .....	63
Figura 51 - Ferramenta de dimensionamento.....	66
Figura 52 - Dimensionamento pórtico eixo C para Rugosidade categoria II.....	67
Figura 53 - Dimensionamento pórtico eixo D para Rugosidade categoria II.....	69
Figura 54 - Dimensionamento pórtico eixo C para Rugosidade categoria V.....	70
Figura 55 - Dimensionamento pórtico eixo D para Rugosidade categoria V.....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades Mecânicas de Aços-carbono.....	6
Tabela 2 - Propriedades Mecânicas de Aços de Baixa Liga. ....	6
Tabela 3 - Tabela com principais tipos de perfis laminados.....	12
Tabela 4 - Séries comerciais de perfis estruturais e respectivas designações.....	13
Tabela 5 - Exemplos de perfis soldados. ....	15
Tabela 6 - Valores dos coeficientes de ponderação das ações $\gamma F = \gamma_{fl} \gamma_3$ .....	30
Tabela 7 - Fatores de combinação $\Psi_0$ e de redução $\Psi_1$ e $\Psi_2$ para ações variáveis. .....	31
Tabela 8 - Parâmetros meteorológicos. ....	40
Tabela 9 - Fator $S_2$ .....	40
Tabela 10 - Valores mínimos do fator estatístico $S_3$ .....	41
Tabela 11 - Resumos dos valores $C_{pi}$ . ....	42
Tabela 12 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular.....	44
Tabela 13 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular.....	45
Tabela 14 - lista de materiais pórtico Eixo C para Rugosidade categoria II.....	68
Tabela 15 - lista de materiais pórtico Eixo D para Rugosidade categoria II.....	69
Tabela 16 - lista de materiais pórtico Eixo C para Rugosidade categoria V.....	71
Tabela 17 - lista de materiais pórtico Eixo D para Rugosidade categoria V.....	72
Tabela 18 - Deslocamentos máximos no pórtico C para Rugosidade categoria II....	73
Tabela 19 - Deslocamentos máximos no pórtico C para Rugosidade categoria II....	74
Tabela 20 - Deslocamentos máximos no pórtico C para Rugosidade categoria V....	75
Tabela 21 - Deslocamentos máximos no pórtico D para Rugosidade categoria V....	76
Tabela 22 - Comparações de aço e deslocamentos.....	77

## LISTA DE SÍMBOLOS

$S_d$	Solicitação de projeto
$R_d$	Resistência de projeto
$F_i$	Combinação de ações
$\gamma_{fi}$	Coefficiente de Segurança parcial
$F_k$	Resistência característica do material
$\gamma_m$	Coefficiente de Segurança parcial
$S_{ser}$	Valores dos efeitos estruturais de interesse
$S_{lim}$	Valores limites adotados
$F_{Gi,k}$	Valores característicos das ações permanentes
$F_{Q1,k}$	Valor característico da ação variável
$F_{Q1,k}$	Valores característicos das ações variáveis
$\Psi_{Oj,ef}$	Fatores de combinação efetivos de cada uma das ações
$F_{Q,exc}$	Valor da ação transitória excepcional.
$V_0$	Valor da velocidade básica
$V_k$	Velocidade característica do vento
$S_1$	Fator topográfico
$S_2$	Fator de rugosidade
$S_3$	Fator estatístico
$z$	Altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado
$d$	Diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro
$\theta$	Inclinação média do talude ou encosta do morro
$q$	Pressão dinâmica
$\Delta p_e$	Pressão efetiva externa
$\Delta p_i$	Pressão efetiva interna
$\Delta p$	Pressão efetiva
$C_{pe}$	Coefficiente de pressão externa
$C_{pi}$	Coefficiente de pressão interna
$F_e$	Força externa a edificação
$F_i$	Força interna à edificação
$C_e$	Coefficiente de forma externo

$C_i$       Coeficiente de forma interna

$F_a$       Força de arrasto



## LISTA DE ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
ELU	Estados limites últimos
ELS	Estados limites de Serviço
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1	Problema de pesquisa.....	1
1.2	Questão de pesquisa .....	2
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	Objetivo geral .....	2
1.3.2	Objetivos específicos .....	2
1.4	Justificativa .....	3
<b>2</b>	<b>REVISAO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
2.1	Histórico.....	4
2.2	Vantagens das Estruturas em Aço .....	4
2.3	Aço.....	5
2.3.1	Classificação.....	5
2.3.2	Propriedades do Aço .....	7
2.4	Estrutura .....	9
2.4.1	Classificação do Elementos .....	10
2.5	Perfis .....	11
2.5.1	Perfis Laminados .....	11
2.5.2	Perfis Dobrados .....	12
2.5.3	Perfis Soldados .....	14
2.6	Sistemas estruturais.....	15
2.6.1	Ligações.....	18
2.6.1.2	Ligações Soldadas .....	18
2.6.1.3	Ligações Parafusadas .....	20
2.7	Edifícios Industriais .....	21
2.7.1	Definição .....	21
2.7.2	Tesouras ou treliças .....	22

2.7.3	Colunas .....	24
2.7.4	Terças .....	24
2.7.5	Contraventos .....	25
2.8	Dimensionamento.....	26
2.8.1	Estados Limites Últimos (ELU).....	27
2.8.2	Estados Limites de Serviço (ELS).....	28
2.8.3	Ações .....	28
2.8.3.1	Combinações de Ações .....	29
2.8.3.2	Combinações para estados limites últimos .....	29
2.9	Ação do Vento .....	33
2.9.1	Definições .....	33
2.9.2	Cálculo das forças derivadas do vento .....	34
2.9.2.2	Velocidade característica do vento $V_k$ .....	36
2.9.2.2.1	Fator topográfico $S_1$ .....	36
2.9.2.2.2	Fator de rugosidade $S_2$ .....	37
2.9.2.2.3	Fator estatístico $S_3$ .....	41
2.9.2.3	Pressão dinâmica “q” .....	41
2.9.2.4	Coeficiente de pressão .....	41
2.9.2.5	Coeficiente de forma.....	43
3	METODOLOGIA .....	47
3.1	Caracterização da pesquisa.....	47
3.2	Delineamentos da pesquisa.....	47
3.3	Características da edificação .....	47
3.4	Especificações de vento.....	48
3.4.1	Velocidade básica $V_0$ .....	48
3.4.2	Fator topográfico $S_1$ .....	48
3.4.3	Fator de rugosidade $S_2$ .....	48
3.4.3	Dimensões da edificação .....	49

3.4.4	Fator Estatístico $S_3$ .....	49
3.5	Software .....	49
4.	<b>RESULTADO E ANÁLISE</b> .....	50
4.1	Modelagem da estrutura .....	50
4.2	Ações permanentes .....	52
4.3	Ações acidentais.....	53
4.4	Determinação a pressão dinâmica do vento .....	55
4.4.1	Velocidade básica do vento .....	55
4.4.2	Fator topográfico $S_1$ .....	55
4.4.3	Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno Fator $S_2$ .....	55
4.4.4	Fator estatístico $S_3$ .....	56
4.4.5	Velocidade característica .....	56
4.4.6	Pressão dinâmica .....	57
4.4.7	Coeficientes de forma externo para paredes periféricas.....	57
4.4.8	Coeficientes de forma externo para telhados com duas águas.....	61
4.4.9	Coeficientes de pressão internos $C_{Pi}$ .....	62
4.5	Cargas finais de vento.....	63
4.6	Combinações .....	64
4.6	Dimensionamento.....	65
4.7	Dimensionamento dos pórticos.....	67
4.8	Máximos deslocamentos.....	73
4.8.1	Deslocamentos pórtico C para Rugosidade categoria II .....	73
4.8.2	Deslocamentos pórtico D para Rugosidade categoria II .....	74
4.8.3	Deslocamentos pórtico C para Rugosidade categoria V .....	75
4.8.4	Deslocamentos pórtico D para Rugosidade categoria V .....	76
4.9	Dimensionamento de terças .....	76
4.10	Peso total da estrutura .....	77

4.11	Comparação de quantidade de aço e deslocamentos.....	77
5.	CONCLUSÃO .....	78
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	80
	ANEXO A – Planta baixa da estrutura.....	81
	ANEXO B – Dados técnicos telhas.....	83
	ANEXO C – Memorial de cálculo para dimensionamento de barras.....	84
	ANEXO D – Deslocamentos máximos .....	88
	Anexo E – Carga finais vento 0° e 180° para rugosidade categoria II.....	89
	ANEXO F – Carga finais vento 90° e 270° para rugosidade categoria II.....	91
	ANEXO G – Carga finais vento 0° e 180° para rugosidade categoria V .....	93
	ANEXO H – Carga finais vento 90° e 270° para rugosidade categoria V .....	95
	ANEXO I – Carga finais vento 0° e 180°, $C_{Pi}=-0,3$ para rugosidade categoria II .....	97
	ANEXO J – Carga finais vento 0° e 180°, $C_{Pi}=+0,2$ para rugosidade categoria II .....	99
	ANEXO K – Carga finais vento 90° e 270°, $C_{Pi}=-0,3$ para rugosidade categoria II .....	101
	ANEXO L – Carga finais vento 90° e 270°, $C_{Pi}=+0,2$ para rugosidade categoria II .....	103
	ANEXO M – Carga finais vento 0° e 180°, $C_{Pi}=-0,3$ para rugosidade categoria V.....	105
	ANEXO N – Carga finais vento 0° e 180°, $C_{Pi}=-0,2$ para rugosidade categoria V .....	107
	ANEXO O – Cargas finais vento 90° E 270°, $C_{Pi}=-0,3$ para rugosidade categoria V ....	109
	ANEXO P – Cargas finais vento 90° E 270°, $C_{Pi}=+0,2$ para rugosidade categoria V....	111
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	81

## **1 INTRODUÇÃO**

Soluções construtivas utilizando estrutura metálica, principalmente para construções que necessitam de grande vão livre são uma boa opção mesmo levando em consideração o alto preço de mercado do aço atualmente, pois possui uma esbeltez maior que a faz ser mais leve que muitas das demais soluções construtivas e possui um tempo de construção bem menor.

Um dimensionamento adequado é essencial para que se tenha uma estrutura segura, que vá atender as especificações dadas pelas normas, que venha a suportar as cargas que a estrutura será exposta e possua um aproveitamento ideal do dimensionamento visando o melhor proveito econômico da construção.

Quando se fala de dimensionamento, é importante considerar as cargas que atuam sobre a estrutura, e uma destas cargas são as provenientes da ação dos ventos. A experiência mostra que apenas em circunstâncias excepcionais e ocasionais há o colapso total de uma estrutura por ação de vento. E, mesmo nestes casos, em geral a falha inicial é local. Portanto, tanto do ponto de vista econômico como estrutural é importante estudar com cuidado as altas ações locais causadas pelo vento, a fim de evitar as falhas locais correspondentes; não será necessário superdimensionar a estrutura. (BLESSMANN,1991)

Devido a esta grande influência dos ventos sobre as estruturas, o presente trabalho tem como intuito explorar de demonstrar as alterações que ocorrem devido à ação destas cargas originadas pela ação do vento no dimensionamento de uma estrutura metálica.

### **1.1 Problema de pesquisa**

No dimensionamento de uma estrutura, é necessário considerar diversos tipos de cargas que exercem influência sobre ela, como as cargas permanentes, as cargas acidentais e as cargas resultantes da ação do vento. Neste trabalho acadêmico, as cargas originadas pela ação do vento serão destacadas como foco principal.

Pois estas cargas de vento, ao contrário das demais, possuem intensidades e comportamentos que variam dependendo da região e características do local onde

se encontra a estrutura, assim afetando o dimensionamento da estrutura em questão.

## **1.2 Questão de pesquisa**

Qual a influência da carga originadas pela ação do vento no dimensionamento de uma estrutura metálica de grande porte?

## **1.3 Objetivos**

Os objetivos são divididos em objetivos gerais e objetivos específicos, definidos a seguir.

### **1.3.1 Objetivo geral**

Comparar o dimensionamento de uma mesma estrutura, com as mesmas características geométricas, mesmas cargas permanentes e acidentais, porem em duas situações de vento diferentes.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos abordados dentro do objetivo geral serão os seguintes:

- Definir um sistema de pórtico treliçado para um pavilhão de 50m de largura com 100m de comprimento e 10m de pé direito.
- Desenvolver o dimensionamento da estrutura para a situação de vento de Santa Cruz do sul com o auxílio do software Mcalc.
- Desenvolver o dimensionamento da mesma estrutura para a situação de vento de acordo com a norma NBR 6123:1988 e outro dimensionamento levando em conta as características reais do local de execução.
- Avaliar o comportamento da estrutura e as alterações no dimensionamento das duas situações.

## 1.4 Justificativa

A utilização crescente de estruturas em aço na construção civil tem proporcionado soluções construtivas eficientes, mesmo considerando o alto custo atual do aço no mercado. Essas estruturas são especialmente adequadas para situações que exigem a superação de grandes vãos livres, devido à menor massa específica do aço em comparação ao concreto armado convencional. Isso resulta em estruturas mais esbeltas, com uma menor quantidade de quilogramas por metro quadrado.

O dimensionamento adequado de uma estrutura em aço é fundamental para garantir a segurança, o desempenho estrutural e a eficiência econômica da obra. Ao realizar o dimensionamento, é necessário levar em consideração as cargas que atuam na estrutura, incluindo as cargas permanentes, que têm uma ação constante, e as cargas acidentais, que possuem uma ação variável. Dentre essas cargas variáveis, destaca-se a ação dos ventos.

Portanto, a investigação detalhada da influência dos ventos no dimensionamento de estruturas em aço é de grande importância para aprimorar os projetos estruturais, garantir a segurança dos ocupantes e otimizar a eficiência econômica das construções. Este trabalho tem como propósito contribuir para o avanço do conhecimento nessa área e fornecer diretrizes fundamentais para o projeto de estruturas em aço sujeitas à ação dos ventos.



## **2 REVISAO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Histórico**

De acordo com Bellei (2003) em 1750 foram datadas as primeiras obras em aço, no momento em que se descobriu uma maneira de produzir este aço industrialmente. Foi por volta de 1780 na França que o utilizaram de forma estruturada nas escadarias do Louvre e no Teatro do Palas Royal. No entanto, a grande aplicação deste material em edifícios ocorreu nos Estado Unidos, principalmente em Chicago por volta de 1880.

No Brasil, a ponte sobre o rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro, foi inaugurada em 1857. Os vãos de 30 metros são vencidos por arcos atirantados, sendo os arcos construídos de peças de ferro fundido, montadas por encaixes e o tirante em ferro forjado. (PFEIL, 209)

Segundo Pfeil (2009) após a Segunda Guerra Mundial a indústria siderúrgica foi implantada no Brasil através da CSN – Companhia Siderúrgica Nacional com a construção da Usina Presidente Vargas, no Estado do Rio de Janeiro.

### **2.2 Vantagens das Estruturas em Aço**

O Aço se destaca por possuir algumas vantagens, sendo elas:

1- Grande resistência do material aos diversos tipos de tensão o que faz com que os elementos estruturais com uma pequena área e seção suportam grandes esforços, estes elementos mesmo possuindo uma grande densidade ( $87.850\text{kg/m}^3$ ), são soluções construtivas mais leves que as de concreto armado.

2- Possuem uma grande margem de segurança no trabalho, por ele ser um material único e homogêneo, com limites de escoamento, ruptura e módulo de elasticidade bem definidos.

3- Possuem um processo de fabricação e montagem na maioria das vezes mecanizado o que resulta em uma maior agilidade de construção diminuindo o prazo final de entrega.

4- Estruturas em aço podem ser desmontadas com facilidade, o que permite que peças sejam substituídas ou reforçadas se necessário.

5- O material que não é mais necessário neste tipo de estrutura pode ser reaproveitado.

6- Devido a maior resistência do aço permite a construção de uma estrutura mais leve o que resulta em um alívio das fundações, o que gera uma redução no custo.

7- Proporciona uma maior limpeza no campo de obra, pois gera um baixo nível de resíduos.

## **2.3 Aço**

8- O aço é a matéria prima principal utilizada nas construções metálicas, proporcionando uma fácil trabalhabilidade neste tipo de estrutura.

### **2.3.1 Classificação**

Segundo Dias (2008) o aço é uma liga metálica constituída basicamente de ferro e carbono, obtida pelo refino de ferro-gusa, que é o resultado da primeira fusão do minério de ferro, em equipamentos apropriados. Refinando o ferro-gusa ocorre a redução dos teores de carbono de silício e enxofre.

Os aços estruturais são divididos em duas classes sendo elas, aço-carbono e aços de baixa liga.

#### **Aço-Carbono(referência)**

Conforme Bellei (2003) o carbono, com contribuição do manganês são os elementos que dão um aumento de resistência ao aço.

Pfeil (2009) nos diz que esta variação de do teor carbono, é responsável por definir as três categorias de aço:

baixo carbono	$c < 0,29\%$
médio carbono	$0,30\% < c < 0,59\%$
alto carbono	$0,6\% < c < 2,0\%$

Esta elevação de resistência derivada do aumento do teor de carbono acaba diminuindo a ductilidade do aço o que pode gerar problemas de soldagem, por este fato, na maioria das estruturas é comum utilizar aço com baixo teor de carbono.

Conforme estabelecido pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), os principais tipos de aços-carbono utilizados são os estabelecidos no padrão de norma ASTM (American Society for Testing and Materials) e de normas europeias EN.

**Tabela 1 - Propriedades Mecânicas de Aços-carbono.**

Especificação	Teor de Carbono %	Limite de escoamento	Resistencia à ruptura
		$f_y$ (Mpa)	$f_u$ (Mpa)
ABNT MR250	baixo	250	400
ASTM A7		240	370-500
ASTM A36	0,25-0,29	250 (36 ksi)	400-500
ASTM A307 (parafuso)	baixo	-	415
ASTM A325 (parafuso)	médio	635 (min)	825 (min)
EN S235	baixo	235	360

Fonte: Pfeil e Pfeil (2009)

### **Aço de baixa liga**

Aços que possuem o acréscimo de elementos de liga em pequena quantidade, elementos como, cromo colúmbio, cobre, manganês molibdênio, níquel entre outros.

O acréscimo destes elementos de liga resulta em um aumento da resistência do aço, pois modifica a micro estrutura para grãos finos. Por isso, chega-se a uma resistência elevada com um baixo teor de carbono da ordem 0,20%, o que permite uma boa soldabilidade.

**Tabela 2 - Propriedades Mecânicas de Aços de Baixa Liga.**

Especificação	Principais elementos de liga	Limite de escoamento	Resistencia à ruptura
		$f_y$ (Mpa)	$f_u$ (Mpa)
ASTM A572 Gr.50	C<0,23% Mn<1,35%	345	450
ASTM A588	C<0,17% Mn<1,2% Cu<0,50%	345	485
ASTM A992	C<0,23% Mn<1,5%	345	450

Fonte: Pfeil e Pfeil (2009)

### **2.3.2 Propriedades do Aço**

As propriedades mecânicas constituem as características mais importantes dos aços, para sua aplicação no campo da engenharia, visto que o projeto e a execução das estruturas metálicas assim como a confecção dos componentes mecânicos são baseados no seu conhecimento, segundo Dias (2008).

São elas que definem o comportamento dos aços quando sujeitos a esforços mecânicos e correspondem as propriedades que determinam a sua capacidade de resistir e transmitir os esforços que lhes são aplicados, sem que se rompam ou tenham deformações excessivas, conforme Dias (2008).

#### **Elasticidade**

Segundo Bellei (2003), Elasticidade é a capacidade que tem os metais de voltar a sua forma original após sucessivos ciclos de carregamento e descarregamento.

Uma peça de aço, sob o efeito de tensão de tração ou de compressão sofre deformações, que podem ser elásticas ou plásticas. Este comportamento é devido à natureza cristalina dos metais, por ter planos de fluidez ou de menor resistência mecânica no interior do reticulado. Esta deformação elástica é reversível, o que significa que desaparece quando se remove a tensão.

#### **Ductilidade**

Ductilidade é a propriedade que confere ao aço a capacidade de sofrer deformação e não romper, sob tensões de tração.

Segundo Dias (2008) a ductilidade tem grande importância nas estruturas metálicas, pois permite a redistribuição das tensões locais elevadas. As vigas de aço dúcteis sofrem grandes deformações antes de romper, o que na prática constitui em aviso da presença de tensões elevadas.

## **Resiliência e Tenacidade**

O autor Pfeil (2009) nos diz que a capacidade de absorver energia mecânica em regime elástico, deformar, e após a retirada carga que causou a deformação, readquirir a sua forma original é chamada de resiliência, em aços quanto mais resiliente for, maior sua resistência, pois possuem um alto limite de escoamento e um módulo de elasticidade baixo.

E ainda Pfeil (2009) nos esclarece que um aço possui tenacidade quando é capaz de absorver energia elástica e plástica no momento que é submetido a uma carga de impacto. No entanto, um aço ser duro não garante que ele é tenaz.

## **Dureza**

Bellei (2003) define dureza como, uma combinação de resistência e ductilidade. Esta combinação concede ao aço a resistência à deformação plástica, geralmente por penetração, e também, uma resistência à flexão, ao risco a abrasão e ao corte.

## **Fragilidade**

Pode-se definir a fragilidade sendo o oposto da ductilidade. Conforme Pfeil (2009), os aços podem se tornar frágeis pela ação de vários agentes: baixas temperaturas ambientes, efeitos térmicos locais causados, por exemplo, por solda elétrica etc.

Pfeil segue dizendo que, o estudo das condições em que os aços se tornam frágeis tem grande importância nas construções metálicas, uma vez que os materiais frágeis se rompem bruscamente, sem aviso prévio. Dezenas de acidentes com navios, pontes, etc. foram provocados pela fragilidade do aço, decorrente de procedimento inadequado de solda.

## **Fadiga**

Se um elemento estrutural ou conexão estão sujeitos a uma variação cíclica de cargas, eles podem falhar após um certo número de aplicações, mesmo se a

máxima tensão em um simples ciclo for menor que a tensão de escoamento do material, da solda ou do parafuso Bellei (2003).

Bellei (2003) segue dizendo que, uma fissura será iniciada por meio de descontinuidade mecânica ou metalúrgica e se propaga pelo material por sucessivas repetições de carga, até que a parte afetada perca sua capacidade de suportar carga.

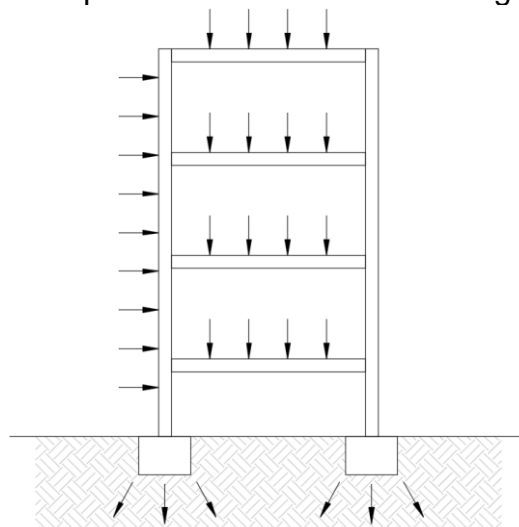
## 2.4 Estrutura

Estrutura é um conjunto de elementos unidos entre si, gerando um equilíbrio e distribuindo ao longo desta estrutura as solicitações aplicadas sobre está a mesma, transmitindo estas cargas até seus apoios ou vínculos, onde encontram um sistema de forças reativas que absorvem e suportam toda esta carga, o que garante a segurança, durabilidade, funcionalidade e sustentação da obra. (ALMEIDA, 2009)

Segundo Dias (2008), estrutura é a parte ou o conjunto de partes de uma construção que se destina a resistir a cargas.

Prossegue dizendo que, cada parte portante da construção, também denominada elemento estrutural, deve resistir aos esforços incidentes e transmiti-los a outros elementos através dos vínculos que os unem, com a finalidade de conduzi-los ao solo.

Figura 1 - Esquema de transmissão de cargas.



Fonte: Autor (2023)

### 2.4.1 Classificação do Elementos

O autor Pfeil (2009) nos diz que os principais elementos estruturais metálicos, podem ser classificados por suas dimensões, são eles:

- Elementos lineares alongados, denominados hastes ou barras.
- Elementos bidimensionais, geralmente denominados elementos planos, constituídos por placas ou chapas.

#### Hastes ou Barras

São elementos que possuem o comprimento maior em relação a sua seção. As hastes podem ser classificadas em diferentes tipos dependendo de sua solicitação predominante, sendo elas:

a) Tirantes (tração axial)

Aplicada uma solicitação de tração, seguindo o eixo da haste, que é a linha formada pelo centro de gravidade da seção, as tensões internas de tração se distribuem igualmente na seção.

b) Colunas ou escoras (compressão axial)

Seguindo o mesmo processo dos tirantes, as colunas ou escoras tem a aplicação da solicitação de compressão no eixo da haste, distribuindo igualmente as tensões internas de compressão.

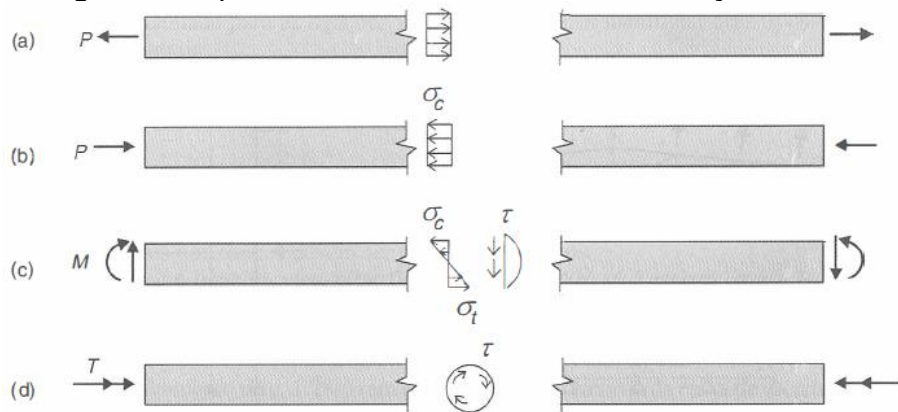
c) Vigas (cargas transversais)

Estes elementos são expostos a cargas transversais, gerando momentos fletores e esforços cortantes, o que dá origem a tensões normais de flexão e de cisalhamento.

d) Eixos (torção)

Em elementos utilizados para transmitir momentos de torção, as solicitações são cisalhantes.

Figura 2 - Tipos de haste conforme sua solicitação.



Fonte: Pfeil (2009)

## Placas ou Chapas

Possuem espessura pequena em relação à largura e ao comprimento. Estes elementos podem ser utilizados isoladamente ou como elementos de ligação.

### 2.5 Perfis

Estruturas metálicas são formadas pela união de perfis metálicos e chapas metálicas, estes elementos são fabricados em usinas e produzidos em laminadoras que por um processo contínuo, onde o metal pré-aquecido é moldado, podem ser originados de um processo descontínuo através do dobramento de chapas o que os denomina de perfis dobrados, ou também pela associação de chapas com a utilização de soldas, formando os perfis soldados.

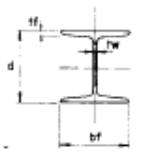



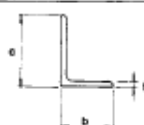
#### 2.5.1 Perfis Laminados

O processo contínuo, adequado à fabricação em série, é realizado a partir do deslocamento longitudinal de uma chapa de aço, sobre os roletes de uma linha de perfilação. Os roletes vão conferindo gradativamente à chapa, a forma definitiva do perfil. Quando o perfil deixa a linha de perfilação, ele é cortado no comprimento indicado (Silva, Pierin, Silva, 2014).



Estes perfis são caracterizados por terem uma uniformidade estrutural pois é contínuo e não possui soldas ou emendas, facilidade em conexões e encaixes por possuírem abas paralelas e retilíneas.

Tabela 3 - Tabela com principais tipos de perfis laminados.

		Dimensões	Designação (exemplo)
	Perfil H	d = 152 mm	H de 152 x 37,1 Perfil H com d = 152 mm e 37,10 kg/m
	Perfil I	d = 76 a 305 mm	I de 152 x 18,5 Perfil I com d = 152 mm e 18,50 kg/m
	Perfil U	d = 76 a 381 mm	U de 203 x 17,1 Perfil U com d = 203 mm e 17,10 kg/m
	Cantoneira de abas iguais	a = 25 a 203 mm t = 3 a 25 mm	L de 50 x 6,3 Cantoneira de abas iguais com a = 50 mm e t = 6,3 mm
	Cantoneira de abas desiguais	a x b = 89 x 64 a 203 x 102 mm t = 6 a 25 mm	L de 102 x 76 x 7,9 Cantoneira de abas desiguais com a = 102 mm b = 76 mm e t = 7,9 mm

Fonte: Bellei (2003)

### 2.5.2 Perfis Dobrados

O processo descontínuo, adequado a pequenas quantidades de perfis, é realizado mediante o emprego de uma prensa dobradeira. A matriz da dobradeira é prensada contra a chapa de aço, obrigando-a a formar uma dobra. Várias operações similares a essa, sobre a mesma chapa, fornecem à seção do perfil a geometria exigida no projeto. O comprimento do perfil está limitado à largura da prensa (Silva, Pierin, Silva, 2014).

