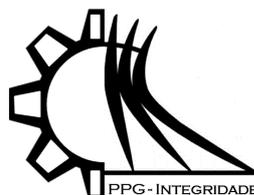




SSN 2447-6102



Artigo

## Análise comparativa de sistemas de contraventamentos em galpão metálico através do SAP2000

Pereira, A.A.<sup>1</sup>, Ribeiro, C.B.<sup>2</sup>, Barboza, M. D. S.<sup>2</sup> e Anunciação Júnior, N.C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro Universitário Euro Americano – UNIEURO; aaddressaabrantes@gmail.com

<sup>2</sup> Centro Universitário Euro Americano – UNIEURO; eng.cleysonbribeiro@gmail.com

<sup>3</sup> Centro Universitário Euro Americano – UNIEURO; mdsbarboza.10@gmail.com

<sup>4</sup> Centro Universitário Euro Americano – UNIEURO; engnjunior@gmail.com

Received: 12/12/2019; Accepted: 17/01/2020; Published: 17/02/2020

**Resumo:** Os galpões geralmente em estrutura metálica, são estruturas que comumente são utilizadas para estabelecimento comerciais ou industriais. Por mais que estas estruturas sejam bem projetadas, dentro dos parâmetros de Estados Limites Últimos (ELU), Estado Limite de Serviço (ELS) e Utilização (ELU), muitas delas podem estar sujeitas a grandes deslocamentos causados pelas vibrações, que são geradas pelo efeito de carregamentos estáticos como o peso próprio e uso e dinâmicos, tais como vento. Desta maneira, surge a necessidade de estudar alternativas que possam reduzir esses possíveis deslocamentos. Existem diversos métodos de se controlar as vibrações, e neste artigo é apresentado o sistema de contraventamento. Foi elaborado um galpão e 3 sistemas de contraventamentos diferentes, diagonal simples, diagonal duplo e V invertido, estes sistemas tendem a resistir as ações horizontais, e tem como principal função fornecer estabilidade às estruturas quando sofrem a ações do vento, estas foram calculadas de acordo com a NBR 6123/1988. Desta maneira para o presente trabalho foram elaborados modelos numéricos no SAP2000 e Visual Ventos, com o intuito de estudar o comportamento dinâmico do galpão submetido as ações. As análises foram restringidas apenas em deslocamentos nas direções X e Y. Por conseguinte, comparou-se os resultados das aplicações em uma estrutura sem contraventamento, utilizada como referência, com os deslocamentos gerados com a aplicação dos 3 sistemas de contraventamento, afim de se verificar qual sistema apresenta melhor eficiência dentre os modelos simulados. A melhor estrutura encontrada com menor deslocamento e maior rigidez foi o galpão com sistema de contraventamento V invertido, pois o mesmo apresenta uma melhor distribuição dos esforços nos nós rígidos da estrutura.

**Palavras-Chave:** Estrutura Metálica; Sistemas de Contraventamentos; Ações Horizontais; Deslocamentos; Eficiência;

## Comparative analysis of brace systems in metal shed using SAP2000

**Abstract:** The sheds, usually in metal structure, are commonly used for commercial or industrial establishments. Such structures can be designed under the laws established by the Ultimate Limit State (ULS) parameters, Service Limit Status (SLS) or Usage (SLU), even though many of them may be subject to large displacements caused by vibrations, static loads or, even the combination between both. The own weight's structure and the wind dynamic load combined is a perfect example how these structures are subjected to combined forces. Thus, alternatives to control or minimize the excessive displacement are needed. There are several methods of controlling vibration, and this paper presents the bracing system. Shed and 3 different bracing systems were designed, single diagonal, double diagonal and inverted V. These systems are designed to resist vertical and horizontal actions, and its main function is to provide stability to structures when they suffer from wind load action. In this paper NBR 6123/1988 was used to compute wind load. Numerical calculations were carried out in SAP2000 and Visual Ventos, in order to study the dynamic behaviour of the shed submitted to such actions. The analyses were restricted only to displacements in the X and Y directions. Afterwards, the reinforced structure was compared with that one without bracing. After the computations the minimal X and Y displacement were found for inverted V-shaped bracing system. Furthermore, the reinforce structure also provided great rigidity to the frame and a better distribution of the efforts in the structure nodes.

**Key Words:** Metal structure; Brace Systems; Horizontal Actions; Displacements; Efficiency;

## 1. Introdução

As estruturas metálicas está sendo cada vez mais utilizadas na construção civil e isso se dá pelo fato de serem mais leves, alcançar vãos maiores e obter produtividade elevada quando comparadas com as de concreto armado. Levando em conta essas vantagens, um uso bastante frequente desse tipo de estrutura é em galpões destinados a diferentes usos, seja industrial, logístico, depósitos entre outros.

Na Engenharia, todos os elementos de construção civil estão a todo momento sobre efeito de ações, sejam elas estáticas quanto dinâmicas, de acordo com Chávez (2006), geralmente, as estruturas submetidas a carregamentos dinâmicos requerem um determinado nível de desempenho, estabilidade e segurança estrutural, conduzindo ao estudo de técnicas para a determinação das respostas dos esforços solicitantes, sendo que a excitação dinâmica tem seus aspectos específicos e que a diferencia do seu equivalente estático por ter variações que mudam de acordo com o tempo. Esta variabilidade do tempo pode proporcionar deslocamentos, deformações e esforços internos.