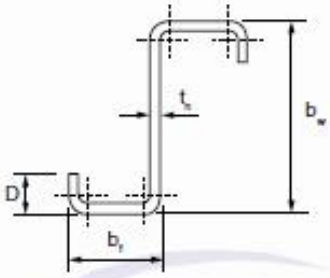
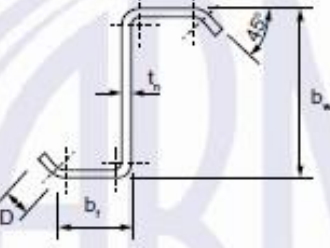
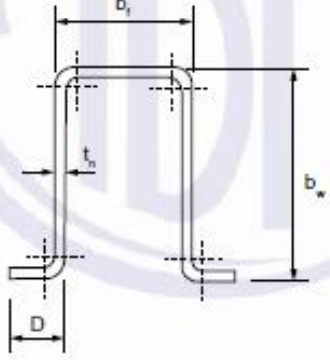
Dentre os perfis dobrados existem uma grande gama de tipo que podem ser fabricados, muitos podem ser simétricos ou não, podem ser simples ou bem complexos com várias dobras e ângulos diferentes, conforme demonstrado na **Tabela 4**

Tabela 4 - Séries comerciais de perfis estruturais e respectivas designações.

Série	Seção transversal	Designação <sup>a</sup>
Cantoneira de abas iguais	<p>Diagrama de uma cantoneira de abas iguais (L) com dimensões <math>b_1</math> e <math>t_1</math>.</p>	$L\ b_1 \times t_1$ Exemplo: L 50 × 3,00
U simples	<p>Diagrama de um perfil U simples com dimensões <math>b_1</math>, <math>b_2</math> e <math>t_1</math>.</p>	$U\ b_W \times b_1 \times t_1$ Exemplo: U 150 × 50 × 2,65
U enrijecido	<p>Diagrama de um perfil U enrijecido com dimensões <math>b_1</math>, <math>b_2</math>, <math>t_1</math> e <math>D</math>.</p>	$Ue\ b_W \times b_1 \times D \times t_1$ Exemplo: Ue 150 × 60 × 20 × 2,65

Fonte: NBR 6355 (2012)

Tabela 4 – Conclusão.

Série	Seção transversal	Designação <sup>a</sup>
Z enrijecido a 90°		$Z_{90} b_w \times b_l \times D \times t_n$ Exemplo: $Z_{90} 200 \times 75 \times 20 \times 2,25$
Z enrijecido a 45°		$Z_{45} b_w \times b_l \times D \times t_n$ Exemplo: $Z_{45} 200 \times 75 \times 20 \times 2,25$
Cartola		$Cr b_w \times b_l \times D \times t_n$ Exemplo: $Cr 100 \times 50 \times 20 \times 3,35$

<sup>a</sup> As dimensões devem ser apresentadas em milímetros.

Fonte: NBR 6355 (2012)

### 2.5.3 Perfis Soldados

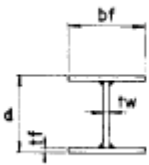
Dada a grande versatilidade de combinações de espessuras com alturas e larguras, os perfis soldados, compostos a partir de três chapas, são largamente empregados nas estruturas metálicas. Com estes produtos, o projetista passa a ter opções muito variadas e grande liberdade, segundo Bellei (2003).

A ABNT através da NBR 5884:1980 faz a padronização de três series, visando facilitar o processo de cálculo e projeto de estruturas, são eles:

- **Série CS:** perfis soldados tipo pilar com relação  $\frac{d}{d_f} = 1$
- **Série CVS:** perfis soldados tipo viga-pilar com relação  $1 < \frac{d}{d_f} \leq 1,5$

- **Série VS** :perfis soldados tipo viga com relação  $1,5 < \frac{d}{d_f} \leq 4$ .

Tabela 5 - Exemplos de perfis soldados.

Tipo	Altura (mm)	Designação (exemplo)
	CS de 200 a 650 CVS de 200 a 650 VS de 200 a 1.500 PS não-padrão	VS 900 x 124 VS com $d = 900$ mm e 124 kg/m (PS 400 x 200)*

\* A ser fornecido pelo projetista

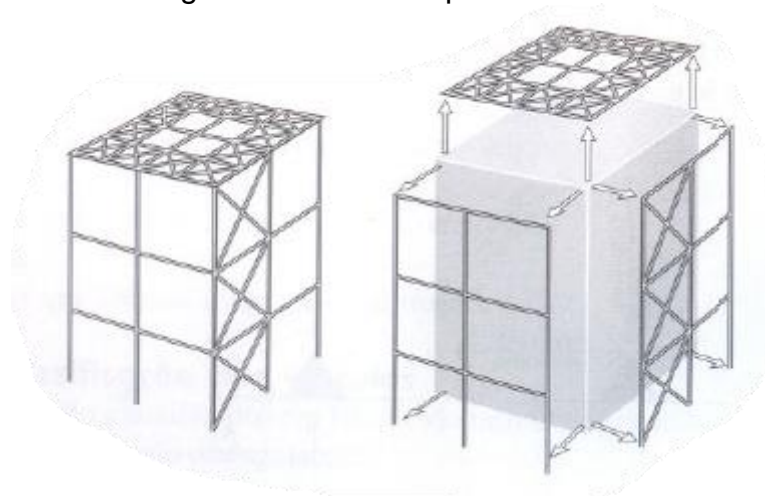
Fonte: Bellei (2003)

## 2.6 Sistemas estruturais

De acordo com autor Pfeil (2009) a combinação dos elementos lineares, como tirantes, colunas e vigas formam os sistemas de elementos lineares, desta forma, constituindo as estruturas portantes das construções civis.

No entanto Dias (2008) nos diz que estruturas formadas por barras vinculadas entre si, são denominadas de pórticos espaciais. E o autor segue, dizendo que é possível analisar isoladamente cada subconjunto deste pórtico como se fossem estruturas independentes ligadas umas nas outras por vínculos, isto é, as reações do apoio de deste subconjunto será a carga do outro que serve de apoio para o mesmo.

Figura 3 - Pórtico Espacial.



Fonte: Dias (2009)

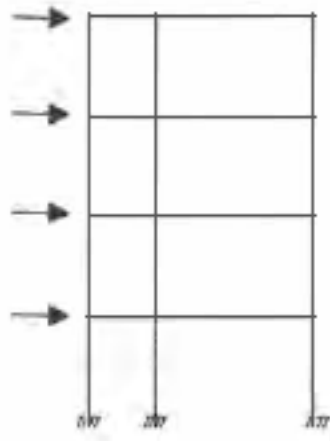
Pfeil (2009) e Dias (2008) nos destacam os seguintes subconjuntos como os mais facilmente identificáveis em uma estrutura:

a) Pórtico plano

É a estrutura formada por barras coplanares e submetida a cargas pertencentes a esse mesmo plano, Dias (2008).

Segundo Pfeil (2009), pórticos são sistemas formados por associação de hastes retilíneas ou curvilíneas com ligações rígidas entre si.

Figura 4 - Pórtico Plano.



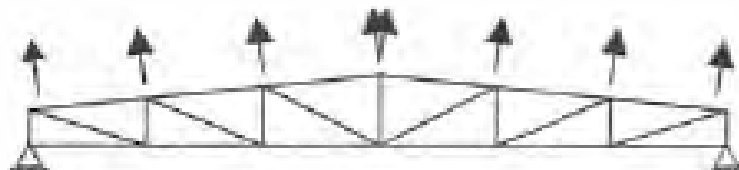
Fonte: Pfeil e Pfeil (2009)

b) Treliça plana

Conforme Dias (2008) a treliça plana é formada por barras coplanares articuladas entre si e submetida a cargas normais.

Em treliças as hastes atuam principalmente a tração ou compressão simples. O modelo teórico de análise estrutural da treliça tem os nós rotulados, no entanto na prática, a construção das treliças apresenta nós rígidos, os quais geram momentos fletores nas hastes. Porém com a esbelteza destas hastes, as tensões resultantes são pequenas. (PFEIL, 2009)

Figura 5 - Treliça Plana.

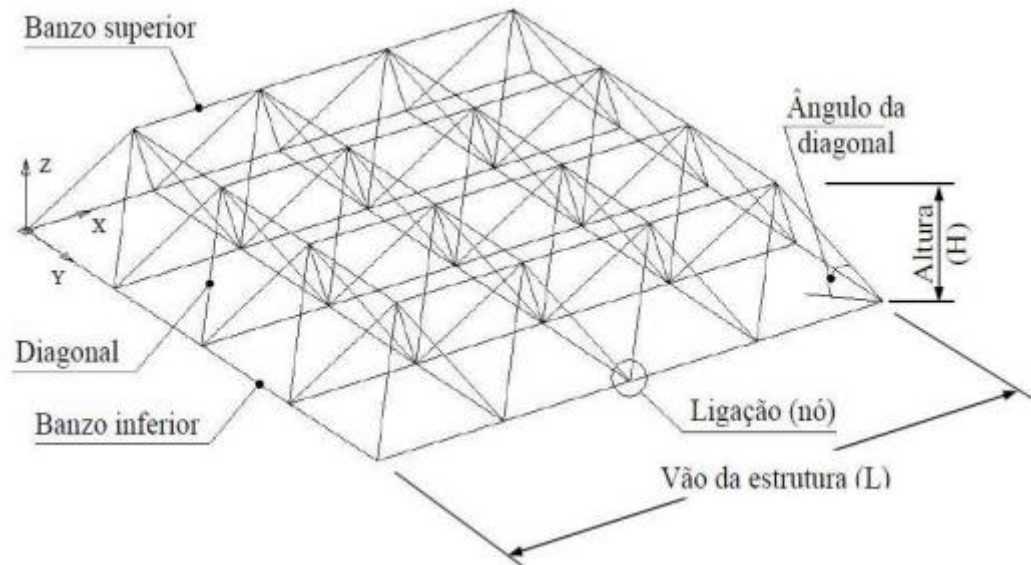


Fonte: Pfeil e Pfeil (2009)

### c) Treliça espacial

Segundo Dias (2008) chama-se treliça espacial, a estrutura formada por barras não-coplanares articuladas entre si e submetida a cargas nodais.

Figura 6 - Treliça Espacial.



Fonte: Freitas (2008)

### d) Grelha plana.

Pfeil (2009), diz que a utilização de grelhas ocorre em pisos de edifícios e superestruturas de pontes. As grelhas planas são formadas por dois feixes de vigas ortogonais ou oblíquas, suportando conjuntamente cargas atuando na direção perpendicular ao plano da grelha.

Conforme Dias (2008), grelha é a estrutura formada por barras coplanares e submetidas a cargas pertencentes a planos ortogonais ao da estrutura.

Figura 7 - Grelha plana.



Fonte: Pfeil (2009)

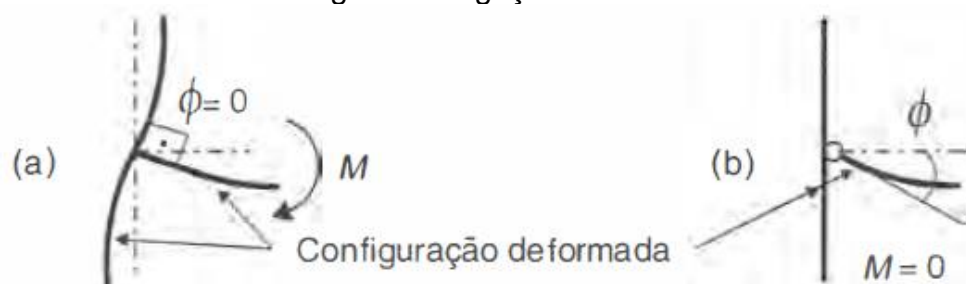
### 2.6.1 Ligações

De acordo com Pfeil (2009) em estruturas de aço o seu funcionamento depende principalmente do comportamento de suas ligações. Conforme o autor, estas ligações determinam o esquema estrutural representativo de pórticos treliças e demais sistemas estruturais.

Tem-se dois tipos de comportamentos de ligações, as ligações perfeitamente rígidas, ligações essas que restringem completamente a rotação relativa entre os elementos lineares,  $\phi=0$ , o que significa que os eixos dos elementos se mantêm em  $90^\circ$  após a deformação, e ligações rotuladas, estas deixam livres a rotação relativa entre os elementos  $\phi$ .

Mesmo com várias opções de materiais, como cantoneiras e chapas, estas ligações ideais, na prática são difíceis de serem fielmente executadas.

Figura 8 - Ligações.



(a) ligação perfeitamente rígida; (b) ligação rotulada.

Fonte: Pfeil (2009)

#### 2.6.1.2 Ligações Soldadas

A soldagem é a técnica de unir duas ou mais partes em de um todo, assegurando entre elas a continuidade do material e em consequência suas características mecânicas e químicas. BELLEI (2003)

Segundo Pfeil (2009) as soldas mais utilizadas na construção civil são as que utilizam energia elétrica. Nestes casos o arco voltaico produz o calor que provoca a fusão do aço. Nas técnicas de solda mais utilizadas o arco voltaico ocorre entre o eletrodo metálico e o aço a soldar, fazendo o acréscimo de material do eletrodo.

Pfeil (2009) nos traz os seguintes tipos de soldas mais utilizadas:

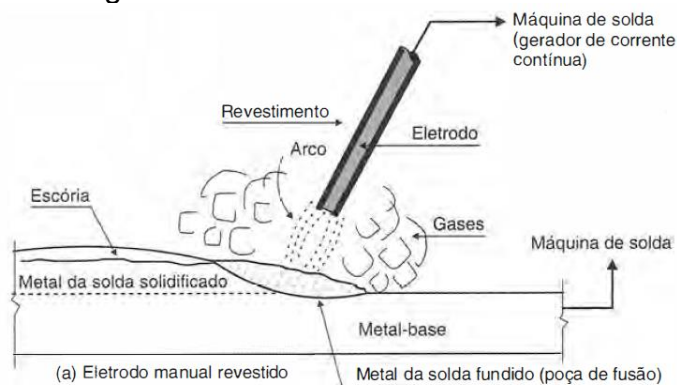
a) Eletrodo manual revestido – Neste tipo o revestimento é consumido junto com o eletrodo, transformando uma parte em gases inertes e outra parte em escória. **Fig. 9**

b) Arco submerso em material granular fusível – o eletrodo é um fio metálico sem revestimento, entretanto o arco voltaico e o metal fundido ficam isolados pelo material granular. **Fig. 10**

c) Arco elétrico com proteção gasosa – O eletrodo é um arame sem revestimento e a proteção da poça de fusão é feita pelo fluxo de gás lançado pela tocha de soldagem. Este tipo de soldagem também é conhecido como MIG/MAG. **Fig. 11**

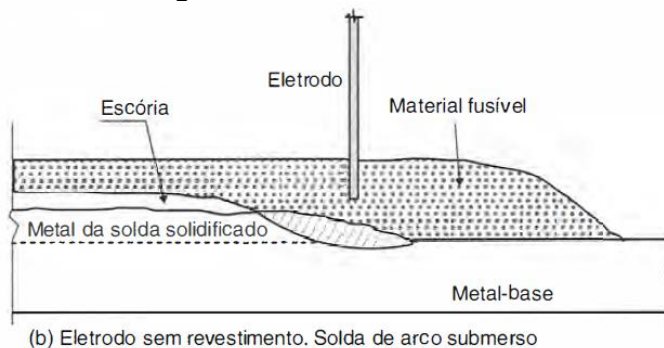
d) Arco elétrico com fluxo no núcleo – O eletrodo é um tubo fino preenchido com o material que protege a poça de fusão.

Figura 9 - Eletrodo manual revestido.



Fonte: Pfeil (2009)

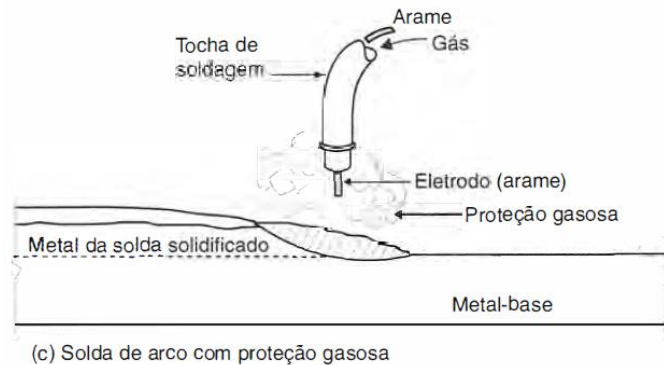
Figura 10 - Arco submerso.



Fonte: Pfeil (2009)



Figura 11 - Arco com proteção gasosa.

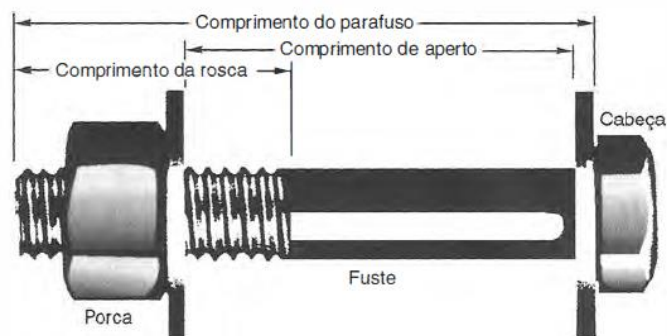


Fonte: Pfeil (2009)

### 2.6.1.3 Ligações Parafusadas

Conforme Bellei (2003) ligações parafusadas, bem como as ligações soldadas, são empregadas em grande escala nas ligações de partes das estruturas nas montagens finais de campo e nas de fábrica.

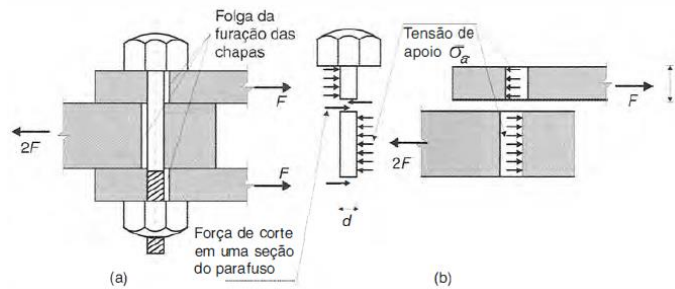
Figura 12 - Parafuso com porca sextavada.



Fonte: Pfeil (2009)

De acordo com Pfeil (2009) existem dois tipos de parafusos, sendo eles comuns e de alta resistência. Parafusos comuns são forjados de aço-carbono de baixo teor de carbono, segundo as especificações da norma American Society for Testing and Materials ASTM A307. Parafusos comuns são utilizados em ligações do tipo apoio ou contato, transferindo os esforços de tração entre as chapas, esta transição se dá por apoio entre as chapas e o fuste do parafuso e por esforço de corte na seção transversal do parafuso, conforme ilustrado na **Fig. 13**

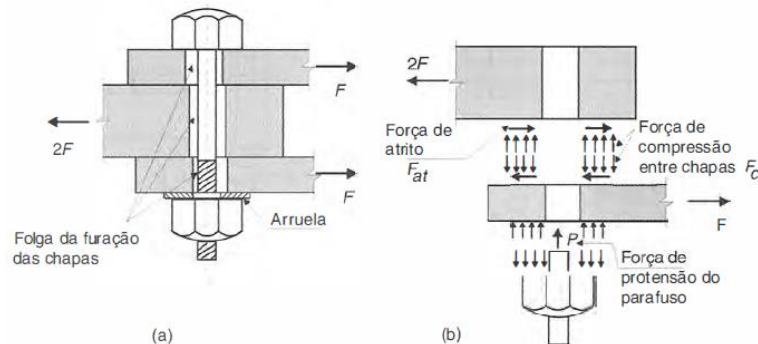
Figura 13 - Ligação tipo apoio.



(a)esquema da ligação; (b) diagrama de forças nas chapas e no parafuso.  
 Fonte: Pfeil (2009)

Parafusos de alta resistência, estes parafusos são fabricados com aço tratados termicamente, seguindo a norma ASTM A325, que traz as especificações de aço-carbono temperado. Este tipo de parafuso é utilizado quando se deseja impedir qualquer movimento entre as chapas de conexão, o que resulta em uma ligação do tipo atrito, de acordo com a **Fig. 14**

Figura 14 - Ligação tipo atrito.



(a)esquema da ligação; (b) diagrama de forças nas peças.  
 Fonte: Pfeil (2009)

## 2.7 Edifícios Industriais

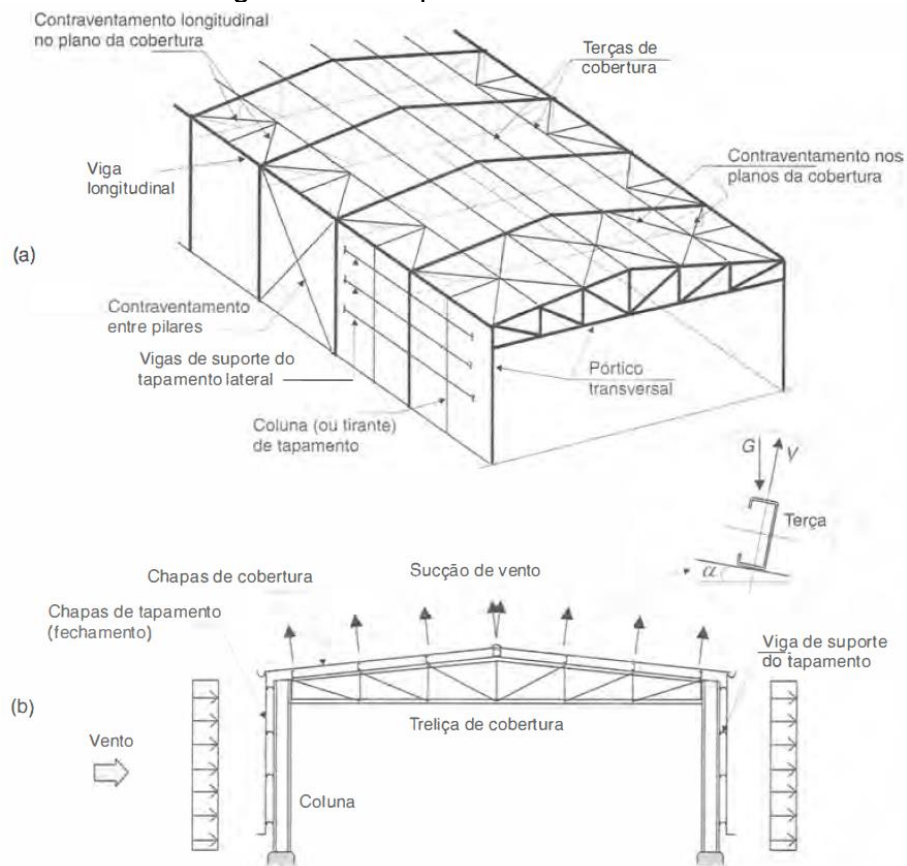
### 2.7.1 Definição

Bellei (2003) define edifícios industriais como construções normalmente constituídas por um pavimento, que tem a finalidade de cobrir grandes áreas. Na atualidade estes edifícios podem ser feitos com uma grande quantidade de materiais, tais como: aço, madeira, concreto, alumínio; eles sendo utilizados individualmente

ou em conjunto com outros. O autor Bellei (2003), destaca que o material mais versátil e o mais empregado na construção destes edifícios é o aço.

Segundo Pfeil (2009), o sistema portante principal geralmente utilizado é o pórtico transversal formado pela associação rígida entre duas colunas e treliças de cobertura, a função deste pórtico é resistir à ação do vento nas fachadas longitudinais e na cobertura, além das cargas gravitacionais.

Figura 15 - Galpão metálico.



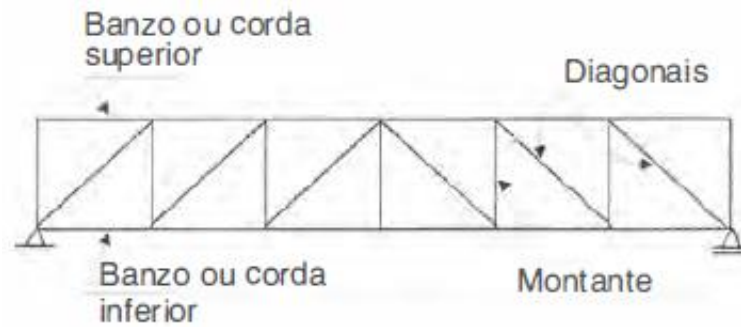
(a) Esquema tridimensional; (b) Pórtico transversal sobre ação do vento

Fonte: Pfeil (2009)

### 2.7.2 Tesouras ou treliças

Segundo Pfeil (2009), as treliças utilizadas em coberturas têm, no seu geral, o banzo superior inclinado, e as utilizadas em apoios de pisos e pontes tem banzos paralelos. O autor afirma que, treliças são compostas por segmentos de hastes, unidos em pontos chamados de nós, resultando em uma configuração geométrica estável, de base triangular, que pode ser isostática ou hiperestática.

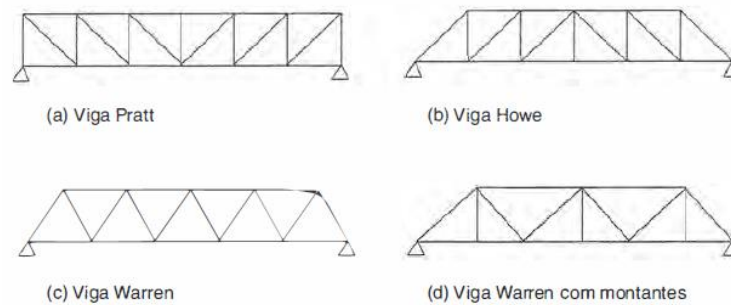
Figura 16 - Componentes de uma treliça.



Fonte: Pfeil (2009)

As configurações geométricas mais comuns são designadas por nomes próprios, tais como, Pratt, Howe e Warren.

Figura 17 - Treliças de banzo paralelo.



Fonte: Pfeil (2009)

Treliças com banzo superior inclinado são chamadas de tesouras, na **Fig.18**. A tesoura (a) têm seus montantes perpendiculares ao banzo inferior, nesse caso os montantes são tracionados e as diagonais comprimidas. Já a tesoura (b) têm seus montantes perpendiculares ao banco superior que atuam comprimidos, fazendo com que os montantes sejam mais curtos, isso resulta em uma alternativa mais econômica.

Figura 18 - Treliças de banzo inclinado.



Fonte: Pfeil (2009)

### 2.7.3 Colunas

Bellei (2003) nos define coluna como elementos que tem a função de transmitir até as fundações as cargas originadas das outras partes da estrutura. Estruturalmente estas colunas podem ser divididas em dois tipos, colunas principais e colunas secundárias. As colunas principais são as que suportam a maior parcela das cargas e secundárias são as que suportam a menor parcela da carga.

Conforme Bellei (2003), pode-se dividir a coluna em três partes principais:

Fuste: que é o elemento portante básico da coluna;

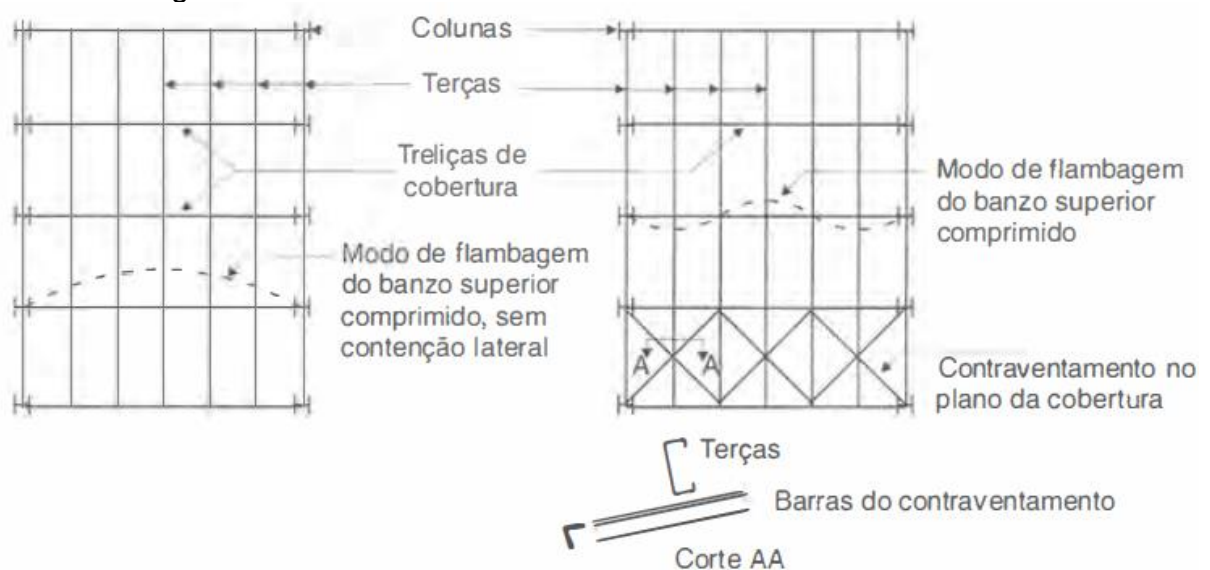
Ponto de ligação: serve como apoio para as outras partes da estrutura;

Base: tem como função transmitir as cargas para as fundações, além de fixá-las. Fixações estas que se dividem em rotuladas e engastadas.

### 2.7.4 Terças

Para Pfeil (2009), terças são vigas longitudinais dispostas nos planos da cobertura e tem a função de transferir para a estrutura as cargas que atuam naquele plano, como o peso do telhamento e sobrepessões e sucções devidas ao vento. Estas cargas de vento produzem nas terças uma flexão reta em torno do eixo de maior inercia, porem as cargas gravitacionais produzem flexão oblíqua.

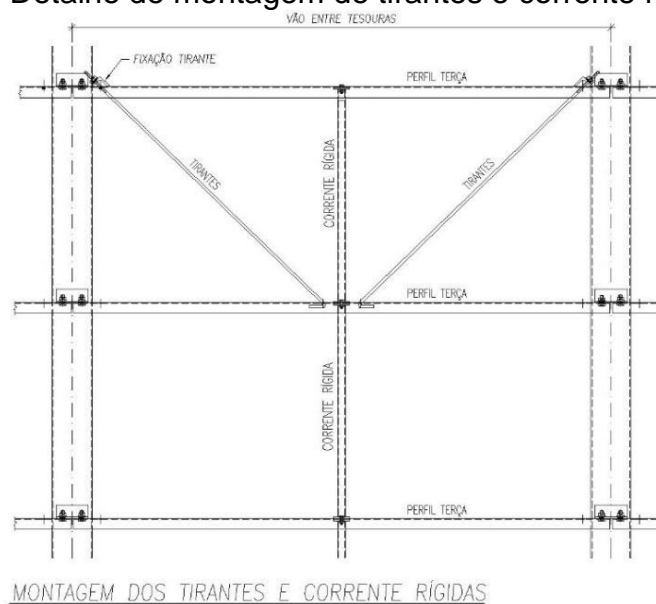
Figura 19 - Plantas de cobertura sem e com contraventamento.



Fonte: Pfeil (2009)

Conforme demonstrado na Fig. 20, o sistema de travamento destas terças geralmente é feito por correntes rígidas que ficam posicionadas entre as teça, o que liga elas entre si. Em conjunto com os tirantes que são barras posicionadas na diagonal ligando uma linha de terça a outra, formando um triângulo composto por terça, corrente e tirante, fazendo assim o travamento das terças evitando a sua flambagem. Normalmente coloca-se os tirantes no primeiro vão de terças e no último quando necessário.

Figura 20 - Detalhe de montagem de tirantes e corrente rígida.



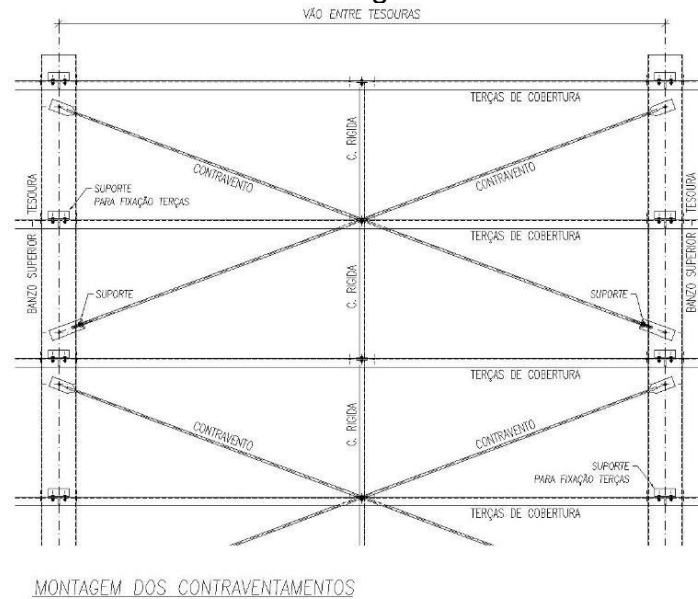
Fonte: Autor (2023)

### 2.7.5 Contraventos

O sistema de contraventamento de cobertura e fechamento geralmente são compostos por barras associadas em formato de X compondo o sistema treliçado. Estes elementos essencialmente têm a função de fornecer estabilidade espacial ao conjunto, além de distribuir as cargas de vento. PFEIL (2009)

Conforme o mesmo autor, no plano da cobertura o contravento é essencial para a estabilidade lateral do banzo superior da treliça, comprimido por ação das cargas gravitacionais.

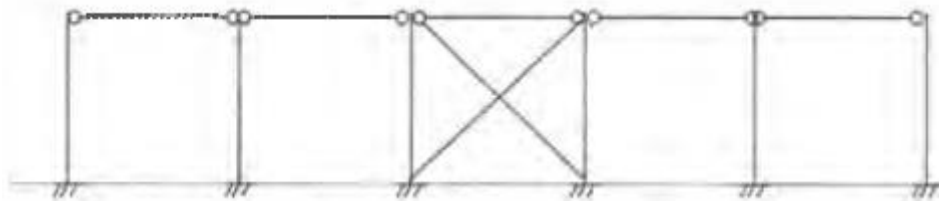
Figura 21 - Detalhe de montagem de contraventos.



Fonte: Autor (2023)

Na Fig. 23 observa-se um esquema longitudinal da estrutura caracterizado pelas ligações flexíveis. Nesta situação é essencial a aplicação de contraventamento vertical em pilares para ter a rigidez na direção longitudinal ao conjunto e absorver as cargas de vento atuando nas fachadas transversais e transferi-las às fundações.

Figura 22 - Vista longitudinal com contraventamento de pilares.



Fonte: Pfeil (2009)

## 2.8 Dimensionamento

O dimensionamento de uma estrutura é o processo de cálculo para definir as seções e dimensões do elemento que farão parte da estrutura, levando em conta todas as cargas atuantes, fatores de segurança estabelecidos por norma e o melhor esquema estrutural para garantir que a estrutura seja estável e segura.

Conforme o autor Souza (2010) atualmente o método dos estados limites é o método de dimensionamento mais difundido. Neste método a segurança é

introduzida de forma qualitativa, as ações, solicitações e resistência dos materiais são tratadas de forma semiprobabilística.

Souza (2010) nos afirma que para a aplicação deste tipo de método é preciso entender o comportamento da estrutura com relação ao seu desempenho estrutural, sendo assim, possíveis modos de falhas e respostas às ações impostas em condições normais de utilização.

Pfeil (2009) diz que, o estado de limite ocorre sempre que a estrutura deixa de satisfazer um de seus objetivos. Estes estados se dividem em: Estados limites últimos (ELU) e Estados limites de Serviço (ELS)

### 2.8.1 Estados Limites Últimos (ELU)

Os Estados limites últimos (ELU), estão ligados ao colapso total ou parcial da estrutura provocado por escoamento ou plastificação de seus elementos, perda de estabilidade, transformação da estrutura do mecanismo, entre outros. Sendo assim, está relacionado à segurança da estrutura para as combinações de ações mais desfavoráveis ao longo da vida útil, durante a construção ou em situações que atuem carregamentos especiais ou excepcionais. SOUZA (2010)

A verificação do estado limite último é dada pela seguinte equação de conformidade, para cada seção da estrutura:

$$S_d < R_d$$

Onde  $S_d = S(\sum \gamma_{fi} F_i)$  representa as solicitações de cálculo, que são os efeitos gerados por combinações apropriadas de ações de cálculos aplicadas à estrutura.  $R_d = R(\frac{F_k}{\gamma_m})$ , representa a resistência de cálculo, que é o limite de resistência associada a uma determinada forma de colapso. SOUZA (2010)

Segundo Pfeil (2009) a solicitação de projeto  $S_d$  é menor que a resistência de projeto  $R_d$ . A solicitação de projeto é obtida a partir de uma combinação de ações  $F_i$  cada uma majorada pelo coeficiente  $\gamma_{fi}$ , enquanto a resistência de projeto é função da resistência característica do material  $F_k$ , minorado pelo coeficiente  $\gamma_m$ . Os coeficientes de  $\gamma_f$ , de majoração de ações, e  $\gamma_m$ , coeficiente de redução de resistência interna, refletem as variabilidades dos valores característicos dos diversos carregamentos, das propriedades mecânicas do material e outros fatores como discrepâncias entre o modelo estrutural e o sistema real.



$F_i$  - Referente à combinação de ações;

$\gamma_{fi}$  – Coeficiente de Segurança parcial aplicada às ações

$F_k$  – Resistência característica do material;

$\gamma_m$  - Coeficiente de Segurança parcial, aplicada às resistências;

### 2.8.2 Estados Limites de Serviço (ELS)

Para Souza (2010), Estados limites de serviços (ELS) estão relacionados ao comportamento da estrutura em condições de utilização, visando preservar as condições normais de uso da edificação, o conforto dos usuários e a integridade de subsistemas complementares que interagem com a estrutura. Deformações excessivas e vibrações são exemplos de estados limites de serviço.

Para a verificação do ELS Souza (2010) nos diz que a expressão de desigualdade que define as condições usuais de efeitos referentes aos estados limites de serviço, é dada por:

$$S_{ser} \geq S_{lim}$$

Sendo que  $S_{ser}$  representa os valores dos efeitos estruturais de interesse, obtidos com base nas combinações de serviço, e  $S_{lim}$  representa os valores limites adotados para esses efeitos em cada caso específico.

### 2.8.3 Ações

Conforme a ABNT NBR 8800:2008 deve-se considerar a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a estrutura, levando em conta os estados limites ELU e ELS.

A ABNT NBR 8681:2003 classifica estas ações em permanentes, variáveis e excepcionais.

O autor Souza (2010) define estas ações da seguinte forma:

- **Ações Permanentes:** não variam de forma significativa em intensidade, direção ou pontos de aplicação durante a vida útil da estrutura. A ação permanente é formada pelo peso próprio da estrutura e dos elementos fixos não estruturais, como vedações e revestimentos. Exemplos: peso próprio da estrutura, revestimento, alvenaria, etc.

- Ações Variáveis: apresentam variações significativas durante a vida útil da estrutura em intensidade, direção ou sentido. Exemplo: sobrecargas de utilização, ação de vento, variação de temperatura, pontes rolantes, etc.
- Ações excepcionais: tem baixa probabilidade de ocorrência, com duração bastante curta em comparação com a vida útil da estrutura. Exemplos: explosões, impactos ações sísmicas, etc.

### 2.8.3.1 Combinações de Ações

Também para Souza (2010) as combinações de ações devem ser feitas de várias maneiras diferentes com o objetivo de determinar os efeitos mais nocivos para a estrutura. Sendo assim, cada carregamento é composto por combinações específicas de ações.

### 2.8.3.2 Combinações para estados limites últimos

As combinações para estados limites últimos (ELU), conforme Souza (2010), podem ser classificadas como normais, especiais e excepcionais.

- Combinações últimas normais: originam-se do uso normal e previsto. (NBR 8800:2008)

Aplica-se a Seguinte Expressão:

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

Onde:

$F_{G_{i,k}}$  refere-se aos valores característicos das ações permanentes;

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

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

- Combinações últimas especiais: derivam da atuação das ações variáveis de natureza ou intensidade especial, que os efeitos superam em intensidade os efeitos produzidos pelas ações consideradas nas ações normais. (NBR 8800:2008)

Aplica-se a Seguinte Expressão:

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

Onde:

$F_{Q_{1,k}}$  Valor característico da ação variável especial;

$\Psi_{0j,ef}$  são os fatores de combinação efetivos de cada uma das ações variáveis que podem atuar simultaneamente com a ação variável especial  $F_{Q_{1,k}}$ ;

- Combinações últimas excepcionais: decorrem da atuação de ações excepcionais que podem provocar efeitos catastróficos. (NBR 8800:2008)

Aplica-se a Seguinte Expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{G_{i,k}}) + F_{Q,exc} + \sum_{j=1}^n (\gamma_{qj} \Psi_{0j,ef} F_{Q_{j,k}}) \quad (3)$$

Onde:

$F_{Q,exc}$  valor da ação transitória excepcional.

Tabela 6 - Valores dos coeficientes de ponderação das ações  $\gamma_F = \gamma_{fl} \gamma_3$ .

Combinações	Ações permanentes ( $\gamma_g$ ) <sup>a,c</sup>					
	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 ( $\gamma_q$ ) <sup>a,d</sup>					
	Efeito da temperatura <sup>b</sup>	Ação do vento	Ações truncadas <sup>e</sup>	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação		
	Normais	1,20	1,40	1,20	1,50	
Especiais ou de construção	1,00	1,20	1,10	1,30		
Excepcionais	1,00	1,00	1,00	1,00		

Fonte: NBR 8800:2008

a- Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes para as ações permanentes favoráveis à segurança, ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não devem ser incluídas nas combinações (NBR 8800:2008);

b- O efeito de temperatura citado não inclui o gerado por equipamentos, o qual deve ser considerado ação decorrente do uso e ocupação da edificação (NBR 8800:2008);

c: Nas combinações normais, as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas todas agrupadas, com coeficientes de ponderação igual a 1,35 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m<sup>2</sup> ou 1,40 quando isso não ocorrer. Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,25 e 1,30, e nas combinações excepcionais, 1,15 e 1,20 (NBR 8800:2008);

d- Nas combinações normais, se as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança forem agrupadas, as ações variáveis que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas também todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,50 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m<sup>2</sup>, ou 1,40 quando isso não ocorrer (mesmo nesse caso, o efeito da temperatura pode ser considerado isoladamente, com o seu próprio coeficiente de ponderação). Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são, respectivamente, 1,30 e 1,20, e nas combinações excepcionais, sempre 1,00 (NBR 8800:2008);

e- Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo físico, de modo que o valor dessa ação não possa superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado nessa tabela se aplica ao valor-limite (NBR 8800:2008).

Tabela 7 - Fatores de combinação  $\Psi_0$  e de redução  $\Psi_1$  e  $\Psi_2$  para ações variáveis.

Ações		$\gamma_{f2}$ <sup>a</sup>		
		$\Psi_0$	$\Psi_1$ <sup>d</sup>	$\Psi_2$ <sup>e</sup>
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 <sup>b)</sup>	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 <sup>c</sup>	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1)	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
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4

Fonte: NBR 8800:2008

a- Valores reduzidos, em função da combinação de ações (NBR 8800:2008);

- b- edificações residenciais de acesso restrito (NBR 8800:2008);
- c- edificações comerciais, de escritórios e de acesso público (NBR 8800:2008);
- d- Para estado-limite de fadiga, usar  $\Psi_1 = 1,0$  (NBR 8800:2008);
- e- Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para  $\Psi_2 = 0$  (NBR 8800:2008).

### 2.8.3.3 Combinações para estados limites de serviço

Segundo Souza (2010) deve-se utilizar ações normais para a verificação dos estados limites de serviço, isto é, o coeficiente de ponderação das ações  $\gamma_f = 1,0$ . Estas combinações de ações podem ser classificadas em quase permanentes, frequentes e raras.

- Combinações quase permanentes: são as ações que podem atuar durante grande parte do período da vida da estrutura. (NBR 8800:2008)

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{G_i,k} + \sum_{j=1}^n (\Psi_{2j} F_{Q_j,k}) \quad (4)$$

Onde:

$\Psi_2 F_{Q_j,k}$  refere-se aos valores quase permanentes das ações.

- Combinações frequentes: são as combinações que se repetem várias vezes durante o período de vida da estrutura, na ordem de  $10^5$  vezes em 50 anos, ou tendo uma duração de 5% da vida útil da estrutura. (NBR 8800:2008)

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{G_i,k} + \Psi_1 F_{Q_1,k} + \sum_{j=2}^n (\Psi_{2j} F_{Q_j,k}) \quad (5)$$

Onde:

$F_{Q_1,k}$  é a ação variável principal com seu valor frequente  $\Psi_1 F_{Q_1,k}$

$\Psi_2 F_{Q_j,k}$  são as ações variáveis restantes com seus valores quase permanentes.

- Combinações raras: são aquelas que podem atuar no máximo algumas horas durante o período de vida da estrutura. Estas combinações são utilizadas para os estados-limites irreversíveis, ou seja, ações que causam danos permanentes à estrutura. (NBR 8800:2008)

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{G_{i,k}} + F_{Q_{1,k}} + \sum_{j=2}^n (\Psi_{1j} F_{Q_{j,k}}) \quad (6)$$

Onde:

$F_{Q_{1,k}}$  é a ação variável principal com seu valor característico;

$\Psi_{1j} F_{Q_{j,k}}$  são todas as demais ações com seus valores frequentes.

## 2.9 Ação do Vento

A ação dos ventos sobre estruturas metálicas são as mais importantes a se levar em conta, quando fala-se de dimensionamento, pois impacta de diversas maneiras no resultado final do projeto. Também, influência no material a ser empregado, na geometria dos elementos estruturais, no formato da construção e no aproveitamento do terreno.

Conforme Blessmann (2001) não se considerava o vento um problema nas construções que eram baixas e possuíam paredes grossas e pesadas. Porém, passou a ser, quando mais frequentemente as construções passaram a ser mais esbeltas, utilizando menos material, fato que as deixa mais leves.

Para efeito de cálculo das forças derivadas do vento são seguidas as ponderações estabelecidas pela Norma Brasileira NBR 6123:1988.

### 2.9.1 Definições

Para o processo de cálculo da ação dos ventos a Norma Brasileira NBR 6123:1988, nos traz algumas definições de termos e nomenclaturas a serem adotados, sendo os seguintes:

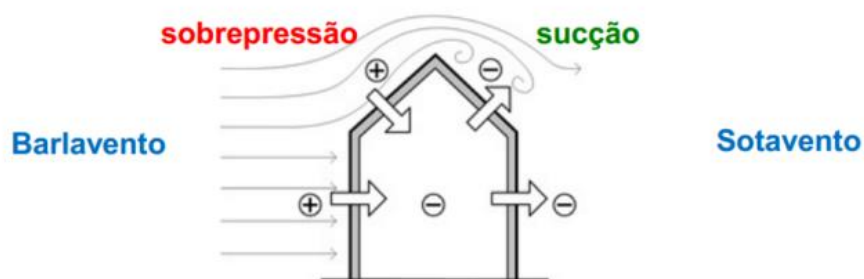
**Barlavento** - Região onde sopra o vento, em relação à edificação.

**Sotavento** - Região oposta àquela que sopra o vento, em relação à edificação.

**Sobrepressão** - É a pressão efetiva acima da pressão atmosférica de referência (sinal positivo).

**Sucção** - Pressão efetiva abaixo da pressão atmosférica de resistência (sinal negativo).

Figura 23 - Definições de vento.



Fonte: Material de aula UNISC

**Reticulado** - Toda estrutura constituída por barras retas.

**Superfície frontal** - Superfície definida pela projeção ortogonal da edificação, estrutura ou elemento estrutural sobre um plano perpendicular à direção do vento ("superfície de sombra")

**Vento básico** - Vento que corresponde a velocidade  $V_0$ .

**Vento de alta turbulência** - Uma edificação pode ser considerada em vento de alta turbulência quando sua altura não excede duas vezes a altura média das edificações nas vizinhanças.

**Vento de baixa turbulência** - Vento que se verifica em todos os demais casos.

### 2.9.2 Cálculo das forças derivadas do vento

A Norma Brasileira NBR 6123:1988 nos mostra que as forças derivadas ao vento em uma edificação devem ser calculadas separadamente para:

- a) Elemento de vedação e suas fixações (telhas, vidros, esquadrias, painéis de vedação, etc.);
- b) Partes da estrutura (telhados, paredes, etc.);

c) A estrutura como um todo.

Bellei (2003) e a NBR 6123:1988, dizem que para efetuar o cálculo da pressão dinâmica  $q$ , deve-se encontrar o valor da velocidade básica  $V_0$  e a velocidade característica do vento  $V_k$ .

### 2.9.2.1 Velocidade básica do vento $V_0$

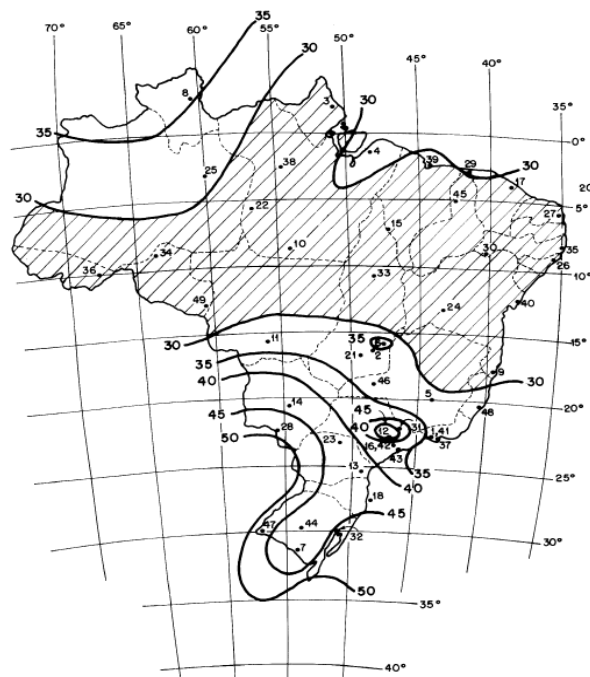
Conforme a NBR 6123:1988, a velocidade básica do vento,  $V_0$ , é a velocidade de uma rajada de 3s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10m acima do terreno, em campo aberto plano.

E ainda de acordo com a NBR 6123:1988, pode-se admitir que o vento básico pode soprar em qualquer direção na horizontal.

De acordo com Bellei (2003) a determinação das velocidades básicas, foi feita sobre um processo estático com os valores máximos anuais coletadas em aproximadamente 49 cidades brasileiras, no período de 1957 a 1974, levando em consideração um tempo de retorno de 50 anos, o que se refere a vida útil média de uma edificação.

Estas velocidades básicas coletadas ao longo do tempo foram representadas no gráfico das isopletas representado na **Fig. 24**.

Figura 24 - Isopleta da velocidade básica  $V_0$ (m/s).



Fonte: NBR 6123:1988



Nesta isopleta a Norma Brasileira NBR 6123:1988 despreza as velocidades  $V_0$  menores que 30 m/s.

### 2.9.2.2 Velocidade característica do vento $V_k$

Conforme a NBR 6123:1988 a velocidade característica do vento  $V_k$  é resultado da multiplicação da velocidade básica de vento  $V_0$  fatores " $S_1$ ", " $S_2$ " e " $S_3$ ".

$$V_k = V_0 \times S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (7)$$

Onde:

$V_0$  - Velocidade básica do vento

$S_1$  - Fator topográfico

$S_2$  - Fator de rugosidade

$S_3$  - Fator estatístico

#### 2.9.2.2.1 Fator topográfico $S_1$

O fator topográfico  $S_1$ , segundo a NBR 6123:1988, leva em consideração as variações do relevo, ou seja, as variações de velocidade do vento conforme a mudança do tipo de terreno. O fator topográfico  $S_1$  é determinado da seguinte forma:

- a) Terreno plano ou fracamente acidentado:  $S_1 = 1,0$ ;
- b) Taludes e morros:

- Taludes e morros alongados nos quais pode ser admitido um fluxo de ar bidimensional soprado no sentido indicado na Fig. 25.

- No ponto A (morros) e nos pontos A e C (taludes):  $S_1 = 1,0$ ;

- No ponto B: [ $S_1$  é uma função  $S_1(z)$ ]:

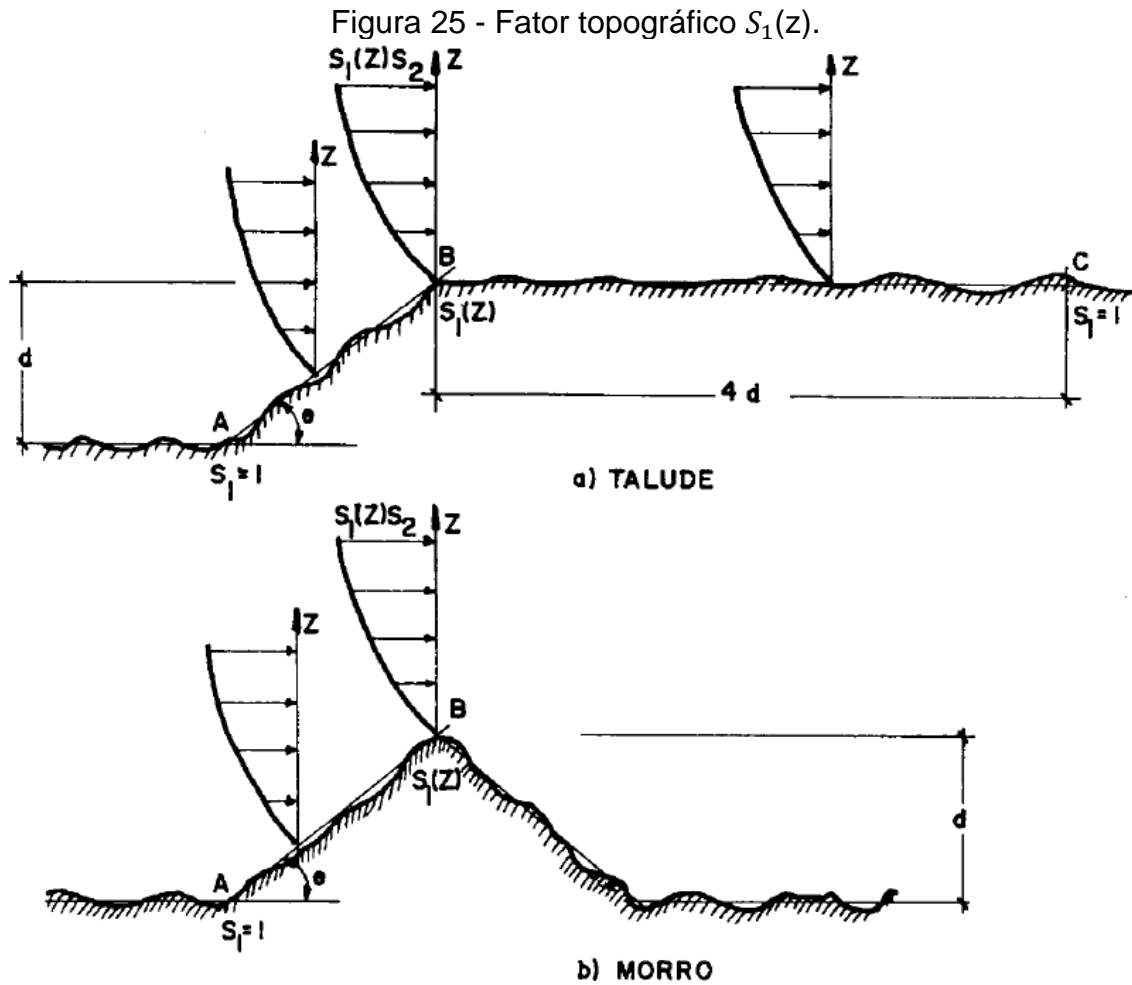
$$q \leq 3^\circ : S_1(z) = 1,0$$

$$6^\circ \leq q \leq 17^\circ : S_1(z) = 1,0 + (2,5 - \frac{z}{d}) \operatorname{tg}(\theta - 3^\circ) \geq 1$$

$$\theta \geq 45^\circ : S_1(z) = 1,0 + (2,5 - \frac{z}{d}) 0,31 \geq 1$$

Interpolar linearmente para  $5^\circ < \theta < 6^\circ$  e  $17^\circ < \theta < 45^\circ$

Entre A e B e entre B e C, o fator  $S_1$  deve ser obtido por interpolação linear.



Fonte: NBR 6123:1988

Onde:

$z$  = altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado;

$d$  = diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro;

$\theta$  = inclinação média do talude ou encosta do morro;

c) Valores profundos, protegidos de ventos de qualquer direção:  $S_1 = 0,9$ .

#### 2.9.2.2.2 Fator de rugosidade $S_2$

Como aponta a Norma NBR 6123:1988 o fator de rugosidade  $S_2$ , decorre das condições de vizinhança da construção, da sua altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou do elemento considerado.

De acordo com a Norma NBR 6123:1988 a rugosidade do terreno é dividida em cinco categorias:

**Categoria I:** Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medidas na direção e no sentido do vento incidente, como por exemplo, mar calmo, lagos e rios, pântanos sem vegetação, etc.

**Categoria II:** Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas, como por exemplo, zonas costeiras planas, campos de aviação, fazendas sem sebes ou muros, etc.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1,0m.

**Categoria III:** Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos e árvores, edificações baixas e esparsas, como exemplo, fazendas com sebes ou muros, subúrbios a considerável distância do centro, com baixas casas baixas e esparsas.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3,0m

**Categoria IV:** Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zonas florestal, industrial ou urbanizada, como por exemplo, cidades pequenas e seus arredores, subúrbios densamente construídos de grandes cidades, áreas industriais plenas ou parcialmente desenvolvidas.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10m.

**Categoria V:** Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados, como exemplo os centros de grandes cidades, complexos industriais bem desenvolvidos, etc.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25 m.

### **Dimensões da edificação**

Segundo a Bellei (2003) e a NBR 6123:1988, deve-se considerar as características construtivas ou estruturais que originam pouca ou nenhuma continuidade estrutural ao longo da edificação para poder definir as partes da edificação.

As características são:

- Edificações com juntas que separam a estrutura em duas ou mais partes estruturalmente independentes;

- Edificações com pouca rigidez na direção perpendicular à direção do vento, e por isso com pouca capacidade de redistribuição de cargas;

Para o cálculo da velocidade média nos intervalos de tempo de 3 s, 5 s e 10 as seguintes classes de edificações, partes de edificações e seus elementos foram selecionadas respectivamente:

**Classe A:** todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda a edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m.

**Classe B:** Toda edificação ou parte de edificação para qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20m e 50m.

**Classe C:** toda edificação ou parte da edificação para qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 m.

### Altura sobre o terreno

Na NBR 6123:1988 o fator de rugosidade  $S_2$  usado no cálculo da velocidade do vento em uma altura  $z$  acima do nível geral do terreno é dado pela expressão:

$$S_2 = b \times F_r \times \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (8)$$

Onde:

$S_2$  - Fator de rugosidade do terreno;

$b$  - Parâmetro meteorológico;

$F_r$  - Fator de rajada, sempre correspondente a categoria II;

$z$  - Altura acima do nível geral do terreno;

$p$  - Parâmetro meteorológico;

A expressão acima até a altura  $z_g$ , que é a definição do contorno superior da camada atmosférica. Os parâmetros que possibilitam definir  $S_2$  para as cinco categorias são apresentados na Tabela 8, e para os valores de  $S_2$  para as diversas categorias de rugosidade do terreno e classes de dimensões das edificações definidas são dados na Tabela 9.

Tabela 8 - Parâmetros meteorológicos.

Categoria	$z_s$ (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		$F_r$	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Fonte: NBR 6123:1988

Tabela 9 - Fator  $S_2$ .

z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

Fonte: NBR 6123:1988

### 2.9.2.2.3 Fator estatístico $S_3$

Para Bellei (2003), o fator estatístico  $S_3$  apresentado na Tabela 10 leva em consideração o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação, tendo como base o período de recorrência de 50 anos para determinação da velocidade  $V_0$  e a probabilidade de 63% de que esta velocidade seja igualada ou excedida nesse período.

Tabela 10 - Valores mínimos do fator estatístico  $S_3$ .

Grupo	Descrição	$S_3$
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte: NBR 6123:1988

### 2.9.2.3 Pressão dinâmica “q”

Após determinar o valor da velocidade básica de vento  $V_0$ , os valores dos fatores “ $S_1$ ”, “ $S_2$ ” e “ $S_3$ ” e chegando ao valor da velocidade característica  $V_k$ , pode-se calcular o valor da pressão dinâmica  $q$  através da expressão:

$$q = 0,613x(V_k)^2 \quad (9)$$

Onde  $q$  em  $N/m^2$  e  $V_k$  em  $m/s$ .

### 2.9.2.4 Coeficiente de pressão

De acordo com a Norma NBR 6123:1988 a força do vento depende da diferença de pressão nas duas faces opostas da parte da edificação, os coeficientes de pressão são dados para superfícies externas e superfícies internas.

Para a norma NBR 6123:1988, toma-se por pressão efetiva,  $\Delta p$ , em um ponto na superfície de uma edificação, o valor definido por:

$$\Delta p = \Delta p_e - \Delta p_i \quad (10)$$

Onde:

$\Delta p_e$  - Pressão efetiva externa

$\Delta p_i$  - Pressão efetiva interna

Então:

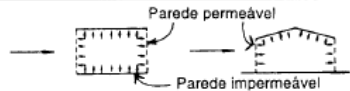
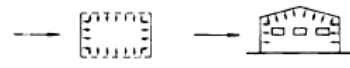
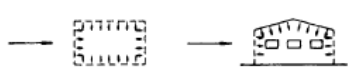
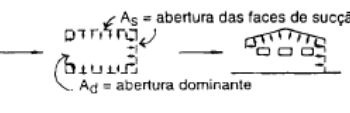
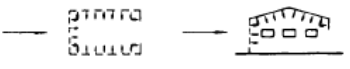



$$\Delta p = (C_{pe} - C_{pi})q \quad (11)$$

Onde:

$C_{pe}$  - Coeficiente de pressão externa:  $C_{pe} = \Delta p_e / q$

$C_{pi}$  - Coeficiente de pressão interna:  $C_{pi} = \Delta p_i / q$

Tabela 11 - Resumos dos valores  $C_{pi}$ .

Caso	Esquema	Cpi	Observ.
a	a.1 	+0.2	
	a.2 	-0.3	
b		-0.3 ou 0	
c	c.1. 	+0.1	Ad/As = 1,0
		+0.3	1,5
		+0.5	2,0
		+0.6	3,0
		+0.8	≥6,0
c.2.		$C_e$ (Tab. 5.9)	
c.3.1.		$C_e$ (Tab. 5.9)	
c.3	c.3.2. 	-0.4	Ad/As ≤ 0,25
		-0.5	0,50
		-0.6	0,75
		-0.7	1,00
		-0.8	1,50
-0.9	≥3,00		
d	Probabilidade desprezível de ocorrência de abertura dominante com ventos fortes	-0.2 ou 0	usar sempre o mais desfavorável
e	e.1 	-0.8	h/d ≥ 0,30
	e.2	-0.5	h/d < 0,30

Fonte: Bellei (2003)

### 2.9.2.5 Coeficiente de forma

Na norma NBR 6123:1988, a forma do vento sobre um elemento plano de edificação de área  $A$  atua em direção perpendicular a ele sendo dada por:

$$F = F_e - F_i \quad (12)$$

Onde:

$F_e$  - Força externa à edificação, agindo na superfície plana da área  $A$

$F_i$  - Força interna à edificação, agindo na superfície plana de área  $A$

Portanto:

$$F = (C_e - C_i) \cdot q \cdot A \quad (13)$$

Onde:

$C_e$  - Coeficiente de forma externo:  $C_e = F_e / q A$


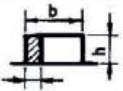
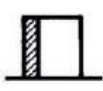
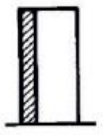
$C_i$  - Coeficiente de forma interna:  $C_i = F_i / q A$

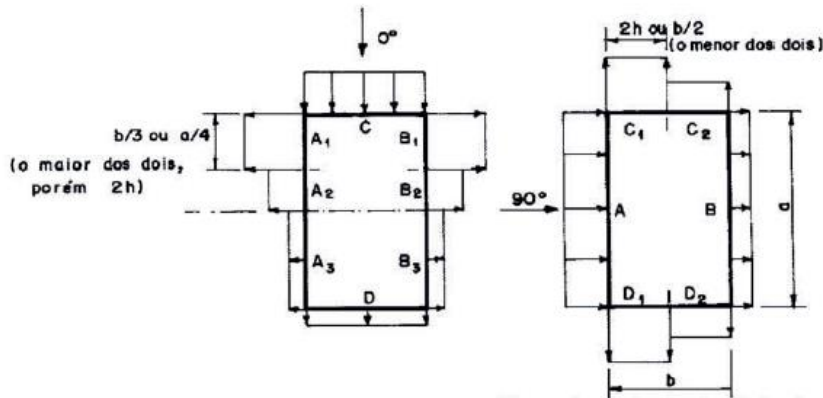
### Coeficientes de pressão e de forma, externos

Tem-se os valores dos coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos na Tabela 11, conforme a norma NBR 6123:1988.



Tabela 12 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular.

Altura relativa		Valores de $C_e$ para								$c_{pe}$ médio 
		$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				
		$A_1$ e $B_1$	$A_2$ e $B_2$	C	D	A	B	$C_1$ e $D_1$	$C_2$ e $D_2$	
 $0,2 b$ ou $h$ (o menor dos dois) $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,8	-0,5	+0,7	-0,4	+0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0
 $\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,9	-0,5	+0,7	-0,5	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,1
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,9	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,6	-0,9	-0,5	-1,1
 $\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-1,0	-0,6	+0,8	-0,6	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-1,0	-0,5	+0,8	-0,3	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2



Fonte: NBR 6123:1988

Notas:

a) Para  $a/b$  entre  $3/2$  e  $2$ , interpolar linearmente. (NBR 6123:1988)





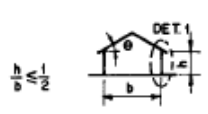
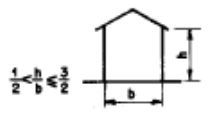

b) Para vento a  $0^\circ$ , nas partes  $A_3$  e  $B_3$ , o coeficiente de forma  $C_e$  tem os seguintes valores:

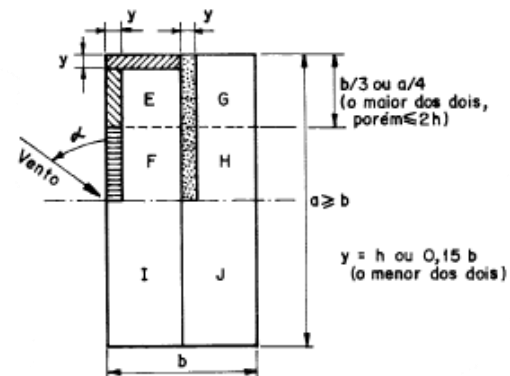
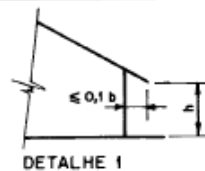
- Para  $a/b = 1$ : mesmo valor das partes  $A_2$  e  $B_2$ ;

- Para  $a/b = 3/2$ :  $C_e = -0,2$ ;

- Para  $1 < a/b < 2$ : interpolar linearmente. (NBR 6123:1988)

Tabela 13 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular.

Altura relativa	$\theta$	Valores de $C_e$ para				$c_{pe}$ médio			
		$\alpha = 90^\circ$ (A)		$\alpha = 0^\circ$					
		EF	GH	EG	FH				
	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2		-1,2
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0			-1,2
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8			-1,1
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1
60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6				-1,1	
	0°	-0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,6	-0,9	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10°	-1,1	-0,6	-0,8	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	15°	-1,0	-0,6	-0,8	-0,6	-1,8	-1,5	-1,5	-1,2
	20°	-0,7	-0,5	-0,8	-0,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,0
	30°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8	-1,0			-1,0
	45°	+0,2	-0,5	-0,8	-0,8				
60°	+0,6	-0,5	-0,8	-0,8					
	0°	-0,8	-0,6	-0,9	-0,7	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	15°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,8	-1,8	-1,5	-1,2
	20°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,5	-1,5	-1,5	-1,2
	30°	-1,0	-0,5	-0,8	-0,7	-1,5			
	40°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,7	-1,0			
50°	+0,2	-0,5	-0,8	-0,7					
60°	+0,5	-0,5	-0,8	-0,7					



Fonte: NBR 6123:1988

Notas:

- O coeficiente de forma  $C_e$  na face inferior do beiral é igual ao da parede correspondente. (NBR 6123:1988)
- Nas zonas em torno de partes de edificações salientes ao telhado (chaminés, reservatórios, torres, etc.), deve ser considerado um coeficiente de forma  $C_e = 1,2$ , até uma distância igual à metade da dimensão da diagonal da saliência vista em planta. (NBR 6123:1988)
- Na cobertura de lanternins,  $C_{pe}$  médio = - 2,0. (NBR 6123:1988)

d) Para vento a  $0^\circ$ , nas partes I e J o coeficiente de forma  $C_e$  tem os seguintes valores:  $a/b = 1$ : mesmo valor das partes F e H;  $a/b = 2$ :  $C_e = -0,2$ . Interpolar linearmente para valores intermediários de  $a/b$ . (NBR 6123:1988)

### 3 METODOLOGIA

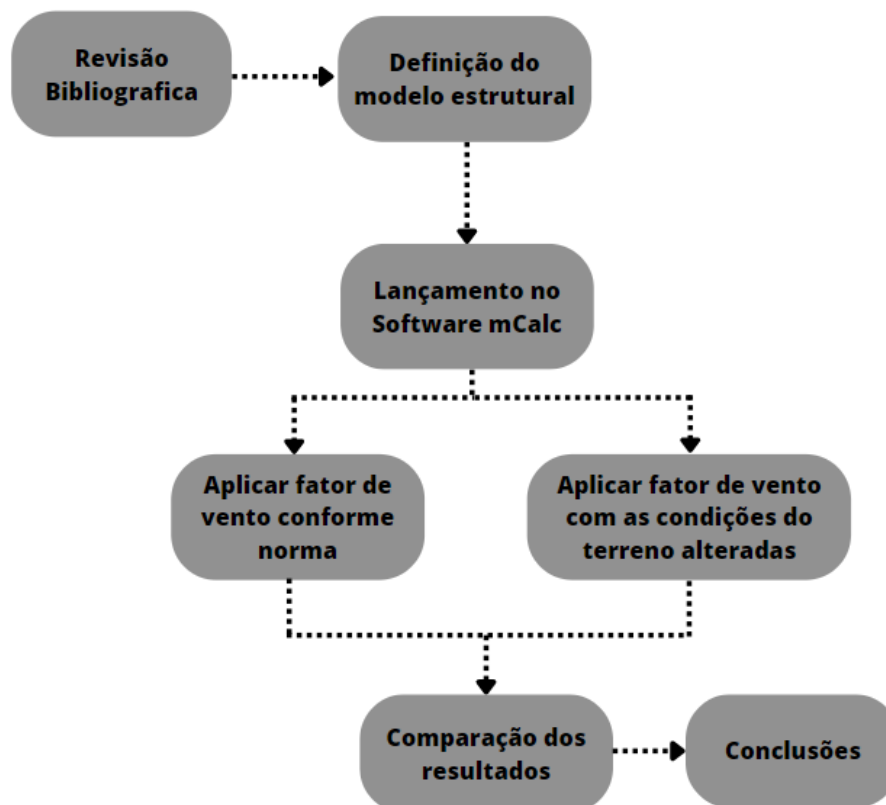
O Presente trabalho tem como foco a influência da carga derivada dos ventos no dimensionamento e uma estrutura metálica, sendo devido em etapas sequencias descritas na Fig. 26.

#### 3.1 Caracterização da pesquisa

O presente trabalho tem a finalidade de ser uma pesquisa básica-estratégica com o objetivo descritivo, tendo uma abordagem e seguindo o método hipotético-dedutivo com processo experimental.

#### 3.2 Delineamentos da pesquisa

Figura 26 - Estrutura do trabalho.



Fonte: Autor (2023)

#### 3.3 Características da edificação

- Destinação: pavilhão de usos gerais

- Localização: Distrito industrial, Santa Cruz do Sul – RS
  - Dimensões: 50 m de largura, 100 m de comprimento pé direito de 10 m
- Planta baixa consta no Anexo A.

### 3.4 Especificações de vento

Para o cálculo de vento serão seguidas especificações da norma NBR 6123:1988, levando em conta a velocidade básica de vento correspondente a região de Santa Cruz do sul, e as características de terreno apontadas nas em duas classes estabelecidas na norma.

#### 3.4.1 Velocidade básica $V_0$

De acordo com o gráfico de isopletas estabelecido na norma NBR 6123:1988, para a região de Santa Cruz do Sul tem-se  $V_0 = 45$  m/s.

#### 3.4.2 Fator topográfico $S_1$

O terreno utilizado para a construção, é um terreno relativamente plano sem variações de relevo, neste caso, aplica-se um fator topográfico  $S_1 = 1,0$ .

#### 3.4.3 Fator de rugosidade $S_2$

A norma NBR 6123:1988, estabelece categorias que definem a rugosidade do terreno de acordo com as características do mesmo, categorias essas, que influenciam o cálculo da velocidade característica de vento  $V_k$  e conseqüentemente na pressão dinâmica atuante na edificação. As categorias selecionadas foram as seguintes:

- **Categoria II:** Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixa. Com cota média do topo dos obstáculos inferior ou igual a 1m.

- **Categoria V:** Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. Com cota média do topo dos obstáculos igual ou superior a 25 m.

### 3.4.3 Dimensões da edificação

A NBR 6123:1988 nos define algumas classes de acordo com as dimensões da edificação, para este trabalho as duas situações de dimensionamento serão feitas levando em consideração a Classe C, classe aplicada para edificações com a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal for maior que 50 m.

### 3.4.4 Fator Estatístico $S_3$

O fator estatístico leva em consideração o grau de segurança e a vida útil da edificação, resultando em um valor  $S_3$  dependendo do grupo em que a edificação se enquadra, a edificação estudada se enquadra no Grupo 2, que inclui edificações para comércios e indústria com alto fator de ocupação, resultando em um fator estatístico  $S_3 = 1,00$ .

## 3.5 Software

O software a ser utilizado para efetuar o dimensionamento da estrutura será o mCalc3D 5.0, que proporciona a modelagem, análise e dimensionamento de estruturas em aço 3D.

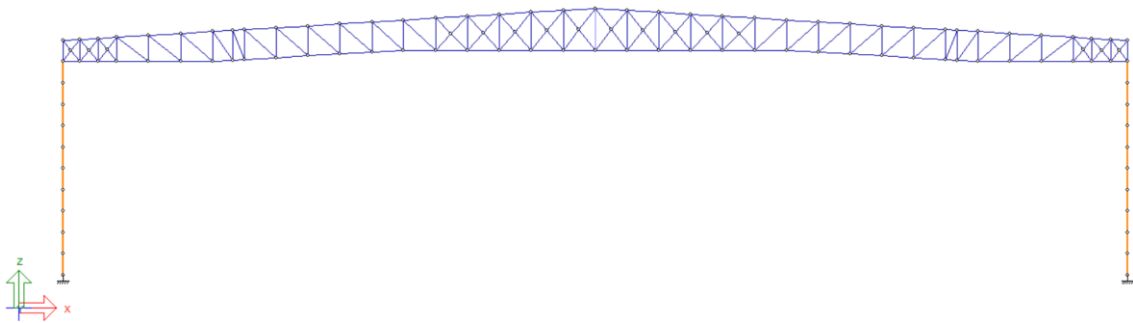
## 4. RESULTADO E ANÁLISE

### 4.1 Modelagem da estrutura

A estrutura foi modelada dentro do ambiente do mcalc3D, esta modelagem é feita dentro do módulo de geometria do software, sendo composta por barras que são conectadas através de pontos, pontos estes que são chamados de nós, são nestes nós que se encontram os esforços e as reações.

A estrutura é composta por pilares feitos perfil laminado “W”, tesouras e vigas transição treliçadas, vigas de travamento, contraventos, estabilizadores, terças de cobertura e de fechamento.

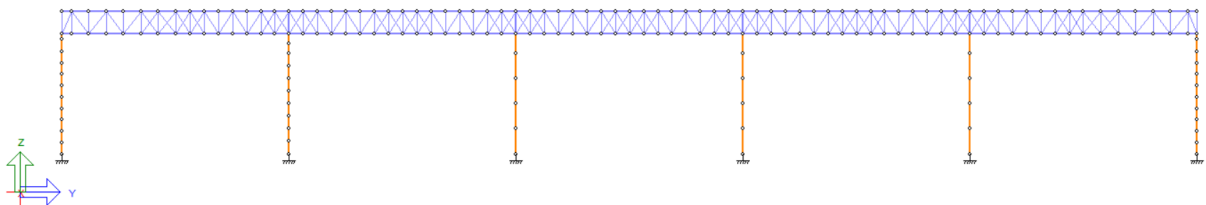
Figura 27 – Modelagem pórtico padrão.



Fonte: Autor (2023)

Os pilares metálicos possuem um comprimento de 10m, as tesouras treliçadas tem um comprimento de 25m e altura na cumeeira de 2,5m.

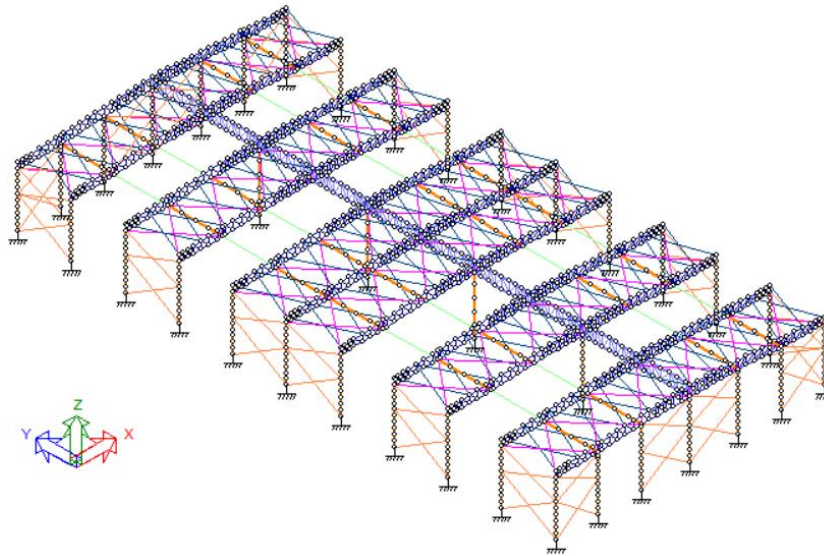
Figura 28 – Modelagem estrutura principal.



Fonte: Autor (2023)

Foi utilizado uma viga de transição apoiada sobre pilares dispostos a cada 20m, estas vigas servem de sustentação para as tesouras transmitindo o carregamento delas para os pilares e conseqüentemente para as bases dos pilares.

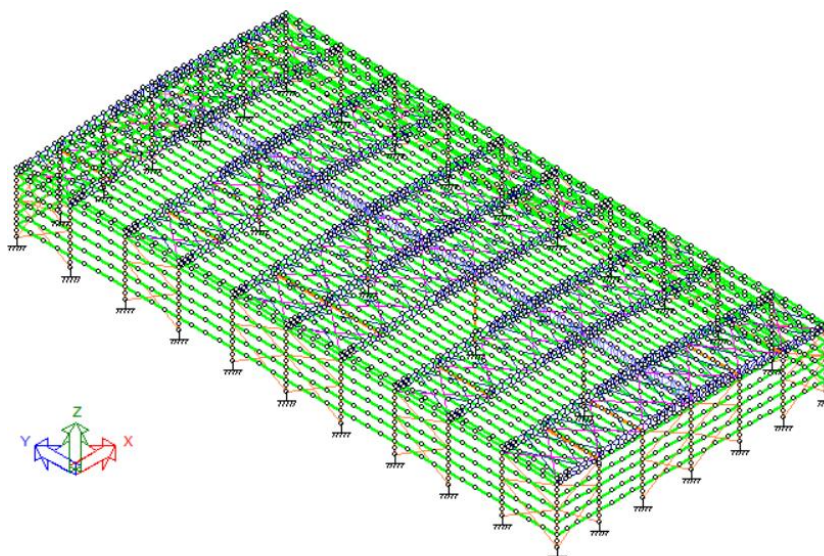
Figura 29 – Modelagem travamento da estrutura.



Fonte: Autor (2023)

O travamento da estrutura é composto por contraventos e vigas de travamento dispostos nos banzos inferiores das tesouras, contraventos dispostos nos banzos superiores das tesouras e contraventos de fechamento entre os pilares externos, tornando a estrutura estável.

Figura 30 – Modelagem estrutura completa.



Fonte: Autor (2023)

O apoio para telhas tanto de cobertura como de fechamento é feito por terças, correntes rígidas e tirantes.



## 4.2 Ações permanentes

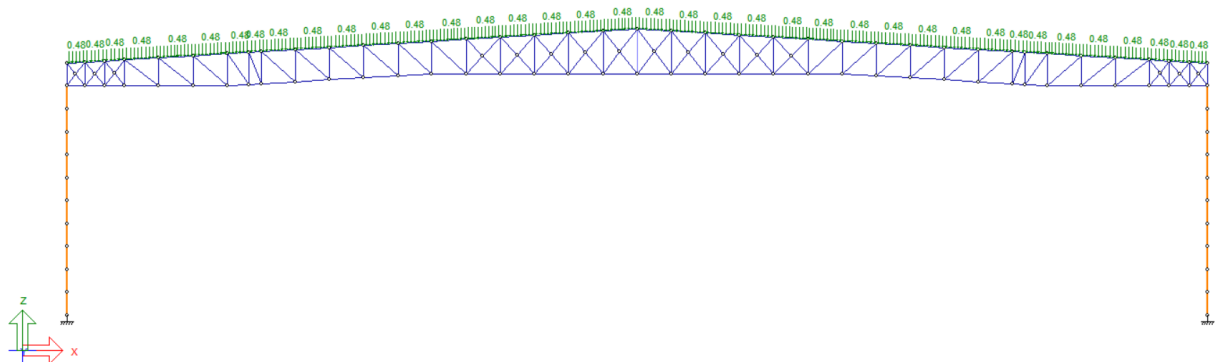
Para as ações permanente foram consideradas, o peso próprio da estrutura, ação esta que o próprio software aplica na estrutura, pois ela varia conforme o andamento dimensionamento, e também o peso próprio da telha trapezoidal TP-40 bi apoiada com 0,5mm de espessura com peso de 4,81kgf/m<sup>2</sup> como especificado no catálogo de produtos do fornecedor ISOESTE, Anexo B.

O carregamento proveniente das telhas, distribuído linearmente nos pórticos centrais, é dado por:

$$4,81\text{kgf/m}^2 \times 10\text{m} = 48,1\text{kgf/m} / 100 = 0,481 \text{ kgf/cm}$$

Como o software trabalha com sua unidade de medida em cm deve-se fazer a conversão de Kgf/m para Kgf/cm.

Figura 31 – Ação permanente nos pórticos centrais.

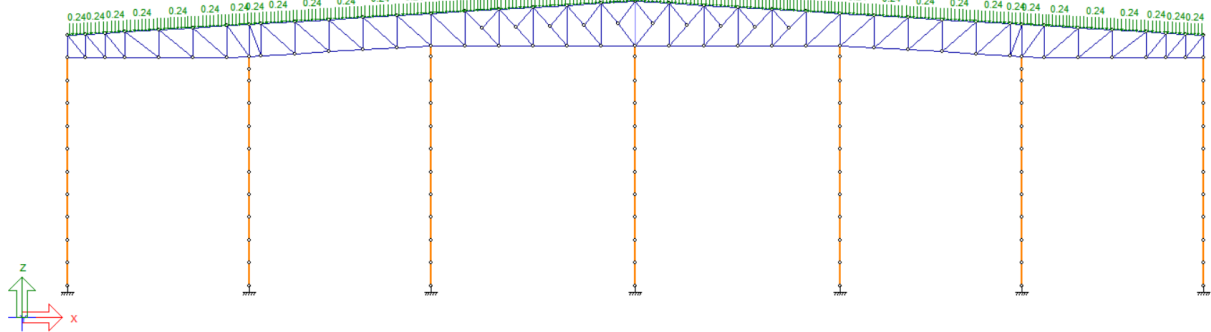


Fonte: Autor (2023)

Para os pórticos de oitão, tem-se o seguinte carregamento distribuído linearmente:

$$4,81\text{kgf/m}^2 \times 5\text{m} = 24,05\text{kgf/m} / 100 = 0,24 \text{ kgf/cm}$$

Figura 32 – Ação permanente nos pórticos de oitão.



Fonte: Autor (2023)

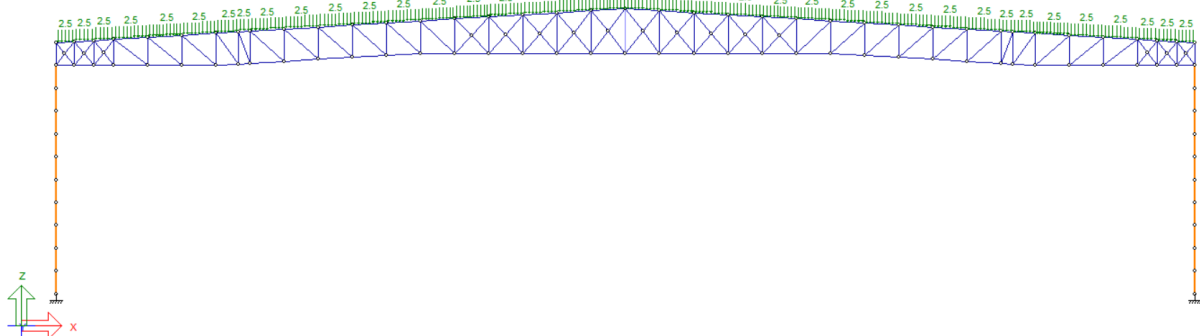
### 4.3 Ações acidentais

Conforme o anexo B da NBR 8800:2008 para coberturas comuns, deve-se considerar a sobrecarga de 0,25 KN/m<sup>2</sup>, resultando em um carregamento distribuído linearmente nos pórticos.

Para os pórticos centrais o carregamento devido à sobrecarga de utilização é dado por:

$$25\text{kgf/m}^2 \times 10\text{m} = 250\text{kgf/m} / 100 = 2,5 \text{ kgf/cm}$$

Figura 33 – Sobrecarga de utilização nos pórticos centrais.

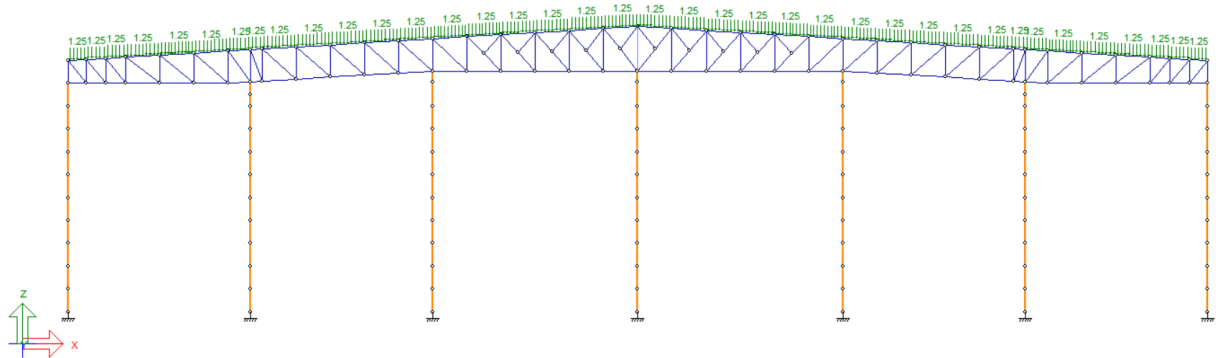


Fonte: Autor (2023)

Para os pórticos de oitão o carregamento devido à sobrecarga de utilização é dado por:

$$25\text{kgf/m}^2 \times 5\text{m} = 125\text{kgf/m} / 100 = 1,25 \text{ kgf/cm}$$

Figura 34 – Sobrecarga de utilização p3rticos de oit3o.



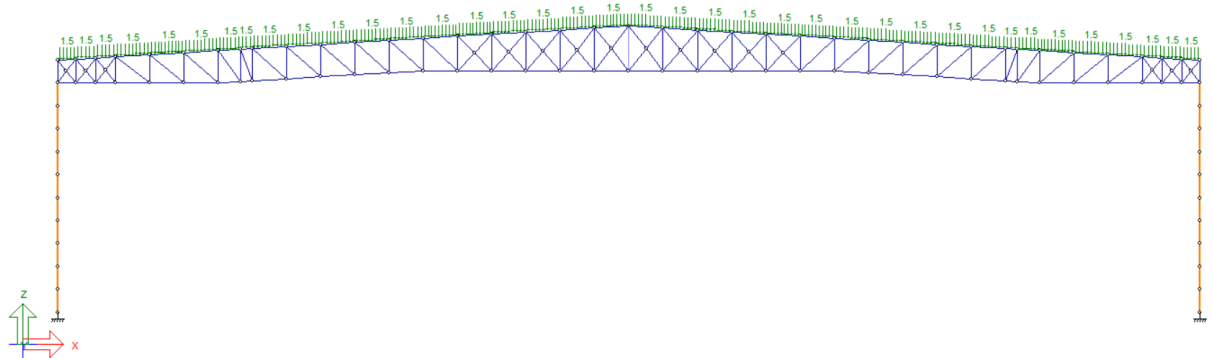
Fonte: Autor (2023)

Devido 33 possibilidade da instala33o de pain3is solares sobre a estrutura, foi levado em considera33o uma sobrecarga de 15kgf/m<sup>2</sup>.

Para os p3rticos centrais o carregamento devido 33 sobrecarga dos pain3is solares 3e dado por:

$$15\text{kgf/m}^2 \times 10\text{m} = 150\text{kgf/m} / 100 = 1,5 \text{ kgf/cm}$$

Figura 35 – Sobrecarga de pain3is solares nos p3rticos centrais.



Fonte: Autor (2023)

Para os p3rticos oit3o o carregamento devido 33 sobrecarga dos pain3is solares 3e dado por:

$$15\text{kgf/m}^2 \times 5\text{m} = 75\text{kgf/m} / 100 = 0,75 \text{ kgf/cm}$$



$$\begin{aligned} Fr &= 0,95 \\ z &= 12,5\text{m} \end{aligned}$$

$$S_2 = b \times F_r \times \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (8)$$

$$S_2 = 1,0 \times 0,95 \times \left(\frac{12,5}{10}\right)^{0,1}$$

$$S_2 = 0,97$$

Para um terreno de categoria V e edificação de classe C obtém-se os seguintes fatores:

$$\begin{aligned} b &= 0,71 \\ p &= 0,175 \\ Fr &= 0,95 \\ z &= 12,5\text{m} \end{aligned}$$

$$S_2 = b \times F_r \times \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (8)$$

$$S_2 = 0,71 \times 0,95 \times \left(\frac{12,5}{10}\right)^{0,175}$$

$$S_2 = 0,70$$

#### 4.4.4 Fator estatístico S3

Conforme a tabela 10 uma edificação para comércio e indústrias com alto fator de ocupação se enquadra como grupo 2 o que define o fator  $S_3 = 1,0$

#### 4.4.5 Velocidade característica

Determinada a velocidade básica  $V_0$  e os fatores  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  pode-se chegar ao valor da velocidade características do vento para os dois fatores de rugosidade por meio da seguinte expressão:

$$V_k = V_0 \times S_1 \cdot S_3 \quad (7)$$

Então, para rugosidade categoria II tem-se:

$$V_k = V_0 \times S_1 \cdot S_3 \quad (7)$$

$$V_k = 45 \times 1,0 \times 0,97 \times 1,0$$

$$V_k = 43,71 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para rugosidade categoria V tem-se:

$$V_k = V_0 \times S_1 \cdot S_3 \quad (7)$$

$$V_k = 45 \times 1,0 \times 0,70 \times 1,0$$

$$V_k = 31,56 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

#### 4.4.6 Pressão dinâmica

Após o encontrar a velocidade característica, efetua-se o cálculo da pressão dinâmica dada pela expressão:

$$q = 0,613 \times (V_k)^2 \quad (9)$$

Então, para rugosidade categoria II tem-se:

$$q = 0,613 \times (V_k)^2 \quad (9)$$

$$q = 0,613 \times 43,71^2$$

$$q = 117,14 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Para rugosidade categoria V tem-se:

$$q = 0,613 \times (V_k)^2 \quad (9)$$

$$q = 0,613 \times 31,56^2$$

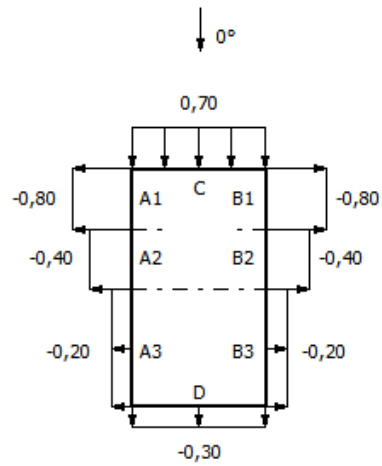
$$q = 61,06 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

#### 4.4.7 Coeficientes de forma externo para paredes periféricas

Utilizando o módulo de ventos do software mCalc3d obtém-se os coeficientes de forma externos das paredes para as duas classes de rugosidade dos terrenos em todas as quatro direções do vento.

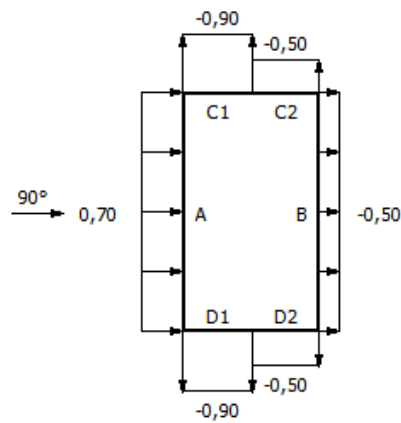
Então, para rugosidade categoria II tem-se:

Figura 37 – Coeficiente de forma externo para vento a  $0^\circ$ .



Fonte: Autor (2023)

Figura 38 - Coeficiente de forma externo para vento a  $90^\circ$ .



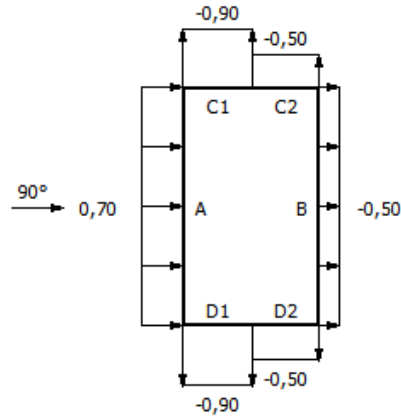
Fonte: Autor (2023)

Figura 39 - Coeficiente de forma externo para vento a  $180^\circ$ .



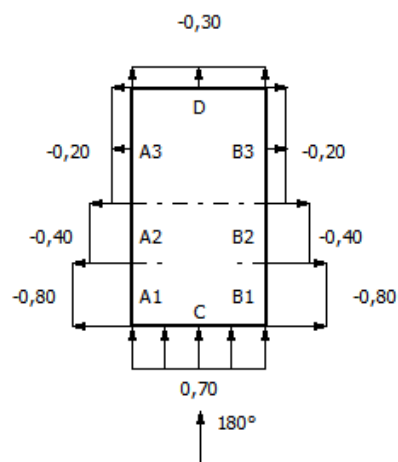


Figura 42 - Coeficiente de forma externo para vento a  $90^\circ$ .



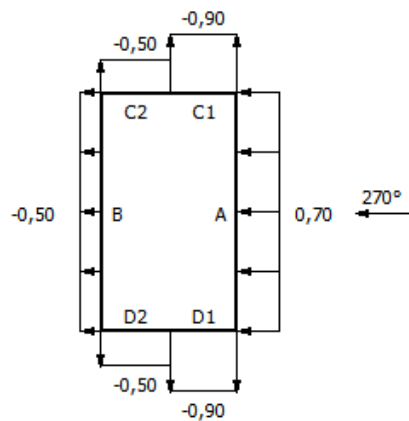
Fonte: Autor (2023)

Figura 43 - Coeficiente de forma externo para vento a  $180^\circ$ .



Fonte: Autor (2023)

Figura 44 - Coeficiente de forma externo para vento a  $270^\circ$ .



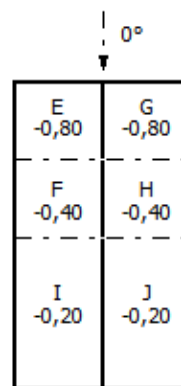
Fonte: Autor (2023)

#### 4.4.8 Coeficientes de forma externo para telhados com duas águas

Novamente com o uso do módulo de ventos do software mCalc3d encontram-se os coeficientes de forma externos para telhados com duas águas para as duas classes de rugosidade dos terrenos em todas as quatro direções do vento.

Então, para rugosidade categoria II tem-se:

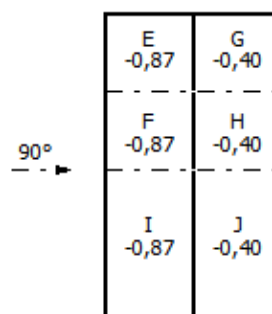
Figura 45 - Coeficiente de forma externo para telhados vento a 0°.



E -0,80	G -0,80
F -0,40	H -0,40
I -0,20	J -0,20

Fonte: Autor (2023)

Figura 46 - Coeficiente de forma externo para telhados vento a 90°.



E -0,87	G -0,40
F -0,87	H -0,40
I -0,87	J -0,40

Fonte: Autor (2023)

Figura 47 - Coeficiente de forma externo para telhados vento a 180°.

I -0,20	J -0,20
F -0,40	H -0,40
E -0,80	G -0,80

↑  
180°

Fonte: Autor (2023)

Figura 48 - Coeficiente de forma externo para telhados vento a 270°.

G -0,40	E -0,87
H -0,40	F -0,87
J -0,40	I -0,87

← 270°

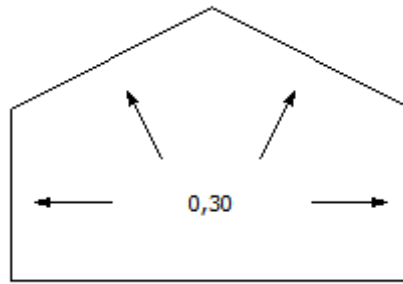
Fonte: Autor (2023)

#### 4.4.9 Coeficientes de pressão internos $CP_i$

Como critério de cálculo, foi considerado que em qualquer uma das faces da estrutura pode haver uma abertura dominante, tendo isso em mente, foram aplicados os coeficientes de pressão interna  $CP_i=-0,3$  e  $CP_i=+0,2$ , nas combinações de todas as direções de vento.

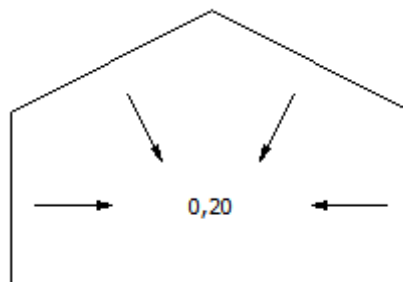
Dentro das combinações de cálculo o  $CP_i=-0,3$  foi aplicado para todas as faces da estrutura menos a face de barlavento. E para o coeficiente  $CP_i=+0,2$  foi feito o oposto, aplicou-se este coeficiente em todas as faces menos a face de Sotavento, repetindo este processo para todas as direções de vento, 0°, 90°, 180° e 270°.

Figura 49 – Coeficiente de pressão interna o  $CP_i=-0,3$ .



Fonte: Autor (2023)

Figura 50 – Coeficiente de pressão interna o  $CP_i=+0,2$ .



Fonte: Autor (2023)

#### 4.5 Cargas finais de vento

Multiplicando as pressões dinâmicas obtidas pelo coeficiente de forma de paredes e telhados e pela área de influência dos pórticos, obtém-se as forças finais de vento para cada pórtico da estrutura.

Dada pela fórmula:

$$F = q \times D \times C_f \quad (14)$$

Para os coeficientes de pressão interna +0,3 e -0,2 procede-se da mesma forma, utilizando a mesma, multiplica-se a pressão dinâmica encontrada pelo coeficiente de pressão e pela área de influência do elemento.

Nos anexos seguem tabelas montadas com a identificação do eixo em que se encontra o pórtico, o elemento que está recebendo a carga de vento e o sentido em que ela atua, visando uma melhor orientação do carregamento.

## 4.6 Combinações

Foram feitas no total 18 combinações para as duas situações de vento, cada uma delas tendo uma composição diferente de cargas, onde estas cargas foram majoradas no estado limites últimos de acordo com os fatores especificados na tabela 6.

Para cargas provenientes do peso próprio da estrutura foi utilizado o coeficiente de ponderação de  $\gamma = 1,25$ , para ações permanentes o coeficiente de  $\gamma = 1,4$ , para sobrecarga  $\gamma = 1,5$  e para ação do vento  $\gamma = 1,4$ , pressão interna  $\gamma = 1,4$ , todos estes coeficientes para condições normais, segue uma breve descrição de cada uma delas:

- **Combinação 1** – Peso próprio  $\gamma = 1,25$ , Ação permanente  $\gamma = 1,4$ , Sobrecarga  $\gamma = 1,5$ .
- **Combinação 2** – Peso próprio  $\gamma = 1,25$ , Ação permanente  $\gamma = 1,4$ , Sobrecarga de norma  $\gamma = 1,5$ , Sobrecarga painel solar  $\gamma = 1,5$ .
- **Combinação 3** – Peso próprio  $\gamma = 1,0$ , Ação permanente  $\gamma = 1,0$ , Vento a  $0^\circ$   $\gamma = 1,4$ , Pressão interna  $-0,3$   $\gamma = 1,4$ .
- **Combinação 4** – Peso próprio  $\gamma = 1,0$ , Ação permanente  $\gamma = 1,0$ , Vento a  $0^\circ$   $\gamma = 1,4$ , Pressão interna  $+0,2$   $\gamma = 1,4$ .
- **Combinação 5** – Peso próprio  $\gamma = 1,0$ , Ação permanente  $\gamma = 1,0$ , Vento a  $90^\circ$   $\gamma = 1,4$ , Pressão interna  $-0,3$   $\gamma = 1,4$ .
- **Combinação 6** – Peso próprio  $\gamma = 1,0$ , Ação permanente  $\gamma = 1,0$ , Vento a  $90^\circ$   $\gamma = 1,4$ , Pressão interna  $+0,2$   $\gamma = 1,4$ .
- **Combinação 7** – Peso próprio  $\gamma = 1,0$ , Ação permanente  $\gamma = 1,0$ , Vento a  $180^\circ$   $\gamma = 1,4$ , Pressão interna  $-0,3$   $\gamma = 1,4$ .
- **Combinação 8** – Peso próprio  $\gamma = 1,0$ , Ação permanente  $\gamma = 1,0$ , Vento a  $180^\circ$   $\gamma = 1,4$ , Pressão interna  $+0,2$   $\gamma = 1,4$ .
- **Combinação 9** – Peso próprio  $\gamma = 1,0$ , Ação permanente  $\gamma = 1,0$ , Vento a  $270^\circ$   $\gamma = 1,4$ , Pressão interna  $-0,3$   $\gamma = 1,4$ .
- **Combinação 10** – Peso próprio  $\gamma = 1,0$ , Ação permanente  $\gamma = 1,0$ , Vento a  $270^\circ$   $\gamma = 1,4$ , Pressão interna  $+0,2$   $\gamma = 1,4$ .

- **Combinação 11** – Peso próprio  $\gamma = 1,0$ , Ação permanente  $\gamma = 1,0$ , Sobrecarga painel solar  $\gamma = 1,0$ , Vento a  $0^\circ$   $\gamma = 1,4$ , Pressão interna -  $0,3 \gamma = 1,4$ .
- **Combinação 12** – Peso próprio  $\gamma = 1,0$ , Ação permanente  $\gamma = 1,0$ , Sobrecarga painel solar  $\gamma = 1,0$ , Vento a  $0^\circ$   $\gamma = 1,4$ , Pressão interna + $0,2 \gamma = 1,4$ .
- **Combinação 13** – Peso próprio  $\gamma = 1,0$ , Ação permanente  $\gamma = 1,0$ , Sobrecarga painel solar  $\gamma = 1,0$ , Vento a  $90^\circ$   $\gamma = 1,4$ , Pressão interna -  $0,3 \gamma = 1,4$ .
- **Combinação 14** – Peso próprio  $\gamma = 1,0$ , Ação permanente  $\gamma = 1,0$ , Sobrecarga painel solar  $\gamma = 1,0$ , Vento a  $90^\circ$   $\gamma = 1,4$ , Pressão interna + $0,2 \gamma = 1,4$ .
- **Combinação 15** – Peso próprio  $\gamma = 1,0$ , Ação permanente  $\gamma = 1,0$ , Sobrecarga painel solar  $\gamma = 1,0$ , Vento a  $180^\circ$   $\gamma = 1,4$ , Pressão interna -  $0,3 \gamma = 1,4$ .
- **Combinação 16** – Peso próprio  $\gamma = 1,0$ , Ação permanente  $\gamma = 1,0$ , Sobrecarga painel solar  $\gamma = 1,0$ , Vento a  $180^\circ$   $\gamma = 1,4$ , Pressão interna + $0,2 \gamma = 1,4$ .
- **Combinação 17** – Peso próprio  $\gamma = 1,0$ , Ação permanente  $\gamma = 1,0$ , Sobrecarga painel solar  $\gamma = 1,0$ , Vento a  $270^\circ$   $\gamma = 1,4$ , Pressão interna -  $0,3 \gamma = 1,4$ .
- **Combinação 18** – Peso próprio  $\gamma = 1,0$ , Ação permanente  $\gamma = 1,0$ , Sobrecarga painel solar  $\gamma = 1,0$ , Vento a  $270^\circ$   $\gamma = 1,4$ , Pressão interna + $0,2 \gamma = 1,4$ .

#### 4.6 Dimensionamento

Após efetuar dentro do software todas as combinações descritas anteriormente, através do processo de aplicar o perfil que atenda a solicitação de esforço de cada barra, foi feito o dimensionamento de todas elementos que compõe a estrutura.

Dentro do ambiente de dimensionamento do software Mcalc3d, são inseridas as informações da geometria e as propriedades da barra metálica. Isso inclui a seleção do tipo de perfil a ser utilizado, as medidas que compõe a geometria deste perfil, juntamente com as informações do material utilizado nesta barra. O exemplo demonstrado na figura 51 trata-se de uma barra central do banzo inferior de uma tesoura da estrutura.

Figura 51 – Ferramenta de dimensionamento.

ST\_Stabile : mCalc\_Perfis

Arquivo Editar Ajuda

Perfil U (Formado a frio)

Dimensões

$b_w$  250 mm

$b_f$  100 mm

$t$  6.35 mm

Solicitações de Cálculo (kgf e cm)

Barra 2624 (1 de 2)

$N_{c,sd}$  29895.46  $V_{y,sd}$  0  $M_{y,sd}$  0  $C_b$  1

$N_{t,sd}$  -51633.48  $V_{z,sd}$  0  $M_{z,sd}$  0  $C_m$  1

Comprimentos da Barra (cm)

$K_tL_t$  149.74  $K_zL_z$  149.74  $\lambda_y$  Travej. L/ Aço ASTM A36 Selecionar

$K_yL_y$  149.74  $L_b$  149.74  $\lambda_z$  Z  $f_y$  250 MPa  $f_u$  400 MPa

Resistências de Cálculo

$N_{c,Rd}$  47859.5  $Sd/Rd = 0.625$   $V_{y,Rd}$  15118.77  $Sd/Rd = 0$

$N_{t,Rd}$  61277.5  $Sd/Rd = 0.843$   $V_{z,Rd}$  19448.32  $Sd/Rd = 0$

$M_{y,Rd}$  430454.44  $Sd/Rd = 0$   $M_{z,Rd}$  77088.38  $Sd/Rd = 0$

$\frac{N_{c,sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,sd}}{M_{z,Rd}} = 0.625$

$\frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,sd}}{M_{z,Rd}} + \frac{N_{t,sd}}{N_{t,Rd}} = 0.625$

$\frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,sd}}{M_{z,Rd}} + \frac{N_{t,sd}}{N_{t,Rd}} = 0.843$

Perfis Favoritos:

$b_w$	$b_f$	$t$
50	25	1.2
50	25	1.5
50	25	2
50	25	2.25
50	25	2.65

Adiciona Remove Selecciona

Calcular Relatório Configuração Aplicar Aplicar a Todos Sair

Fonte: Autor (2023)

A ferramenta fornece um memorial de cálculo (Anexo C) que descreve todos os cálculos e relações feitas para a verificação da resistência da barra dimensionada. Dentre eles tem-se:

1. Cálculo de tração.
2. Cálculo de compressão.
3. Cálculo da resistência à flexão – eixo Y.
4. Cálculo da resistência à flexão – eixo Z.
5. Cálculo da resistência ao cortante – eixo Y.
6. Cálculo da resistência ao cortante – eixo Z.
7. Equação de interação.

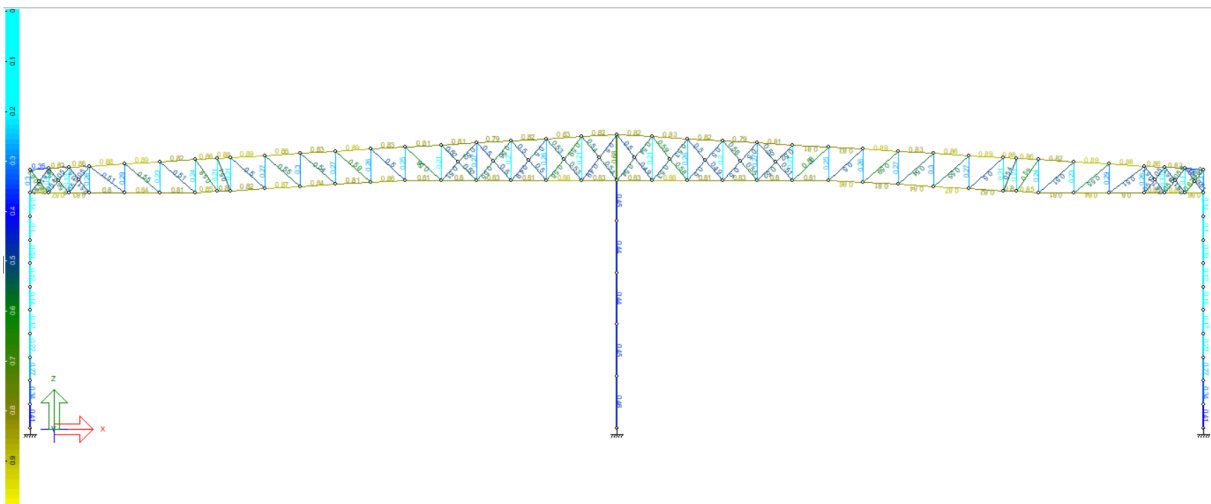
## 4.7 Dimensionamento dos pórticos

Para uma comparação mais equilibrada das duas situações de vento analisadas, foram comparados os mesmos eixos, sendo eles, eixo “C” e “D”, conforme indicado na planta do anexo A, nos dois dimensionamentos foram adotados perfis que mantenham uma mesma porcentagem de solicitação sobre a barra, conforme descrito a baixo:

- Banzo inferior e superior: 80% a 90%
- Montantes: 20% a 30%
- Diagonais: 50% a 60%
- Pilares: 80%

Para o modelo com rugosidade categoria II, aplicam-se os seguintes dimensionamentos referente ao pórtico do eixo C:

Figura 52 – Dimensionamento pórtico eixo C para Rugosidade categoria II



Fonte: Autor (2023)

Para uma melhor orientação o software traz uma régua de cores que indica a porcentagem de solicitação a qual a barra está submetida, o dimensionamento do pórtico de eixo C resultou na lista de materiais da tabela 14.



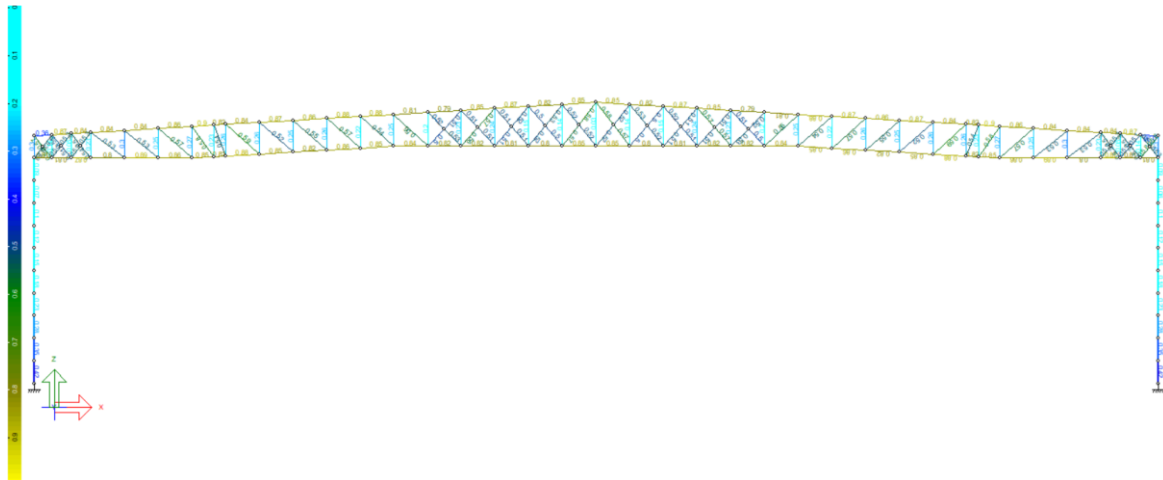
Tabela 14 – lista de materiais pórtico Eixo C para Rugosidade categoria II

Perfil	Aço	L total	Peso(kg)
[ 240 x 120 x 4.75	ASTM A36	600	103.14
[ 240 x 90 x 6.35	ASTM A36	600.01	118.02
[ 240 x 120 x 6.35	ASTM A36	1200	271.93
[ 240 x 110 x 6.35	ASTM A36	300	64.99
[ 240 x 120 x 3.75	ASTM A36	300	41.07
[ 240 x 70 x 6.35	ASTM A36	300	53.03
[ 240 x 90 x 7.93	ASTM A36	300	72.51
[ 245 x 120 x 9.52	ASTM A36	300.01	100.2
[ 140 x 90 x 3.75	ASTM A36	197.66	17.75
VS 900 142	ASTM A572 GR50	2002.34	2851.94
[ 250 x 70 x 2	ASTM A36	160.29	9.61
[ 240 x 70 x 2.65	ASTM A36	174.33	13.4
[ 240 x 90 x 3.35	ASTM A36	174.36	18.64
[ 240 x 80 x 4.75	ASTM A36	296.76	42.16
[ 240 x 90 x 3.75	ASTM A36	303.23	36.15
W 610 101	ASTM A572 GR50	1054.97	1065.52
CA 230 x 90 x 30 x 4.75	ASTM A36	195.03	62.83
[ 225 x 95 x 4.75	ASTM A36	376.45	55.59
[ 225 x 70 x 3.75	ASTM A36	837.81	86.32
[ 220 x 280 x 2.25	ASTM A36	399.27	54.37
[ 220 x 47 x 2	ASTM A36	399.23	19.18
[ 220 x 45 x 2.65	ASTM A36	399.25	24.87
[ 220 x 60 x 2.65	ASTM A36	399.25	27.36
[ 220 x 90 x 2.65	ASTM A36	399.23	32.34
[ 225 x 70 x 2	ASTM A36	506.83	28.41
[ 225 x 110 x 3	ASTM A36	246.1	25.1
[ 225 x 92 x 2.65	ASTM A36	828.12	68.63
[ 225 x 90 x 2	ASTM A36	846.05	52.73
[ 225 x 110 x 3.75	ASTM A36	282.02	35.7
[ 225 x 100 x 4.75	ASTM A36	282.02	42.69
[ 225 x 100 x 3.75	ASTM A36	300.18	36.23
[ 225 x 40 x 2	ASTM A36	1079.24	50.32
[ 225 x 45 x 2	ASTM A36	354.12	17.07
[ 225 x 65 x 3	ASTM A36	372.08	30.06
[ 225 x 80 x 3	ASTM A36	1141.41	100.26
[ 225 x 45 x 2.65	ASTM A36	278.7	17.65
[ 225 x 80 x 3.35	ASTM A36	270.61	26.44
][ 225x100x3.75x0	ASTM A36	282.02	68.08
[ 220 x 90 x 3.35	ASTM A36	396.98	40.36
[ 220 x 96 x 3.75	ASTM A36	413.7	48.35
[ 250 x 125 x 7.93	ASTM A36	300	87.45
[ 250 x 110 x 7.93	ASTM A36	600	163.7
[ 250 x 100 x 7.93	ASTM A36	599.46	156.09
[ 250 x 100 x 6.35	ASTM A36	596.23	126.19
[ 250 x 90 x 7.93	ASTM A36	193.89	48.07
[ 240 x 50 x 2	ASTM A36	160	8.34
[ 250 x 120 x 4.75	ASTM A36	174.04	30.57
[ 250 x 76 x 6.35	ASTM A36	299.46	56.22
[ 250 x 120 x 6.35	ASTM A36	299.48	69.36
[ 250 x 125 x 3.35	ASTM A36	174.02	22.27
[ 240 x 105 x 7.93	ASTM A36	106.11	27.63
[ 240 x 80 x 6.35	ASTM A36	302.68	56.52
[ 250 x 100 x 3.35	ASTM A36	598.92	68.76
[ 250 x 100 x 4.75	ASTM A36	299.46	48.13
[ 240 x 120 x 7.93	ASTM A36	299.48	83.57
[ 220 x 50 x 2	ASTM A36	295.3	14.46
[ 220 x 80 x 2.25	ASTM A36	332.52	21.79
[ 225 x 80 x 2.25	ASTM A36	710.95	47.22
[ 225 x 95 x 2.65	ASTM A36	463.76	39.01
[ 225 x 90 x 3.75	ASTM A36	969.39	111.29
[ 225 x 60 x 4.75	ASTM A36	1378.34	167.55
[ 225 x 80 x 2.65	ASTM A36	261.82	20.39
		Peso Total:	7405.56 kg

Fonte: Autor (2023)

Tem-se o seguinte dimensionamento para o pórtico do eixo D:

Figura 53 – Dimensionamento pórtico eixo D para Rugosidade categoria II



Fonte: Autor (2023)

O dimensionamento do pórtico de eixo D resultou na lista de materiais da tabela 15.

Tabela 15 – lista de materiais pórtico Eixo D para Rugosidade categoria II

Perfil	Aço	L total	Peso(kg)
[ 240 x 80 x 6.35	ASTM A36	300	56.02
[ 240 x 110 x 6.35	ASTM A36	300.01	64.99
[ 240 x 120 x 6.35	ASTM A36	1093.88	247.88
[ 240 x 100 x 7.93	ASTM A36	706.13	179.47
[ 240 x 90 x 7.93	ASTM A36	300	72.51
[ 240 x 89 x 6.35	ASTM A36	300	58.71
[ 240 x 75 x 3.75	ASTM A36	603.23	66.59
[ 240 x 70 x 4.75	ASTM A36	300	40.38
[ 240 x 70 x 6.35	ASTM A36	300	53.03
[ 140 x 80 x 3.75	ASTM A36	197.66	16.58
VS 900 142	ASTM A572 GR50	2002.34	2851.94
[ 240 x 50 x 2	ASTM A36	160.29	8.35
[ 240 x 70 x 2.65	ASTM A36	174.33	13.4
[ 240 x 80 x 3.75	ASTM A36	174.36	19.76
[ 240 x 100 x 4.75	ASTM A36	296.76	46.59
CA 230 x 75 x 30 x 3	ASTM A36	195.03	38.21
[ 225 x 95 x 4.75	ASTM A36	376.45	55.59
[ 225 x 80 x 3.75	ASTM A36	387.62	42.22
[ 220 x 65 x 2.65	ASTM A36	399.27	28.19
[ 220 x 40 x 2.65	ASTM A36	399.23	24.03
[ 220 x 50 x 2	ASTM A36	399.25	19.56
[ 220 x 55 x 2.65	ASTM A36	399.25	26.53
[ 220 x 80 x 2.65	ASTM A36	399.23	30.68
[ 225 x 50 x 2.65	ASTM A36	788.85	51.59
[ 225 x 90 x 3.35	ASTM A36	528.12	54.39
[ 225 x 92 x 2.65	ASTM A36	828.12	68.63
[ 225 x 50 x 2	ASTM A36	842.73	41.94
[ 225 x 100 x 4.75	ASTM A36	282.02	42.69
[ 225 x 95 x 3.75	ASTM A36	300.18	35.35
[ 225 x 45 x 2	ASTM A36	318.18	15.34
[ 225 x 35 x 2	ASTM A36	336.14	15.15
[ 225 x 38 x 2	ASTM A36	726.2	33.41
[ 225 x 30 x 2	ASTM A36	424.92	18.48
[ 225 x 80 x 3	ASTM A36	254.3	22.34
[ 225 x 75 x 3.75	ASTM A36	270.61	28.68
][ 225x100x3.75x0	ASTM A36	282.02	68.08
[ 220 x 70 x 3.35	ASTM A36	396.98	36.18
[ 220 x 100 x 3.75	ASTM A36	413.7	49.32
[ 250 x 125 x 7.93	ASTM A36	300	87.45
[ 250 x 100 x 9.52	ASTM A36	600	184.7
[ 250 x 110 x 7.93	ASTM A36	406.11	110.8

Fonte: Autor (2023)

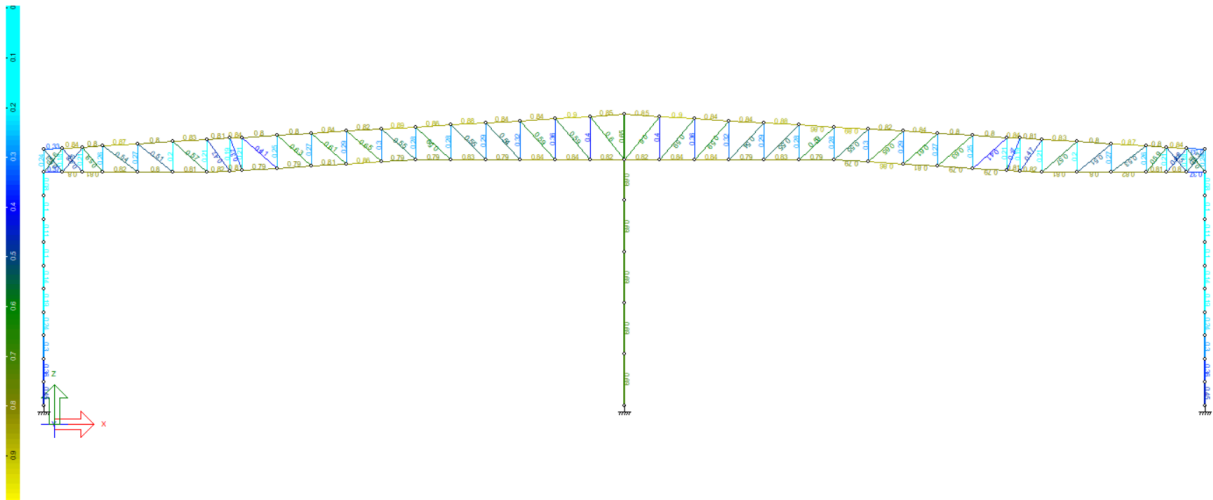
Tabela 15 – Continuação

Perfil	Aço	L total	Peso(kg)
[ 250 x 110 x 7.93	ASTM A36	406.11	110.8
[ 250 x 90 x 7.93	ASTM A36	296.77	73.58
[ 250 x 100 x 7.93	ASTM A36	493.35	128.46
[ 250 x 70 x 2.25	ASTM A36	160	10.77
[ 250 x 120 x 4.75	ASTM A36	174.04	30.57
[ 250 x 80 x 6.35	ASTM A36	299.46	57.41
[ 250 x 120 x 6.35	ASTM A36	299.48	69.36
[ 250 x 70 x 3.75	ASTM A36	174.02	19.21
[ 250 x 90 x 6.35	ASTM A36	302.68	61.05
[ 250 x 80 x 3.75	ASTM A36	299.46	34.82
[ 250 x 80 x 3	ASTM A36	299.46	28.07
[ 250 x 70 x 4.75	ASTM A36	299.46	41.43
[ 250 x 68 x 6.35	ASTM A36	299.46	53.83
[ 250 x 100 x 6.35	ASTM A36	299.48	63.39
[ 220 x 50 x 2.25	ASTM A36	295.3	16.22
[ 220 x 60 x 2.65	ASTM A36	332.52	22.79
[ 225 x 70 x 2.25	ASTM A36	710.95	44.7
[ 225 x 70 x 3	ASTM A36	1148.93	95.51
[ 225 x 95 x 3	ASTM A36	941.38	89.34
[ 225 x 60 x 4.75	ASTM A36	1870.11	227.33
[ 225 x 70 x 3.75	ASTM A36	450.19	46.38
		Peso Total:	6239.92 kg

Fonte: Autor (2023)

Para o modelo com rugosidade categoria V, tem-se os seguintes dimensionamentos referente ao pórtico do eixo C:

Figura 54 – Dimensionamento pórtico eixo C para Rugosidade categoria V



Fonte: Autor (2023)

O dimensionamento deste pórtico resultou na lista de materiais da tabela 16.

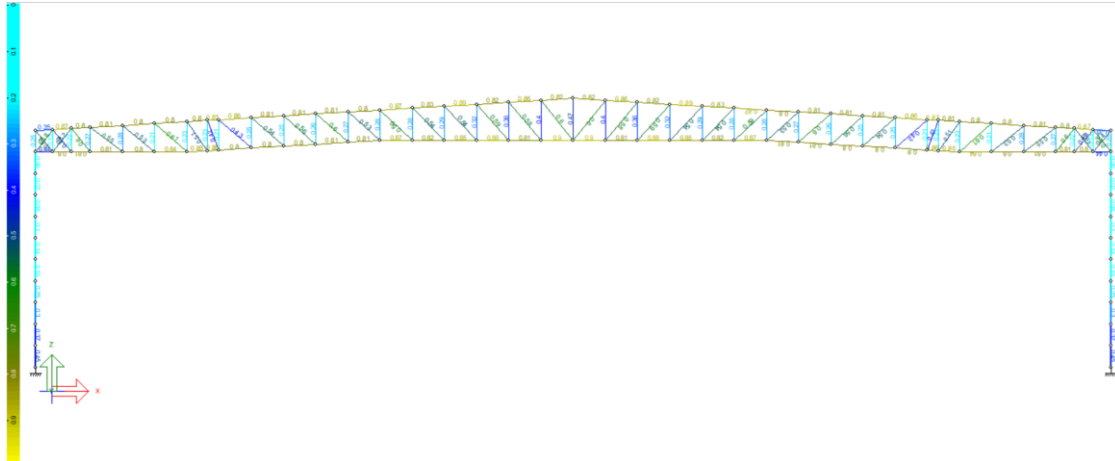
Tabela 16 – lista de materiais pórtico Eixo C para Rugosidade categoria V

Perfil	Aço	L total	Peso(kg)
[ 215 x 105 x 3.75	ASTM A36	902.68	108.95
[ 210 x 70 x 4.75	ASTM A36	899.49	111.02
[ 210 x 65 x 4.75	ASTM A36	193.87	23.2
[ 200 x 80 x 4.75	ASTM A36	299.99	38.14
[ 210 x 69 x 4.75	ASTM A36	600	73.61
[ 210 x 80 x 3.35	ASTM A36	300	28.13
[ 215 x 105 x 3	ASTM A36	300	29.18
[ 210 x 90 x 3.75	ASTM A36	300	33.12
[ 215 x 110 x 4.75	ASTM A36	300	46.53
[ 215 x 90 x 6.35	ASTM A36	300.01	55.27
[ 205 x 63 x 4.75	ASTM A36	106.13	12.35
[ 190 x 50 x 3.35	ASTM A36	443.76	32.28
VS 800 111	ASTM A36	2002.34	2232.01
[ 210 x 80 x 2	ASTM A36	160.29	9.11
[ 215 x 95 x 2.25	ASTM A36	174.34	12.19
[ 210 x 70 x 3.35	ASTM A36	174.36	15.43
[ 215 x 105 x 2.65	ASTM A36	596.22	51.4
[ 210 x 80 x 2.65	ASTM A36	303.23	22.67
W 610 82	ASTM A572 GR50	1054.97	865.08
UUE 225x75x30x4.75x0	ASTM A36	195.03	57.74
[ 190 x 70 x 3.35	ASTM A36	773.44	64.39
[ 190 x 67 x 2.65	ASTM A36	387.62	25.27
[ 190 x 50 x 2	ASTM A36	1080.52	47.84
[ 190 x 40 x 2	ASTM A36	1465.81	60.29
[ 190 x 70 x 2.25	ASTM A36	399.25	22.64
[ 190 x 70 x 2.65	ASTM A36	399.23	26.53
[ 190 x 70 x 4.75	ASTM A36	724.18	83.98
[ 190 x 75 x 4.75	ASTM A36	887.11	106.18
[ 190 x 80 x 4.75	ASTM A36	463.76	57.24
[ 190 x 85 x 4.75	ASTM A36	795.81	101.19
[ 190 x 60 x 3.75	ASTM A36	228.14	19.81
[ 190 x 50 x 3	ASTM A36	763.78	50
[ 190 x 50 x 2.25	ASTM A36	282.02	14
[ 190 x 65 x 2.65	ASTM A36	282.02	18.15
[ 190 x 60 x 3.35	ASTM A36	282.02	22
[ 190 x 95 x 4.75	ASTM A36	1062.34	143
[ 190 x 50 x 2.65	ASTM A36	1065.43	61.92
[ 190 x 70 x 3	ASTM A36	278.7	20.87
[ 190 x 60 x 4.75	ASTM A36	282.02	30.6
[ 190 x 75 x 3.75	ASTM A36	413.7	39.58
[ 210 x 73 x 6.35	ASTM A36	300	49.44
[ 210 x 74 x 6.35	ASTM A36	300	49.74
[ 210 x 70 x 6.35	ASTM A36	300	48.54
[ 215 x 80 x 4.75	ASTM A36	300	39.82
[ 215 x 70 x 4.75	ASTM A36	296.77	37.18
[ 215 x 100 x 4.75	ASTM A36	193.89	28.63
[ 210 x 69 x 2	ASTM A36	160	8.54
[ 240 x 60 x 3	ASTM A36	174.04	14.26
[ 210 x 80 x 3.75	ASTM A36	299.46	31.29
[ 210 x 73 x 4.75	ASTM A36	299.48	37.63
[ 215 x 107 x 4.75	ASTM A36	299.46	45.78
[ 250 x 60 x 2.6	ASTM A36	174.02	12.77
[ 215 x 105 x 4.75	ASTM A36	106.11	16.06
[ 215 x 90 x 2.3	ASTM A36	299.46	20.86
[ 215 x 90 x 3.35	ASTM A36	299.46	30.05
[ 210 x 75 x 6.35	ASTM A36	299.48	49.95
[ 190 x 52 x 2	ASTM A36	332.51	14.93
		Peso Total:	5408.38 kg

Fonte: Autor (2023)

Para o pórtico do eixo D:

Figura 55 – Dimensionamento pórtico eixo D para Rugosidade categoria V



Fonte: Autor (2023)

Resultando na lista de materiais da tabela 17:

Tabela 17 – lista de materiais pórtico Eixo D para Rugosidade categoria V

Perfil	Aço	L total	Peso(kgf)
[ 210 x 64 x 4.75	ASTM A36	300	35.68
[ 215 x 72 x 4.75	ASTM A36	300.01	38.03
[ 210 x 80 x 4.75	ASTM A36	300.02	39.27
[ 210 x 70 x 4.75	ASTM A36	193.87	23.93
[ 200 x 80 x 4.75	ASTM A36	599.99	76.29
[ 210 x 66 x 4.75	ASTM A36	899.46	108.33
[ 200 x 80 x 3.75	ASTM A36	300	30.47
[ 215 x 70 x 3	ASTM A36	300	24.23
[ 215 x 105 x 3.35	ASTM A36	300	32.47
[ 200 x 90 x 4.75	ASTM A36	300	40.38
[ 200 x 76 x 6.35	ASTM A36	300.01	48.84
[ 205 x 63 x 4.75	ASTM A36	106.13	12.35
[ 190 x 50 x 3.35	ASTM A36	443.76	32.28
VS 800 111	ASTM A36	2002.34	2232.01
[ 210 x 80 x 2	ASTM A36	160.29	9.11
[ 215 x 95 x 2.25	ASTM A36	174.34	12.19
[ 215 x 85 x 3.35	ASTM A36	174.36	17.04
[ 210 x 72 x 3	ASTM A36	296.76	23.9
[ 210 x 80 x 2.65	ASTM A36	303.23	22.67
UUE 225x75x30x3x0	ASTM A36	195.03	37.75
[ 190 x 70 x 3.35	ASTM A36	773.44	64.39
[ 190 x 67 x 2.65	ASTM A36	387.62	25.27
[ 190 x 50 x 2	ASTM A36	1080.52	47.84
[ 190 x 40 x 2	ASTM A36	1183.79	48.69
[ 190 x 70 x 2.25	ASTM A36	399.25	22.64
[ 190 x 75 x 2.65	ASTM A36	399.23	27.36
[ 190 x 70 x 4.75	ASTM A36	724.18	83.98
[ 190 x 75 x 4.75	ASTM A36	887.11	106.18
[ 190 x 80 x 4.75	ASTM A36	463.76	57.24
[ 190 x 85 x 4.75	ASTM A36	795.81	101.19
[ 190 x 60 x 3.75	ASTM A36	228.14	19.81
[ 190 x 50 x 3	ASTM A36	763.78	50
[ 190 x 37 x 2	ASTM A36	282.02	11.33
[ 190 x 50 x 2.25	ASTM A36	282.02	14
[ 190 x 55 x 2.65	ASTM A36	282.02	16.98
[ 190 x 55 x 3.35	ASTM A36	282.02	21.26
[ 190 x 95 x 4.75	ASTM A36	1062.34	143
[ 190 x 50 x 2.65	ASTM A36	1065.43	61.92
[ 190 x 70 x 3	ASTM A36	278.7	20.87
[ 190 x 60 x 4.75	ASTM A36	282.02	30.6
[ 190 x 75 x 3.75	ASTM A36	413.7	39.58
[ 210 x 77 x 6.35	ASTM A36	300	50.64

Fonte: Autor (2023)

Tabela 17 – Continuação

Perfil	Aço	L total	Peso(kgf)
215 x 77 x 6.35	ASTM A36	300	51.38
[ 210 x 76 x 6.35	ASTM A36	300	50.34
[ 210 x 78 x 5.56	ASTM A36	300	45.01
[ 215 x 80 x 4.75	ASTM A36	296.77	39.39
[ 215 x 100 x 4.75	ASTM A36	193.89	28.63
[ 200 x 69 x 2	ASTM A36	160	8.29
[ 210 x 90 x 3	ASTM A36	174.04	15.49
[ 217 x 100 x 3.75	ASTM A36	299.46	35.44
[ 210 x 77 x 4.75	ASTM A36	299.48	38.53
[ 215 x 107 x 4.75	ASTM A36	299.46	45.78
[ 210 x 79 x 2.65	ASTM A36	174.02	12.94
[ 215 x 105 x 4.75	ASTM A36	405.59	61.4
[ 220 x 110 x 3.75	ASTM A36	302.68	37.87
[ 215 x 80 x 3	ASTM A36	299.46	25.6
[ 215 x 90 x 2.3	ASTM A36	299.46	20.86
[ 215 x 90 x 3	ASTM A36	299.46	27.01
[ 190 x 52 x 2	ASTM A36	332.51	14.93
		Peso Total:	4520.89 kg

Fonte: Autor (2023)

#### 4.8 Máximos deslocamentos

Foram coletados os valores máximos de deslocamento de cada pórtico para cada situação de vento, estes valores foram feitas as verificações conforme a NBR8800:2008 de acordo com a tabela de deslocamentos máximos (Anexo D).

##### 4.8.1 Deslocamentos pórtico C para Rugosidade categoria II

Os deslocamentos máximos do pórtico C para rugosidade categoria II são descritos na tabela 18, identificando o eixo de direção, o nó em que estão atuando e as combinações de onde se originam.

Tabela 18 – Deslocamentos máximos no pórtico C para Rugosidade categoria II

Eixo C	Deslocamento máximo	Deslocamento (mm)	nó	Comb.
	x	26,93	268	5
	y	20,35	266	7
	z	63,46	1797	5

Fonte: Autor (2023)

Para no eixo x tem-se 26,93mm de deslocamento no nó 268 que corresponde ao nó da barra do banzo superior da tesoura, conforme a tabela do Anexo D, o limite

para uma viga de cobertura é dado por  $L/250$ , o vão  $L$  da tesoura entre apoios é de 25000mm resultando em um limite de:

$$\frac{25000}{250} = 100\text{mm} > 26,93\text{mm} \leftrightarrow \text{ok!}$$

O deslocamento em  $y$  é de 20,35mm no nó 266, que se trata de do nó de uma barra do banzo superior da tesoura, aplicando a mesma equação de limite do caso anterior Tem-se:

$$\frac{25000}{250} = 100\text{mm} > 20,35\text{mm} \leftrightarrow \text{ok!}$$

No eixo  $z$  é de 63,46mm localizado no nó 1797 do pórtico, deslocamento na barra do banzo inferior da tesoura, encontra-se o seguinte limite:

$$\frac{25000}{250} = 100\text{mm} > 63,46\text{mm} \leftrightarrow \text{ok!}$$

#### 4.8.2 Deslocamentos pórtico D para Rugosidade categoria II

Os deslocamentos máximos no pórtico do eixo D para rugosidade categoria II, são:

Tabela 19 – Deslocamentos máximos no pórtico C para Rugosidade categoria II

EIXO D	Deslocamento máximo	Deslocamento (mm)	nó	Comb.
	x	28,14	518	9
	y	20,15	220	3
	z	73,57	1730	9

Fonte: Autor (2023)

No eixo  $x$  o deslocamento é de 28,14mm localizado no nó 518, localiza-se no topo do pilar, conforme a NBR8800:2008 para deslocamento horizontal no topo de pilares para galpões em geral o limite de deslocamento é dado por  $H/300$ , sendo  $H$  o comprimento do pilar que equivale a 10000mm, sendo assim tem-se:

$$\frac{10000}{300} = 33,33\text{mm} > 28,14\text{mm} \leftrightarrow \text{ok!}$$

Para o eixo  $y$  se obtém o deslocamento de 20,15mm no nó 220, que fica na barra do banzo superior da tesoura, para este tem-se o seguinte limite:

$$\frac{25000}{250} = 100mm > 20,15mm \leftrightarrow ok!$$

Referente ao eixo z o deslocamento equivale a 73,57mm sendo o nó 1730, que faz parte da barra do banzo inferior da tesoura, com um limite de:

$$\frac{25000}{250} = 100mm > 73,57mm \leftrightarrow ok!$$

#### 4.8.3 Deslocamentos pórtico C para Rugosidade categoria V

Os valores dos máximos deslocamentos no pórtico do eixo C para Rugosidade categoria V, estão descritas na tabela 20, com seu valor, o nó em que se encontra e a sua combinação de origem.

Tabela 20 – Deslocamentos máximos no pórtico C para Rugosidade categoria V

Eixo C	Deslocamento máximo	Deslocamento (mm)	nó	Comb.
	x	23,11	242	5
	y	12,13	240	7
	z	52,87	2873	5

Fonte: Autor (2023)

Para o eixo x tem-se, 23,11mm de deslocamento máximo, no nó 242, que se localiza na barra do banzo superior, resultando em um limite de:

$$\frac{25000}{250} = 100mm > 23,11mm \leftrightarrow ok!$$

No eixo Y o deslocamento equivale a 12,13mm, sobre o nó 240 que está na barra do banzo superior da tesoura, com um limite de:

$$\frac{25000}{250} = 100mm > 12,13mm \leftrightarrow ok!$$

O deslocamento do eixo z é de 52,87mm, no nó 2873, localizado na barra do banzo inferior da tesoura, tendo como limite de deslocamento:

$$\frac{25000}{250} = 100mm > 52,87mm \leftrightarrow ok!$$



#### 4.8.4 Deslocamentos pórtico D para Rugosidade categoria V

o pórtico do eixo D possui os seguintes deslocamentos:

Tabela 21 – Deslocamentos máximos no pórtico D para Rugosidade categoria V

Eixo D	Deslocamento máximo	Deslocamento (mm)	nó	Comb.
	x	23,96	510	5
	y	11,42	511	3
	z	59,65	2841	5

Fonte: Autor (2023)

No eixo x o deslocamento é de 23,96mm, sobre o nó 510 que fica no topo do pilar, resultando em um limite de deslocamento de:

$$\frac{10000}{300} = 33,33mm > 23,96mm \leftrightarrow ok!$$

Sobre o eixo y tem-se o deslocamento de 11,42mm, no nó 511, localizado na barra do banzo superior da tesoura, nos dá um limite de deslocamento de:

$$\frac{25000}{250} = 100mm > 11,42mm \leftrightarrow ok!$$

Em z o deslocamento é de 59,65mm, localizado no nó 2841, nó da barra do banzo inferior da tesoura, com um limite de:

$$\frac{25000}{250} = 100mm > 59,65mm \leftrightarrow ok!$$

#### 4.9 Dimensionamento de terças

O dimensionamento das terças tanto de cobertura como de fechamento para as duas situações de vento foram feitos utilizando o software ST\_Terças 2, feito pelo mesmo desenvolvedor do software Mcalc3d, segue um breve resumo dos perfis adotados para as terças das duas estruturas.

Para rugosidade categoria II, tem-se:

- Terças de Cobertura: C 300x85x25x2mm
- Terça de fechamento: C 300x100x25x3.75

Para rugosidade categoria V, tem-se:

- Terças de Cobertura: C 300x85x25x2mm
- Terça de fechamento: C 300x100x25x3.75

Juntos nos anexos se encontram os relatórios completos do dimensionamento desta terças que o ST\_Terças2 fornece, demonstrando todos os esforços considerados e os cálculos empregas para a definição destes perfis citados acima.

#### 4.10 Peso total da estrutura

o peso total da estrutura é correspondente ao somatório do dimensionamento de todos os elementos que compõem o pavilhão, componentes estes descritos no item 4.1 deste trabalho.

A lista de materiais completa das duas estruturas encontram-se junto aos anexos, tem-se uma descrição dos valores totais destes dimensionamentos.

Para a situação de Rugosidade categoria II, tem-se:

- Peso total: 153231.72 kg

Para a situação de Rugosidade categoria V, tem-se:

- Peso total: 105327.17 kg

#### 4.11 Comparação de quantidade de aço e deslocamentos

Tabela 22 – Comparações de aço e deslocamentos

	Portico Eixo - C			Portico Eixo - D		
	Categoria II	Categoria V	%	Categoria II	Categoria V	%
Peso do portico (kg)	7405,56	6239,92	15,74%	5408,38	4520,89	16,41%
Deslocamento - x (mm)	26,93	23,11	14,18%	28,14	23,96	14,85%
Deslocamento - y (mm)	20,35	12,13	40,39%	20,15	11,42	43,33%
Deslocamento - z (mm)	63,46	52,87	16,69%	73,57	59,65	18,92%
<b>Peso Total (kg)</b>						
	<b>Categoria II</b>			<b>Categoria V</b>		<b>%</b>
	153.231,72			105.327,17		31,26%

Fonte: Autor (2023)

## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho abordou a influência dos ventos no dimensionamento de uma estrutura metálica, verificou-se quais os impactos causados devido à mudança na categoria de rugosidade do terreno, fica evidente que a escolha adequada desta categoria desempenha um papel fundamental na determinação das cargas de vento que atuam sobre a estrutura, influenciando no dimensionamento da estrutura.

Primeiramente foi feita a modelagem do pavilhão com dimensões de 50 metros de vão, num total de 11 pórticos espaçados a cada 10 metros, considerando uma velocidade inicial correspondendo a região de Santa Cruz do Sul resultando em dois dimensionamentos distintos, devido à variação da rugosidade categoria II para rugosidade categoria V, seguindo as orientações da NBR 6123:1988.

Observa-se que a utilização da rugosidade categoria II, resulta em uma pressão dinâmica maior, o que resulta em uma estrutura mais pesada, observando um acréscimo de aço na comparação do pórtico no eixo C de 1165,64kgo que representa uma redução de 15,74% e uma diferença de peso de 887,49kg para o pórtico D resultando em uma redução de 16,41%. No que se refere aos deslocamentos, como foram utilizados perfis que mantiveram quase a mesma solicitação nas duas situações apresentando pouca variação destes valores, entre os dois pórticos tem-se uma variação de média de 15% no deslocamento em x, de 42% no deslocamento em y e de 18% para z.

Conseqüentemente, quando se analisou-se a estrutura completa, onde engloba o dimensionamento de vigas de transição, terças de cobertura e fechamento e travamentos, todos dimensionados conforme a solicitação de cada uma das situações de vento, pois com a utilização do software Mcalc3d que por trabalham em um ambiente tridimensional nos possibilita o dimensionamento dos demais elementos que compõe a estrutura, chegando a um peso total de 153.231,72 kg para categoria II e 105.327,17 kg para categoria V, o que dá uma diferença de 47.904,55kg, representando uma redução de 31,26% de um peso total para outro.

Ressalta-se que não foram dimensionadas as ligações entre os elementos, não sendo incluído o peso das mesmas nos resultados, tornando-se uma sugestão para trabalhos futuros.

Essa diferença de peso entre os dois dimensionamentos ressalta a importância de considerar adequadamente o fator de rugosidade do terreno no projeto e na análise estrutural. Ao considerar as características específicas do ambiente em que a estrutura será construída, é possível garantir a segurança e a eficiência da estrutura, evitando problemas como instabilidades e falhas estruturais, e obtendo uma solução mais adequada no ponto de vista econômico.

Em suma, os resultados deste trabalho reforçam a necessidade de considerar o fator de rugosidade do terreno na ação do vento ao dimensionar estruturas metálicas. A escolha adequada deste fator, levando em conta as características do ambiente em que a estrutura será implantada, é essencial para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas, proporcionando um desempenho confiável e adequado às condições do local.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar a comparação do dimensionamento das ligações das estruturas
- Modificar os pórticos, utilizando perfis de alma cheia tanto nos pilares como nas tesouras.
- Dimensionar as bases dos pilares para as duas situações de rugosidade do terreno.
- Fazer o dimensionamento da estrutura para pórticos com elementos treliçados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6123:1988 Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro, 2013.

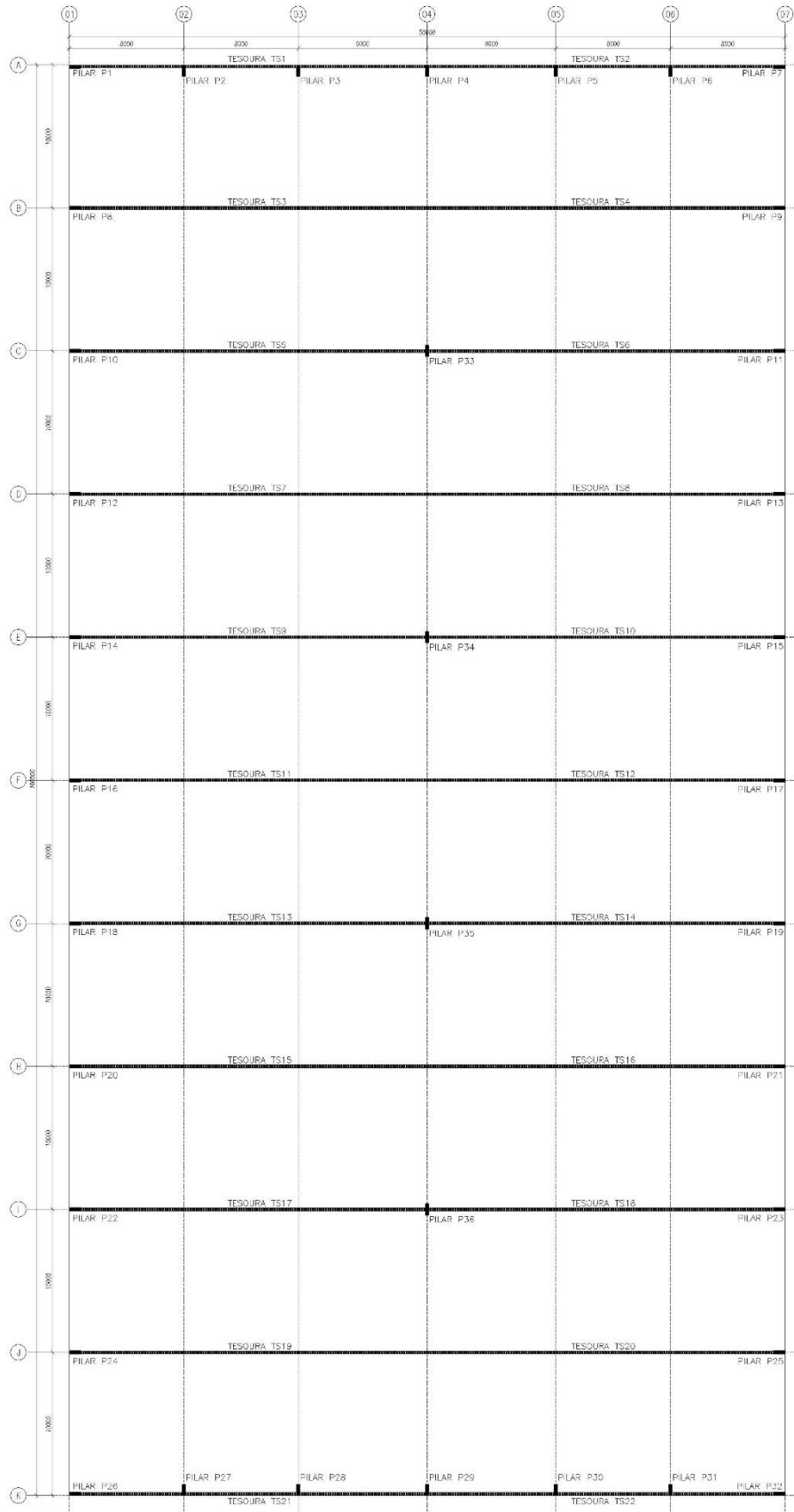
PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. *Estruturas de aço: dimensionamento prático*. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

BLESSMANN, Joaquim. *Acidentes causados pelo vento*. 4. ed. rev. e ampl Porto Alegre: UFRGS, 2001.

BLESSMANN, Joaquim. *Ação do vento em telhados*. Porto Alegre: SAGRA, 1991.

BELLEI, Ildony H. *Edifícios industriais em aço: projeto e cálculo*. 4. ed São Paulo: Pini, 2003.

### ANEXO A – Planta baixa da estrutura.



Fonte: Autor (2023)

## ANEXO B – Dados técnicos telhas.

### Detalhes Técnicos

TRAPEZOIDAL TP-40																				
Nº de Apoios	Espes Aço (mm)	Peso Kg/m²	Distância entre apoios ou vãos																	
			1,80		2,00		2,20		2,40		2,60		2,80		3,00		3,20		3,40	
			COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC
▲	0,43	4,13	142	142	114	106	94	78	78											
	0,50	4,81	168	168	135	125	111	93	92	70	78									
	0,65	6,25	223	223	180	167	147	124	123	94	104	73	89		76					
▲▲	0,43	4,13	142	142	114	106	94	78	78											
	0,50	4,81	168	168	135	125	111	93	92	70	78									
	0,65	6,25	223	223	180	167	147	124	123	94	104	73	89		76					
▲▲▲	0,43	4,13	226	226	169	169	138	137	113	115	95	97	82	82						
	0,50	4,81	264	264	195	195	162	161	133	133	113	112	96	96	83	83				
	0,65	6,25	292	292	256	256	210	210	178	176	149	149	127	127	110	110	96	96		

Fonte: Catálogo de telhas ISOESTE



## ANEXO C – Memorial de cálculo para dimensionamento de barras.

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

### Perfil U (Formado a frio)

Perfil: [ 250 x 100 x 7.93

Aço: ASTM A36  $f_y = 250$  MPa  $f_u = 400$  MPa

### COMPRIIMENTOS DA BARRA

$K_t L_t = 149.73$  cm  $K_z L_z = 149.73$  cm

$K_y L_y = 149.73$  cm  $L_b = 149.73$  cm

## 1. Cálculo da Tração

$C_T = 1.00$  Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 75385.46 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 80411.16 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 75385.46 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0.30 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 2. Cálculo da Compressão

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 2630974.95 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K_z \cdot L_z)^2} = 271599.19 \text{ kgf}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_t \cdot L_t)^2} + G \cdot J \right] = 262573.70 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2}{r_o^2} = 0.77$$

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \cdot H} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{et} \cdot H}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right] = 256118.35 \text{ kgf}$$

$$N_e = 256118.35 \text{ kgf}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 0.57$$

$$\lambda_o \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_o)^2 = 0.87$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 33.17 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 60345.60 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 33.17 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 69103.34 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 60345.60 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0.87 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

### 3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

#### 3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 33.17 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 2988.17 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0.00 \text{ cm} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$Y_{G \text{ final}} = Y_G + d = 12.50 \text{ cm} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 2988.17 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 239.05 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{xRd}^{PL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 543302.79 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

#### 3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot r_o \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{et}} = 3035453.53 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 239.05 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0.44 \quad \lambda_o \leq 0,6 \quad \text{então} \quad \chi_{FLT} = 1,0$$

$$\chi_{FLT} = 1.00 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão} \quad \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 2500.00 \text{ kgf/cm}^2$$

$$A_{ef} = 33.17 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 2988.17 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0.00 \text{ cm} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$Y_{G \text{ final}} = Y_G + d = 12.50 \text{ cm} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 2988.17 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{cef} = \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 239.05 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{xRd}^{FLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 543302.79 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT}$$

$$M_{xRd} = 543302.79 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0.00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z

### 4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$\begin{aligned} A_{ef} &= 33.17 \text{ cm}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\ I_{yef} &= 308.47 \text{ cm}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z} \\ d &= 0.00 \text{ cm} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\ X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 7.40 \text{ cm} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\ I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 308.47 \text{ cm}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\ W_{ef} &= \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 41.67 \text{ cm}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\ M_{yRd} &= \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 94709.71 \text{ kgf.cm} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Z} \end{aligned}$$

### 4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$\begin{aligned} C_s &= -1.00 \\ C_m &= 1.00 \\ j &= 13.66 \text{ cm} && \text{Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010} \\ M_e &= \frac{C_s \cdot N_{ey}}{C_m} \cdot \left[ j + C_s \cdot \sqrt{j^2 + r_0^2 \cdot \left( \frac{N_{et}}{N_{ey}} \right)} \right] = 1220962.45 \text{ kgf.cm} && \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção} \\ W_c &= 41.67 \text{ cm}^3 && \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida} \\ \lambda_o &= \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0.29 && \lambda_o \leq 0,6 \quad \text{então} \quad \chi_{FLT} = 1,0 \end{aligned}$$

$$\chi_{FLT} = 1.00 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão} \quad \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 2500.00 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{ef} &= 33.17 \text{ cm}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\ I_{yef} &= 308.47 \text{ cm}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z} \\ d &= 0.00 \text{ cm} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\ X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 7.40 \text{ cm} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\ I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 308.47 \text{ cm}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\ W_{ef} &= \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 41.67 \text{ cm}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\ M_{yRd}^{FLT} &= \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 94709.71 \text{ kgf.cm} && \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT} \\ M_{yRd} &= 94709.71 \text{ kgf.cm} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y} \\ \frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} &= \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0.00 < 1,00 \quad \text{OK!} \end{aligned}$$

## 5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 10.61 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5.00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68.31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88.54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \quad \text{então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdy} = 18197.19 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0.00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z

$$\lambda = \frac{h}{t} = 27.53 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5.00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68.31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88.54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \quad \text{então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdz} = 23604.01 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{zSd}}{V_{zRd}} = 0.00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0.87$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0.30$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0.30$$

## ANEXO D – Deslocamentos máximos

Descrição	$\delta^a$
- Travessas de fechamento	$L/180^b$
	$L/120^{c,d}$
- Terças de cobertura <sup>g)</sup>	$L/180^e$
	$L/120^f$
- Vigas de cobertura <sup>g)</sup>	$L/250^h$
- Vigas de piso	$L/350^h$
- Vigas que suportam pilares	$L/500^h$
Vigas de rolamento: <sup>j)</sup>	
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 kN	$L/600^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN, exceto pontes siderúrgicas	$L/800^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN	$L/1000^i$
- Deslocamento horizontal, exceto para pontes rolantes siderúrgicas	$L/400$
- Deslocamento horizontal para pontes rolantes siderúrgicas	$L/600$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/300$
- Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	$H/400^{k,l}$
Edifícios de dois ou mais pavimentos:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/400$
- Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$h/500^m$
Lajes mistas	Ver Anexo Q

<sup>a</sup>  $L$  é o vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço,  $H$  é a altura total do pilar (distância do topo à base) ou a distância do nível da viga de rolamento à base,  $h$  é a altura do andar (distância entre centros das vigas de dois pisos consecutivos ou entre centros das vigas e a base no caso do primeiro andar).

<sup>b</sup> Deslocamento paralelo ao plano do fechamento (entre linhas de tirantes, caso estes existam).

<sup>c</sup> Deslocamento perpendicular ao plano do fechamento.

<sup>d</sup> Considerar apenas as ações variáveis perpendiculares ao plano de fechamento (vento no fechamento) com seu valor característico.

<sup>e</sup> Considerar combinações raras de serviço, utilizando-se as ações variáveis de mesmo sentido que o da ação permanente.

<sup>f</sup> Considerar apenas as ações variáveis de sentido oposto ao da ação permanente (vento de sucção) com seu valor característico.

<sup>g</sup> Deve-se também evitar a ocorrência de empoçamento, com atenção especial aos telhados de pequena declividade.

<sup>h</sup> Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob uma viga, solidarizadas com essa viga, o deslocamento vertical também não deve exceder a 15 mm.

<sup>i</sup> Valor não majorado pelo coeficiente de impacto.

<sup>j</sup> Considerar combinações raras de serviço.

<sup>k</sup> No caso de pontes rolantes siderúrgicas, o deslocamento também não pode ser superior a 50 mm.

<sup>l</sup> O diferencial do deslocamento horizontal entre pilares do pórtico que suportam as vigas de rolamento não pode superar 15 mm.

<sup>m</sup> Tomar apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos de corpo rígido provocados pelas deformações axiais dos pilares e vigas.

Fonte: ABENT NBR 8800:2008

### Anexo E – Carga finais vento 0° e 180° para rugosidade categoria II

Rugosidade II   Vento 0° e 180°				
Eixo	Elem.	$F_{x_{\pm}}$ (kgf/cm)	$F_{y_{\pm}}$ (kgf/cm)	$F_{z_{\pm}}$ (kgf/cm)
Eixo "A"	P1	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17$ (-)	$(117,14 \times 0,3 \times 4) / 100 = 1,41$ (+)	-
	P2	-	$(117,14 \times 0,3 \times 8) / 100 = 2,81$ (+)	-
	P3	-	$(117,14 \times 0,3 \times 8,5) / 100 = 2,99$ (+)	-
	P4	-	$(117,14 \times 0,3 \times 9) / 100 = 3,16$ (+)	-
	P5	-	$(117,14 \times 0,3 \times 8,5) / 100 = 2,99$ (+)	-
	P6	-	$(117,14 \times 0,3 \times 8) / 100 = 2,81$ (+)	-
	P7	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17$ (+)	$(117,14 \times 0,3 \times 4) / 100 = 1,41$ (+)	-
	TS1	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17$ (+)
	TS2	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17$ (+)
Eixo "B"	P08	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (-)	-	-
	P09	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (+)	-	-
	TS3	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (+)
	TS4	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (+)
Eixo "C"	P10	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (-)	-	-
	P11	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (+)	-	-
	TS5	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (+)
	TS6	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (+)
Eixo "D"	P12	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (-)	-	-
	P13	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (+)	-	-
	TS7	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (+)
	TS8	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (+)
Eixo "E"	P14	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (-)	-	-
	P15	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (+)	-	-
	TS9	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (+)
	TS10	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (+)

Fonte: Autor (2023)

### ANEXO E – Conclusão

Eixo "F"	P16	$(117,14 \times 0,6 \times 10) / 100 = 3,51 (-)$	-	-
	P17	$(117,14 \times 0,6 \times 10) / 100 = 3,52 (+)$	-	-
	TS11	-	-	$(117,14 \times 0,6 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
	TS12	-	-	$(117,14 \times 0,6 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
Eixo "G"	P18	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 (-)$	-	-
	P19	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 (+)$	-	-
	TS13	-	-	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 (+)$
	TS14	-	-	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 (+)$
Eixo "H"	P20	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 (-)$	-	-
	P21	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 (+)$	-	-
	TS15	-	-	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 (+)$
	TS16	-	-	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 (+)$
Eixo "I"	P22	$(117,14 \times 0,8 \times 10) / 100 = 9,37 (-)$	-	-
	P23	$(117,14 \times 0,8 \times 10) / 100 = 9,37 (+)$	-	-
	TS17	-	-	$(117,14 \times 0,8 \times 10) / 100 = 9,37 (+)$
	TS18	-	-	$(117,14 \times 0,8 \times 10) / 100 = 9,37 (+)$
Eixo "J"	P24	$(117,14 \times 0,8 \times 10) / 100 = 9,37 (-)$	-	-
	P25	$(117,14 \times 0,8 \times 10) / 100 = 9,37 (+)$	-	-
	TS19	-	-	$(117,14 \times 0,8 \times 10) / 100 = 9,37 (+)$
	TS20	-	-	$(117,14 \times 0,8 \times 10) / 100 = 9,37 (+)$
Eixo "K"	P26	$(117,14 \times 0,8 \times 5) / 100 = 4,69 (-)$	$(117,14 \times 0,7 \times 4) / 100 = 3,28 (+)$	-
	P27	-	$(117,14 \times 0,7 \times 8) / 100 = 6,56 (+)$	-
	P28	-	$(117,14 \times 0,7 \times 8,5) / 100 = 6,97 (+)$	-
	P29	-	$(117,14 \times 0,7 \times 9) / 100 = 7,38 (+)$	-
	P30	-	$(117,14 \times 0,7 \times 8,5) / 100 = 6,97 (+)$	-
	P31	-	$(117,14 \times 0,7 \times 8) / 100 = 6,56 (+)$	-
	P32	$(117,14 \times 0,8 \times 5) / 100 = 4,69 (+)$	$(117,14 \times 0,7 \times 4) / 100 = 3,28 (+)$	-
	TS21	-	-	$(117,14 \times 0,8 \times 5) / 100 = 4,69 (+)$
	TS22	-	-	$(117,14 \times 0,8 \times 5) / 100 = 4,69 (+)$

Fonte: Autor (2023)

### ANEXO F – Carga finais vento 90° e 270° para rugosidade categoria II

Rugosidade II - $q = 117,14 \text{ Kg/m}^2$   Vento 90° e 270°				
Eixo	Elem.	$Fx^{\pm} \text{ (kgf/cm)}$	$Fy^{\pm} \text{ (kgf/cm)}$	$Fz^{\pm} \text{ (kgf/cm)}$
Eixo "A"	P1	$(117,14 \times 0,5 \times 5) / 100 = 2,93 \text{ (-)}$	$(117,14 \times 0,5 \times 4) / 100 = 2,34 \text{ (+)}$	-
	P2	-	$(117,14 \times 0,5 \times 8) / 100 = 4,69 \text{ (+)}$	-
	P3	-	$(117,14 \times 0,5 \times 8,5) / 100 = 4,98 \text{ (+)}$	-
	P4	-	$(117,14 \times 0,7 \times 9) / 100 = 7,38 \text{ (+)}$	-
	P5	-	$(117,14 \times 0,9 \times 8,5) / 100 = 8,96 \text{ (+)}$	-
	P6	-	$(117,14 \times 0,9 \times 8) / 100 = 8,43 \text{ (+)}$	-
	P7	$(117,14 \times 0,7 \times 5) / 100 = 4,1 \text{ (-)}$	$(117,14 \times 0,9 \times 4) / 100 = 4,22 \text{ (+)}$	-
	TS1	-	-	$(117,14 \times 0,4 \times 5) / 100 = 2,34 \text{ (+)}$
	TS2	-	-	$(117,14 \times 0,87 \times 5) / 100 = 5,1 \text{ (+)}$
Eixo "B"	P08	$(117,14 \times 0,5 \times 10) / 100 = 5,86 \text{ (-)}$	-	-
	P09	$(117,14 \times 0,7 \times 10) / 100 = 8,2 \text{ (-)}$	-	-
	TS3	-	-	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 \text{ (+)}$
	TS4	-	-	$(117,14 \times 0,87 \times 10) / 100 = 10,19 \text{ (+)}$
Eixo "C"	P10	$(117,14 \times 0,5 \times 10) / 100 = 5,86 \text{ (-)}$	-	-
	P11	$(117,14 \times 0,7 \times 10) / 100 = 8,2 \text{ (-)}$	-	-
	TS5	-	-	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 \text{ (+)}$
	TS6	-	-	$(117,14 \times 0,87 \times 10) / 100 = 10,19 \text{ (+)}$
Eixo "D"	P12	$(117,14 \times 0,5 \times 10) / 100 = 5,86 \text{ (-)}$	-	-
	P13	$(117,14 \times 0,7 \times 10) / 100 = 8,2 \text{ (-)}$	-	-
	TS7	-	-	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 \text{ (+)}$
	TS8	-	-	$(117,14 \times 0,87 \times 10) / 100 = 10,19 \text{ (+)}$
Eixo "E"	P14	$(117,14 \times 0,5 \times 10) / 100 = 5,86 \text{ (-)}$	-	-
	P15	$(117,14 \times 0,7 \times 10) / 100 = 8,2 \text{ (-)}$	-	-
	TS9	-	-	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 \text{ (+)}$
	TS10	-	-	$(117,14 \times 0,87 \times 10) / 100 = 10,19 \text{ (+)}$

Fonte: Autor (2023)



## ANEXO F – Conclusão

Eixo "F"	P16	$(117,14 \times 0,5 \times 10) / 100 = 5,86 (-)$	-	-
	P17	$(117,14 \times 0,7 \times 10) / 100 = 8,2 (-)$	-	-
	TS11	-	-	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 (+)$
	TS12	-	-	$(117,14 \times 0,87 \times 10) / 100 = 10,19 (+)$
Eixo "G"	P18	$(117,14 \times 0,5 \times 10) / 100 = 5,86 (-)$	-	-
	P19	$(117,14 \times 0,7 \times 10) / 100 = 8,2 (-)$	-	-
	TS13	-	-	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 (+)$
	TS14	-	-	$(117,14 \times 0,87 \times 10) / 100 = 10,19 (+)$
Eixo "H"	P20	$(117,14 \times 0,5 \times 10) / 100 = 5,86 (-)$	-	-
	P21	$(117,14 \times 0,7 \times 10) / 100 = 8,2 (-)$	-	-
	TS15	-	-	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 (+)$
	TS16	-	-	$(117,14 \times 0,87 \times 10) / 100 = 10,19 (+)$
Eixo "I"	P22	$(117,14 \times 0,5 \times 10) / 100 = 5,86 (-)$	-	-
	P23	$(117,14 \times 0,7 \times 10) / 100 = 8,2 (-)$	-	-
	TS17	-	-	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 (+)$
	TS18	-	-	$(117,14 \times 0,87 \times 10) / 100 = 10,19 (+)$
Eixo "J"	P24	$(117,14 \times 0,5 \times 10) / 100 = 5,86 (-)$	-	-
	P25	$(117,14 \times 0,7 \times 10) / 100 = 8,2 (-)$	-	-
	TS19	-	-	$(117,14 \times 0,4 \times 10) / 100 = 4,69 (+)$
	TS20	-	-	$(117,14 \times 0,87 \times 10) / 100 = 10,19 (+)$
Eixo "K"	P26	$(117,14 \times 0,5 \times 5) / 100 = 2,93 (-)$	$(117,14 \times 0,5 \times 4) / 100 = 2,34 (-)$	-
	P27	-	$(117,14 \times 0,5 \times 8) / 100 = 4,69 (-)$	-
	P28	-	$(117,14 \times 0,5 \times 8,5) / 100 = 4,98 (-)$	-
	P29	-	$(117,14 \times 0,7 \times 9) / 100 = 7,38 (-)$	-
	P30	-	$(117,14 \times 0,9 \times 8,5) / 100 = 8,96 (-)$	-
	P31	-	$(117,14 \times 0,9 \times 8) / 100 = 8,43 (-)$	-
	P32	$(117,14 \times 0,7 \times 5) / 100 = 4,1 (-)$	$(117,14 \times 0,9 \times 4) / 100 = 4,22 (-)$	-
	TS21	-	-	$(117,14 \times 0,4 \times 5) / 100 = 2,34 (+)$
	TS22	-	-	$(117,14 \times 0,87 \times 5) / 100 = 5,1 (+)$

Fonte: Autor (2023)

### ANEXO G – Carga finais vento 0° e 180° para rugosidade categoria V

Rugosidade V   Vento 0° e 180°				
Eixo	Elem.	$F_{x\pm}$ (kgf/cm)	$F_{y\pm}$ (kgf/cm)	$F_{z\pm}$ (kgf/cm)
Eixo "A"	P1	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61$ (-)	$(61,06 \times 0,3 \times 4) / 100 = 0,73$ (+)	-
	P2	-	$(61,06 \times 0,3 \times 8) / 100 = 1,47$ (+)	-
	P3	-	$(61,06 \times 0,3 \times 8,5) / 100 = 1,55$ (+)	-
	P4	-	$(61,06 \times 0,3 \times 9) / 100 = 1,65$ (+)	-
	P5	-	$(61,06 \times 0,3 \times 8,5) / 100 = 1,55$ (+)	-
	P6	-	$(61,06 \times 0,3 \times 8) / 100 = 1,47$ (+)	-
	P7	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61$ (+)	$(61,06 \times 0,3 \times 4) / 100 = 0,73$ (+)	-
	TS1	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61$ (+)
	TS2	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61$ (+)
Eixo "B"	P08	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (-)	-	-
	P09	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (+)	-	-
	TS3	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (+)
	TS4	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (+)
Eixo "C"	P10	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (-)	-	-
	P11	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (+)	-	-
	TS5	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (+)
	TS6	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (+)
Eixo "D"	P12	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (-)	-	-
	P13	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (+)	-	-
	TS7	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (+)
	TS8	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (+)
Eixo "E"	P14	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (-)	-	-
	P15	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (+)	-	-
	TS9	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (+)
	TS10	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (+)

Fonte: Autor (2023)

## ANEXO G – Conclusão

Eixo "F"	P16	$(61,06 \times 0,6 \times 10) / 100 = 1,83 (-)$	-	-
	P17	$(61,06 \times 0,6 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$	-	-
	TS11	-	-	$(61,06 \times 0,6 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
	TS12	-	-	$(61,06 \times 0,6 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
Eixo "G"	P18	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44 (-)$	-	-
	P19	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44 (+)$	-	-
	TS13	-	-	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44 (+)$
	TS14	-	-	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44 (+)$
Eixo "H"	P20	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44 (-)$	-	-
	P21	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44 (+)$	-	-
	TS15	-	-	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44 (+)$
	TS16	-	-	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44 (+)$
Eixo "I"	P22	$(61,06 \times 0,8 \times 10) / 100 = 4,88 (-)$	-	-
	P23	$(61,06 \times 0,8 \times 10) / 100 = 4,88 (+)$	-	-
	TS17	-	-	$(61,06 \times 0,8 \times 10) / 100 = 4,88 (+)$
	TS18	-	-	$(61,06 \times 0,8 \times 10) / 100 = 4,88 (+)$
Eixo "J"	P24	$(61,06 \times 0,8 \times 10) / 100 = 4,88 (-)$	-	-
	P25	$(61,06 \times 0,8 \times 10) / 100 = 4,88 (+)$	-	-
	TS19	-	-	$(61,06 \times 0,8 \times 10) / 100 = 4,88 (+)$
	TS20	-	-	$(61,06 \times 0,8 \times 10) / 100 = 4,88 (+)$
Eixo "K"	P26	$(61,06 \times 0,8 \times 5) / 100 = 2,44 (-)$	$(61,06 \times 0,7 \times 4) / 100 = 1,71 (+)$	-
	P27	-	$(61,06 \times 0,7 \times 8) / 100 = 3,42 (+)$	-
	P28	-	$(61,06 \times 0,7 \times 8,5) / 100 = 3,63 (+)$	-
	P29	-	$(61,06 \times 0,7 \times 9) / 100 = 3,85 (+)$	-
	P30	-	$(61,06 \times 0,7 \times 8,5) / 100 = 3,63 (+)$	-
	P31	-	$(61,06 \times 0,7 \times 8) / 100 = 3,42 (+)$	-
	P32	$(61,06 \times 0,8 \times 5) / 100 = 2,44 (+)$	$(61,06 \times 0,7 \times 4) / 100 = 1,71 (+)$	-
	TS21	-	-	$(61,06 \times 0,8 \times 5) / 100 = 2,44 (+)$
	TS22	-	-	$(61,06 \times 0,8 \times 5) / 100 = 2,44 (+)$

Fonte: Autor (2023)

### ANEXO H – Carga finais vento 90° e 270° para rugosidade categoria V

Rugosidade V   Vento 90° e 270°				
Eixo	Elem.	$F_{x\pm}$ (kgf/cm)	$F_{y\pm}$ (kgf/cm)	$F_{z\pm}$ (kgf/cm)
Eixo "A"	P1	$(61,06 \times 0,5 \times 5) / 100 = 1,53$ (-)	$(61,06 \times 0,5 \times 4) / 100 = 1,22$ (+)	-
	P2	-	$(61,06 \times 0,5 \times 8) / 100 = 2,44$ (+)	-
	P3	-	$(61,06 \times 0,5 \times 8,5) / 100 = 2,6$ (+)	-
	P4	-	$(61,06 \times 0,7 \times 9) / 100 = 3,84$ (+)	-
	P5	-	$(61,06 \times 0,9 \times 8,5) / 100 = 2,6$ (+)	-
	P6	-	$(61,06 \times 0,9 \times 8) / 100 = 2,44$ (+)	-
	P7	$(61,06 \times 0,7 \times 5) / 100 = 2,14$ (-)	$(61,06 \times 0,9 \times 4) / 100 = 1,22$ (+)	-
	TS1	-	-	$(61,06 \times 0,4 \times 5) / 100 = 1,22$ (+)
	TS2	-	-	$(61,06 \times 0,87 \times 5) / 100 = 2,66$ (+)
Eixo "B"	P08	$(61,06 \times 0,5 \times 10) / 100 = 3,05$ (-)	-	-
	P09	$(61,06 \times 0,7 \times 10) / 100 = 4,27$ (-)	-	-
	TS3	-	-	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44$ (+)
	TS4	-	-	$(61,06 \times 0,87 \times 10) / 100 = 5,31$ (+)
Eixo "C"	P10	$(61,06 \times 0,5 \times 10) / 100 = 3,05$ (-)	-	-
	P11	$(61,06 \times 0,7 \times 10) / 100 = 4,27$ (-)	-	-
	TS5	-	-	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44$ (+)
	TS6	-	-	$(61,06 \times 0,87 \times 10) / 100 = 5,31$ (+)
Eixo "D"	P12	$(61,06 \times 0,5 \times 10) / 100 = 3,05$ (-)	-	-
	P13	$(61,06 \times 0,7 \times 10) / 100 = 4,27$ (-)	-	-
	TS7	-	-	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44$ (+)
	TS8	-	-	$(61,06 \times 0,87 \times 10) / 100 = 5,31$ (+)
Eixo "E"	P14	$(61,06 \times 0,5 \times 10) / 100 = 3,05$ (-)	-	-
	P15	$(61,06 \times 0,7 \times 10) / 100 = 4,27$ (-)	-	-
	TS9	-	-	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44$ (+)
	TS10	-	-	$(61,06 \times 0,87 \times 10) / 100 = 5,31$ (+)

Fonte: Autor (2023)

## ANEXO H – Conclusão

Eixo "F"	P16	$(61,06 \times 0,5 \times 10) / 100 = 3,05 (-)$	-	-
	P17	$(61,06 \times 0,7 \times 10) / 100 = 4,27 (-)$	-	-
	TS11	-	-	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44 (+)$
	TS12	-	-	$(61,06 \times 0,87 \times 10) / 100 = 5,31 (+)$
Eixo "G"	P18	$(61,06 \times 0,5 \times 10) / 100 = 3,05 (-)$	-	-
	P19	$(61,06 \times 0,7 \times 10) / 100 = 4,27 (-)$	-	-
	TS13	-	-	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44 (+)$
	TS14	-	-	$(61,06 \times 0,87 \times 10) / 100 = 5,31 (+)$
Eixo "H"	P20	$(61,06 \times 0,5 \times 10) / 100 = 3,05 (-)$	-	-
	P21	$(61,06 \times 0,7 \times 10) / 100 = 4,27 (-)$	-	-
	TS15	-	-	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44 (+)$
	TS16	-	-	$(61,06 \times 0,87 \times 10) / 100 = 5,31 (+)$
Eixo "I"	P22	$(61,06 \times 0,5 \times 10) / 100 = 3,05 (-)$	-	-
	P23	$(61,06 \times 0,7 \times 10) / 100 = 4,27 (-)$	-	-
	TS17	-	-	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44 (+)$
	TS18	-	-	$(61,06 \times 0,87 \times 10) / 100 = 5,31 (+)$
Eixo "J"	P24	$(61,06 \times 0,5 \times 10) / 100 = 3,05 (-)$	-	-
	P25	$(61,06 \times 0,7 \times 10) / 100 = 4,27 (-)$	-	-
	TS19	-	-	$(61,06 \times 0,4 \times 10) / 100 = 2,44 (+)$
	TS20	-	-	$(61,06 \times 0,87 \times 10) / 100 = 5,31 (+)$
Eixo "K"	P26	$(61,06 \times 0,5 \times 5) / 100 = 1,53 (-)$	$(61,06 \times 0,5 \times 4) / 100 = 1,22 (-)$	-
	P27	-	$(61,06 \times 0,5 \times 8) / 100 = 2,44 (-)$	-
	P28	-	$(61,06 \times 0,5 \times 8,5) / 100 = 2,6 (-)$	-
	P29	-	$(61,06 \times 0,7 \times 9) / 100 = 3,84 (-)$	-
	P30	-	$(61,06 \times 0,9 \times 8,5) / 100 = 2,6 (-)$	-
	P31	-	$(61,06 \times 0,9 \times 8) / 100 = 2,44 (-)$	-
	P32	$(61,06 \times 0,7 \times 5) / 100 = 2,14 (-)$	$(61,06 \times 0,9 \times 4) / 100 = 1,22 (-)$	-
	TS21	-	-	$(61,06 \times 0,4 \times 5) / 100 = 2,66 (+)$
	TS22	-	-	$(61,06 \times 0,87 \times 5) / 100 = 1,22 (+)$

Fonte: Autor (2023)

**ANEXO I – Carga finais vento 0° e 180°,  $CP_i=-0,3$  para rugosidade categoria II**

Rugosidade II   Vento 0° e 180° - Pressão interna +0,3				
Eixo	Elem.	$Fx^{\pm}$ (kgf/cm)	$Fy^{\pm}$ (kgf/cm)	$Fz^{\pm}$ (kgf/cm)
Eixo "A"	P1	$(117,14 \times 0,3 \times 5)/100 = 1,76$ (-)	$(117,14 \times 0,3 \times 4)/100 = 1,41$ (+)	-
	P2	-	$(117,14 \times 0,3 \times 8)/100 = 2,81$ (+)	-
	P3	-	$(117,14 \times 0,3 \times 8,5)/100 = 2,99$ (+)	-
	P4	-	$(117,14 \times 0,3 \times 9)/100 = 3,16$ (+)	-
	P5	-	$(117,14 \times 0,3 \times 8,5)/100 = 2,99$ (+)	-
	P6	-	$(117,14 \times 0,3 \times 8)/100 = 2,81$ (+)	-
	P7	$(117,14 \times 0,3 \times 5)/100 = 1,76$ (+)	$(117,14 \times 0,3 \times 4)/100 = 1,41$ (+)	-
	TS1	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5)/100 = 1,76$ (+)
	TS2	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5)/100 = 1,76$ (+)
Eixo "B"	P08	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (-)	-	-
	P09	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)	-	-
	TS3	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)
	TS4	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)
Eixo "C"	P10	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (-)	-	-
	P11	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)	-	-
	TS5	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)
	TS6	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)
Eixo "D"	P12	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (-)	-	-
	P13	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)	-	-
	TS7	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)
	TS8	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)
Eixo "E"	P14	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (-)	-	-
	P15	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)	-	-
	TS9	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)
	TS10	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)

Fonte: Autor (2023)

## ANEXO I – Conclusão

Eixo "F"	P16	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (-)$	-	-
	P17	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$	-	-
	TS11	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
	TS12	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
Eixo "G"	P18	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (-)$	-	-
	P19	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$	-	-
	TS13	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
	TS14	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
Eixo "H"	P20	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (-)$	-	-
	P21	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$	-	-
	TS15	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
	TS16	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
Eixo "I"	P22	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (-)$	-	-
	P23	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$	-	-
	TS17	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
	TS18	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
Eixo "J"	P24	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (-)$	-	-
	P25	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$	-	-
	TS19	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
	TS20	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
Eixo "K"	P26	$(117,14 \times 0,3 \times 5) / 100 = 1,76 (-)$	-	-
	P27	-	-	-
	P28	-	-	-
	P29	-	-	-
	P30	-	-	-
	P31	-	-	-
	P32	$(117,14 \times 0,3 \times 5) / 100 = 1,76 (+)$	-	-
	TS21	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,76 (+)$
	TS22	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,76 (+)$

Fonte: Autor (2023)

**ANEXO J – Carga finais vento 0° e 180°,  $CP_i=+0,2$  para rugosidade categoria II**

Rugosidade II   Vento 0° e 180° - Pressão interna -0,2				
Eixo	Elem.	$F_{x\pm}$ (kgf/cm)	$F_{y\pm}$ (kgf/cm)	$F_{z\pm}$ (kgf/cm)
Eixo "A"	P1	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17 (+)$	-	-
	P2	-	-	-
	P3	-	-	-
	P4	-	-	-
	P5	-	-	-
	P6	-	-	-
	P7	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17 (-)$	-	-
	TS1	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17 (-)$
	TS2	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17 (-)$
Eixo "B"	P08	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34(+)$	-	-
	P09	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$	-	-
	TS3	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
	TS4	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
Eixo "C"	P10	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34(+)$	-	-
	P11	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$	-	-
	TS5	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
	TS6	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
Eixo "D"	P12	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34(+)$	-	-
	P13	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$	-	-
	TS7	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
	TS8	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
Eixo "E"	P14	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34(+)$	-	-
	P15	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$	-	-
	TS9	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
	TS10	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$

Fonte: Autor (2023)



## ANEXO J – Conclusão

Eixo "F"	P16	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34(+)$	-	-
	P17	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$	-	-
	TS11	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
	TS12	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
Eixo "G"	P18	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34(+)$	-	-
	P19	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$	-	-
	TS13	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
	TS14	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
Eixo "H"	P20	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34(+)$	-	-
	P21	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$	-	-
	TS15	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
	TS16	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
Eixo "I"	P22	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34(+)$	-	-
	P23	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$	-	-
	TS17	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
	TS18	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
Eixo "J"	P24	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34(+)$	-	-
	P25	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$	-	-
	TS19	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
	TS20	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
Eixo "K"	P26	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17 (+)$	$(117,14 \times 0,2 \times 4) / 100 = 0,94 (+)$	-
	P27	-	$(117,14 \times 0,2 \times 8) / 100 = 1,87 (+)$	-
	P28	-	$(117,14 \times 0,2 \times 8,5) / 100 = 1,99 (+)$	-
	P29	-	$(117,14 \times 0,2 \times 9) / 100 = 2,11 (+)$	-
	P30	-	$(117,14 \times 0,2 \times 8,5) / 100 = 1,99 (+)$	-
	P31	-	$(117,14 \times 0,2 \times 8) / 100 = 1,87 (+)$	-
	P32	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17 (-)$	$(117,14 \times 0,2 \times 4) / 100 = 0,94 (+)$	-
	TS21	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17 (+)$
	TS22	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17 (+)$

Fonte: Autor (2023)

**ANEXO K – Carga finais vento 90° e 270°,  $CP_i=-0,3$  para rugosidade categoria II**

Rugosidade II   Vento 90° e 270° - Pressão interna +0,3				
Eixo	Elem.	$F_{x\pm}$ (kgf/cm)	$F_{y\pm}$ (kgf/cm)	$F_{z\pm}$ (kgf/cm)
Eixo "A"	P1	$(117,14 \times 0,2 \times 5)/100 = 1,76$ (-)	$(117,14 \times 0,3 \times 4)/100 = 1,41$ (+)	-
	P2	-	$(117,14 \times 0,3 \times 8)/100 = 2,81$ (+)	-
	P3	-	$(117,14 \times 0,3 \times 8,5)/100 = 2,99$ (+)	-
	P4	-	$(117,14 \times 0,3 \times 9)/100 = 3,16$ (+)	-
	P5	-	$(117,14 \times 0,3 \times 8,5)/100 = 2,99$ (+)	-
	P6	-	$(117,14 \times 0,3 \times 8)/100 = 2,81$ (+)	-
	P7	-	$(117,14 \times 0,3 \times 4)/100 = 1,41$ (+)	-
	TS1	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5)/100 = 1,76$ (+)
	TS2	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5)/100 = 1,76$ (+)
Eixo "B"	P08	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (-)	-	-
	P09	-	-	-
	TS3	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)
	TS4	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)
Eixo "C"	P10	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (-)	-	-
	P11	-	-	-
	TS5	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)
	TS6	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)
Eixo "D"	P12	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (-)	-	-
	P13	-	-	-
	TS7	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)
	TS8	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)
Eixo "E"	P14	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (-)	-	-
	P15	-	-	-
	TS9	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)
	TS10	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10)/100 = 3,51$ (+)

Fonte: Autor (2023)

## ANEXO K – Conclusão

Eixo "F"	P16	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (-)$	-	-
	P17	-	-	-
	TS11	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
	TS12	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
Eixo "G"	P18	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (-)$	-	-
	P19	-	-	-
	TS13	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
	TS14	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
Eixo "H"	P20	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (-)$	-	-
	P21	-	-	-
	TS15	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
	TS16	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
Eixo "I"	P22	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (-)$	-	-
	P23	-	-	-
	TS17	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
	TS18	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
Eixo "J"	P24	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (-)$	-	-
	P25	-	-	-
	TS19	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
	TS20	-	-	$(117,14 \times 0,3 \times 10) / 100 = 3,51 (+)$
Eixo "K"	P26	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,76 (-)$	$(117,14 \times 0,3 \times 4) / 100 = 1,41 (-)$	-
	P27	-	$(117,14 \times 0,3 \times 8) / 100 = 2,81 (-)$	-
	P28	-	$(117,14 \times 0,3 \times 8,5) / 100 = 2,99 (-)$	-
	P29	-	$(117,14 \times 0,3 \times 9) / 100 = 3,16 (-)$	-
	P30	-	$(117,14 \times 0,3 \times 8,5) / 100 = 2,99 (-)$	-
	P31	-	$(117,14 \times 0,3 \times 8) / 100 = 2,81 (-)$	-
	P32	-	$(117,14 \times 0,3 \times 4) / 100 = 1,41 (-)$	-
	TS21	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,76 (+)$
	TS22	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,76 (+)$

Fonte: Autor (2023)

**ANEXO L – Carga finais vento 90° e 270°,  $CP_i=+0,2$  para rugosidade categoria II**

Rugosidade II   Vento 90° e 270° - Pressão interna -0,2				
Eixo	Elem.	$Fx^{\pm}$ (kgf/cm)	$Fy^{\pm}$ (kgf/cm)	$Fz^{\pm}$ (kgf/cm)
Eixo "A"	P1	-	$(117,14 \times 0,2 \times 4) / 100 = 0,94$ (-)	-
	P2	-	$(117,14 \times 0,2 \times 8) / 100 = 1,87$ (-)	-
	P3	-	$(117,14 \times 0,2 \times 8,5) / 100 = 1,99$ (-)	-
	P4	-	$(117,14 \times 0,2 \times 9) / 100 = 2,11$ (-)	-
	P5	-	$(117,14 \times 0,2 \times 8,5) / 100 = 1,99$ (-)	-
	P6	-	$(117,14 \times 0,2 \times 8) / 100 = 1,87$ (-)	-
	P7	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17$ (-)	$(117,14 \times 0,2 \times 4) / 100 = 0,94$ (-)	-
	TS1	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17$ (-)
	TS2	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17$ (-)
Eixo "B"	P08	-	-	-
	P09	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (-)	-	-
	TS3	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (-)
	TS4	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (-)
Eixo "C"	P10	-	-	-
	P11	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (-)	-	-
	TS5	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (-)
	TS6	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (-)
Eixo "D"	P12	-	-	-
	P13	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (-)	-	-
	TS7	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (-)
	TS8	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (-)
Eixo "E"	P14	-	-	-
	P15	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (-)	-	-
	TS9	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (-)
	TS10	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34$ (-)

Fonte: Autor (2023)

## ANEXO L – Conclusão

Eixo "F"	P16	-	-	-
	P17	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$	-	-
	TS11	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
	TS12	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
Eixo "G"	P18	-	-	-
	P19	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$	-	-
	TS13	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
	TS14	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
Eixo "H"	P20	-	-	-
	P21	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$	-	-
	TS15	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
	TS16	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
Eixo "I"	P22	-	-	-
	P23	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$	-	-
	TS17	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
	TS18	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
Eixo "J"	P24	-	-	-
	P25	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$	-	-
	TS19	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
	TS20	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 10) / 100 = 2,34 (-)$
Eixo "K"	P26	-	$(117,14 \times 0,2 \times 4) / 100 = 0,94 (+)$	-
	P27	-	$(117,14 \times 0,2 \times 8) / 100 = 1,87 (+)$	-
	P28	-	$(117,14 \times 0,2 \times 8,5) / 100 = 1,99 (+)$	-
	P29	-	$(117,14 \times 0,2 \times 9) / 100 = 2,11 (+)$	-
	P30	-	$(117,14 \times 0,2 \times 8,5) / 100 = 1,99 (+)$	-
	P31	-	$(117,14 \times 0,2 \times 8) / 100 = 1,87 (+)$	-
	P32	$(117,14 \times 0,3 \times 5) / 100 = 1,76 (+)$	$(117,14 \times 0,2 \times 4) / 100 = 0,94 (+)$	-
	TS21	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17 (-)$
	TS22	-	-	$(117,14 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,17 (-)$

Fonte: Autor (2023)

**ANEXO M – Carga finais vento 0° e 180°,  $CP_i=-0,3$  para rugosidade categoria V**

Rugosidade V   Vento 0° e 180° - Pressão interna +0,3				
Eixo	Elem.	$F_{x\pm}$ (kgf/cm)	$F_{y\pm}$ (kgf/cm)	$F_{z\pm}$ (kgf/cm)
Eixo "A"	P1	$(61,06 \times 0,3 \times 5) / 100 = 1,76$ (-)	$(61,06 \times 0,3 \times 4) / 100 = 1,41$ (+)	-
	P2	-	$(61,06 \times 0,3 \times 8) / 100 = 2,81$ (+)	-
	P3	-	$(61,06 \times 0,3 \times 8,5) / 100 = 2,99$ (+)	-
	P4	-	$(61,06 \times 0,3 \times 9) / 100 = 3,16$ (+)	-
	P5	-	$(61,06 \times 0,3 \times 8,5) / 100 = 2,99$ (+)	-
	P6	-	$(61,06 \times 0,3 \times 8) / 100 = 2,81$ (+)	-
	P7	$(61,06 \times 0,3 \times 5) / 100 = 1,76$ (+)	$(61,06 \times 0,3 \times 4) / 100 = 1,41$ (+)	-
	TS1	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,76$ (+)
	TS2	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,76$ (+)
Eixo "B"	P08	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (-)	-	-
	P09	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)	-	-
	TS3	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)
	TS4	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)
Eixo "C"	P10	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (-)	-	-
	P11	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)	-	-
	TS5	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)
	TS6	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)
Eixo "D"	P12	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (-)	-	-
	P13	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)	-	-
	TS7	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)
	TS8	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)
Eixo "E"	P14	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (-)	-	-
	P15	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)	-	-
	TS9	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)
	TS10	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)

Fonte: Autor (2023)

## ANEXO M – Conclusão

Eixo "F"	P16	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (-)$	-	-
	P17	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$	-	-
	TS11	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
	TS12	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
Eixo "G"	P18	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (-)$	-	-
	P19	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$	-	-
	TS13	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
	TS14	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
Eixo "H"	P20	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (-)$	-	-
	P21	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$	-	-
	TS15	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
	TS16	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
Eixo "I"	P22	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (-)$	-	-
	P23	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$	-	-
	TS17	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
	TS18	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
Eixo "J"	P24	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (-)$	-	-
	P25	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$	-	-
	TS19	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
	TS20	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
Eixo "K"	P26	$(61,06 \times 0,3 \times 5) / 100 = 1,76 (-)$	-	-
	P27	-	-	-
	P28	-	-	-
	P29	-	-	-
	P30	-	-	-
	P31	-	-	-
	P32	$(61,06 \times 0,3 \times 5) / 100 = 1,76 (+)$	-	-
	TS21	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,76 (+)$
	TS22	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 1,76 (+)$

Fonte: Autor (2023)

**ANEXO N – Carga finais vento 0° e 180°,  $CP_i=-0,2$  para rugosidade categoria V**

Rugosidade V   Vento 0° e 180° - Pressão interna -0,2				
Eixo	Elem.	$F_{x\pm}$ (kgf/cm)	$F_{y\pm}$ (kgf/cm)	$F_{z\pm}$ (kgf/cm)
Eixo "A"	P1	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61 (+)$	-	-
	P2	-	-	-
	P3	-	-	-
	P4	-	-	-
	P5	-	-	-
	P6	-	-	-
	P7	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61 (-)$	-	-
	TS1	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61 (-)$
	TS2	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61 (-)$
Eixo "B"	P08	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(+)$	-	-
	P09	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$	-	-
	TS3	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
	TS4	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
Eixo "C"	P10	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(+)$	-	-
	P11	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$	-	-
	TS5	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
	TS6	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
Eixo "D"	P12	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(+)$	-	-
	P13	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$	-	-
	TS7	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
	TS8	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
Eixo "E"	P14	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(+)$	-	-
	P15	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$	-	-
	TS9	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
	TS10	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$

Fonte: Autor (2023)



## ANEXO N – Conclusão

Eixo "F"	P16	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(+)$	-	-
	P17	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(-)$	-	-
	TS11	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(-)$
	TS12	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(-)$
Eixo "G"	P18	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(+)$	-	-
	P19	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(-)$	-	-
	TS13	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(-)$
	TS14	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(-)$
Eixo "H"	P20	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(+)$	-	-
	P21	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(-)$	-	-
	TS15	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(-)$
	TS16	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(-)$
Eixo "I"	P22	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(+)$	-	-
	P23	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(-)$	-	-
	TS17	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(-)$
	TS18	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(-)$
Eixo "J"	P24	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(+)$	-	-
	P25	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(-)$	-	-
	TS19	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(-)$
	TS20	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22(-)$
Eixo "K"	P26	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61(+)$	$(61,06 \times 0,2 \times 4) / 100 = 0,49(+)$	-
	P27	-	$(61,06 \times 0,2 \times 8) / 100 = 0,98(+)$	-
	P28	-	$(61,06 \times 0,2 \times 8,5) / 100 = 1,04(+)$	-
	P29	-	$(61,06 \times 0,2 \times 9) / 100 = 1,1(+)$	-
	P30	-	$(61,06 \times 0,2 \times 8,5) / 100 = 1,04(+)$	-
	P31	-	$(61,06 \times 0,2 \times 8) / 100 = 0,98(+)$	-
	P32	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61(-)$	$(61,06 \times 0,2 \times 4) / 100 = 0,49(+)$	-
	TS21	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61(+)$
	TS22	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61(+)$

Fonte: Autor (2023)

**ANEXO O – Cargas finais vento 90° E 270°,  $CP_i=-0,3$  para rugosidade categoria V**

<b>Rugosidade V   Vento 90° e 270° - Pressão interna +0,3</b>				
<b>Eixo</b>	<b>Elem.</b>	$F_x^\pm$ (kgf/cm)	$F_y^\pm$ (kgf/cm)	$F_z^\pm$ (kgf/cm)
Eixo "A"	P1	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,73$ (-)	$(61,06 \times 0,3 \times 4) / 100 = 0,92$ (+)	-
	P2	-	$(61,06 \times 0,3 \times 8) / 100 = 1,44$ (+)	-
	P3	-	$(61,06 \times 0,3 \times 8,5) / 100 = 1,55$ (+)	-
	P4	-	$(61,06 \times 0,3 \times 9) / 100 = 1,65$ (+)	-
	P5	-	$(61,06 \times 0,3 \times 8,5) / 100 = 1,55$ (+)	-
	P6	-	$(61,06 \times 0,3 \times 8) / 100 = 1,44$ (+)	-
	P7	-	$(61,06 \times 0,3 \times 4) / 100 = 0,92$ (+)	-
	TS1	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,92$ (+)
	TS2	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,92$ (+)
Eixo "B"	P08	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (-)	-	-
	P09	-	-	-
	TS3	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)
	TS4	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)
Eixo "C"	P10	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (-)	-	-
	P11	-	-	-
	TS5	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)
	TS6	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)
Eixo "D"	P12	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (-)	-	-
	P13	-	-	-
	TS7	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)
	TS8	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)
Eixo "E"	P14	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (-)	-	-
	P15	-	-	-
	TS9	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)
	TS10	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83$ (+)

Fonte: Autor (2023)

## ANEXO O – Conclusão

Eixo "F"	P16	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (-)$	-	-
	P17	-	-	-
	TS11	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
	TS12	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
Eixo "G"	P18	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (-)$	-	-
	P19	-	-	-
	TS13	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
	TS14	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
Eixo "H"	P20	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (-)$	-	-
	P21	-	-	-
	TS15	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
	TS16	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
Eixo "I"	P22	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (-)$	-	-
	P23	-	-	-
	TS17	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
	TS18	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
Eixo "J"	P24	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (-)$	-	-
	P25	-	-	-
	TS19	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
	TS20	-	-	$(61,06 \times 0,3 \times 10) / 100 = 1,83 (+)$
Eixo "K"	P26	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,73 (-)$	$(61,06 \times 0,3 \times 4) / 100 = 0,92 (-)$	-
	P27	-	$(61,06 \times 0,3 \times 8) / 100 = 1,47 (-)$	-
	P28	-	$(61,06 \times 0,3 \times 8,5) / 100 = 1,55 (-)$	-
	P29	-	$(61,06 \times 0,3 \times 9) / 100 = 1,65 (-)$	-
	P30	-	$(61,06 \times 0,3 \times 8,5) / 100 = 1,55 (-)$	-
	P31	-	$(61,06 \times 0,3 \times 8) / 100 = 1,47 (-)$	-
	P32	-	$(61,06 \times 0,3 \times 4) / 100 = 0,92 (-)$	-
	TS21	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,92 (+)$
	TS22	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,92 (+)$

Fonte: Autor (2023)

**ANEXO P – Cargas finais vento 90° E 270°,  $CP_i=+0,2$  para rugosidade categoria V**

Rugosidade V   Vento 90° e 270° - Pressão interna -0,2				
Eixo	Elem.	$Fx_{\pm}$ (kgf/cm)	$Fy_{\pm}$ (kgf/cm)	$Fz_{\pm}$ (kgf/cm)
Eixo "A"	P1	-	$(61,06 \times 0,2 \times 4) / 100 = 0,49$ (-)	-
	P2	-	$(61,06 \times 0,2 \times 8) / 100 = 0,98$ (-)	-
	P3	-	$(61,06 \times 0,2 \times 8,5) / 100 = 1,04$ (-)	-
	P4	-	$(61,06 \times 0,2 \times 9) / 100 = 1,1$ (-)	-
	P5	-	$(61,06 \times 0,2 \times 8,5) / 100 = 1,04$ (-)	-
	P6	-	$(61,06 \times 0,2 \times 8) / 100 = 0,98$ (-)	-
	P7	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61$ (-)	$(61,06 \times 0,2 \times 4) / 100 = 0,49$ (-)	-
	TS1	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61$ (-)
	TS2	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61$ (-)
Eixo "B"	P08	-	-	-
	P09	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (-)	-	-
	TS3	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (-)
	TS4	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (-)
Eixo "C"	P10	-	-	-
	P11	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (-)	-	-
	TS5	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (-)
	TS6	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (-)
Eixo "D"	P12	-	-	-
	P13	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (-)	-	-
	TS7	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (-)
	TS8	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (-)
Eixo "E"	P14	-	-	-
	P15	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (-)	-	-
	TS9	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (-)
	TS10	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22$ (-)

Fonte: Autor (2023)

## ANEXO P – Conclusão

Eixo "F"	P16	-	-	-
	P17	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$	-	-
	TS11	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
	TS12	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
Eixo "G"	P18	-	-	-
	P19	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$	-	-
	TS13	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
	TS14	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
Eixo "H"	P20	-	-	-
	P21	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$	-	-
	TS15	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
	TS16	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
Eixo "I"	P22	-	-	-
	P23	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$	-	-
	TS17	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
	TS18	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
Eixo "J"	P24	-	-	-
	P25	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$	-	-
	TS19	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
	TS20	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 10) / 100 = 1,22 (-)$
Eixo "K"	P26	-	$(61,06 \times 0,2 \times 4) / 100 = 0,49 (+)$	-
	P27	-	$(61,06 \times 0,2 \times 8) / 100 = 0,98 (+)$	-
	P28	-	$(61,06 \times 0,2 \times 8,5) / 100 = 1,04 (+)$	-
	P29	-	$(61,06 \times 0,2 \times 9) / 100 = 1,1 (+)$	-
	P30	-	$(61,06 \times 0,2 \times 8,5) / 100 = 1,04 (+)$	-
	P31	-	$(61,06 \times 0,2 \times 8) / 100 = 0,98 (+)$	-
	P32	$(61,06 \times 0,3 \times 5) / 100 = 0,61 (+)$	$(61,06 \times 0,2 \times 4) / 100 = 0,49 (+)$	-
	TS21	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61 (-)$
	TS22	-	-	$(61,06 \times 0,2 \times 5) / 100 = 0,61 (-)$

Fonte: Autor (2023)