As estruturas devem ser projetadas para suportar estes carregamentos dinâmicos, porém, com a alternativa de construir edificações cada vez mais altas e com grandes vãos, surge a necessidade de aumentar a rigidez das estruturas, devido a diminuição da sua capacidade de adaptar-se as ações dinâmicas. Deste modo, quando as estruturas são submetidas as cargas dinâmicas, estarão mais susceptíveis a sofrer movimentos que causam deformações e deslocamentos, esses movimentos são chamados de vibrações (CARNEIRO, 2009).

A fim de reduzir os níveis de vibração e ao mesmo tempo manter a esbeltez das estruturas, tem-se desenvolvido nos últimos anos técnicas para o controle estrutural e proteção de estruturas que promovem uma alteração na propriedade de rigidez do elemento estrutural e garantam amortecimento da estrutura pela adição de sistemas externos ou pela ação de carregamentos externos (CARNEIRO, 2009).

O sistema estrutural de grandes edifícios é geralmente composto pela junção de elementos estruturais como pilares, vigas, lajes, e de sistemas de contraventamento. Todo esse sistema deve ser dimensionado para resistir às forças gravitacionais, laterais, e as demais ações de uso. A escolha do sistema estrutural deve estar diretamente relacionada com a seleção do arranjo dos elementos estruturais destinados a resistir aos esforços horizontais e verticais, garantindo uma forma econômica e segura aos usuários (CHAVES, 2009).

Os contraventamentos são elementos compostos por barras que são adicionadas às estruturas com o objetivo de impedir ou reduzir os deslocamentos horizontais e/ou vibrações, sendo a sua principal função fornecer estabilidade às estruturas que sofrem ação do vento ou outras ações. Nos edifícios considerados de grande porte, com diversos andares, os contraventamentos devem ser considerados primordialmente no projeto devido à carga de vento que pode ser muito expressiva ao longo da vida útil da estrutura. Conseqüentemente, apresentarão maiores deslocamentos horizontais. Os edifícios de pequeno porte devem ser analisados também, caso estejam submetidos às cargas de vento ou se possuírem uma grande esbeltez de acordo com MATOS (2014), já em galpões metálicos, devido as aberturas e posicionamento dos elementos (pórticos e treliças) os contraventamentos devem ser utilizados para que haja uma melhor distribuição dos esforços, conseqüentemente maior rigidez e menos deslocamentos.

O estudo apresentado tem por objetivo principal analisar o desempenho de um galpão industrial submetido a ação de vento (horizontal), para isto foi dimensionado um galpão metálico utilizando-o como referência e verificado ação horizontal em deslocamentos apenas, posteriormente foram moldados 3 outros galpões modificando os tipos e posições de contraventamentos em diagonal simples, diagonal dupla e V invertido. A fim de se poupar tempo nas verificações, foi utilizado o software SAP200 em análise em 3D, pois o mesmo permite criar modelos estruturais de forma rápida sem atrasos em função de longo para as verificações.

## 2. Materiais e Métodos

O galpão, objeto deste estudo, possui as seguintes dimensões básicas de projeto: comprimento de 26 metros; altura total de 9,80 metros; seis pórticos separados a cada 5,20 metros; pilares engastados na fundação; é composto por duas vigas horizontais, uma a 3,20 metros e outra a 5,80 metros do solo e contém um vão central de 6,00 metros. As Figuras 1, 2 e 3 mostram o projeto do galpão com as dimensões mais importantes, possuindo dois portões de entrada, um na face frontal e outro no fundo, e janelas ao longo de todas as laterais, dos dois lados. Sendo assim foi considerado com faces igualmente permeáveis para os cálculos das cargas de vento.

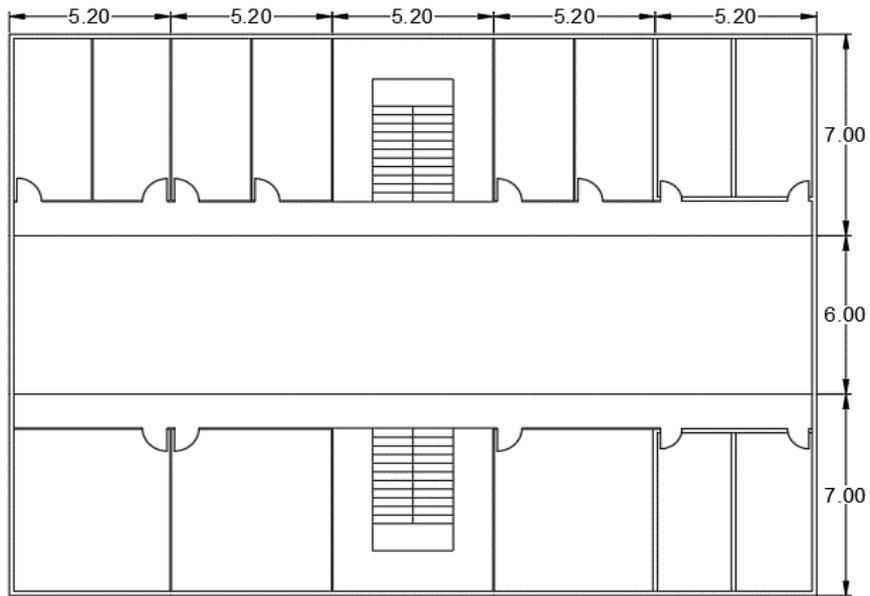


Figura 1 - Planta baixa do galpão

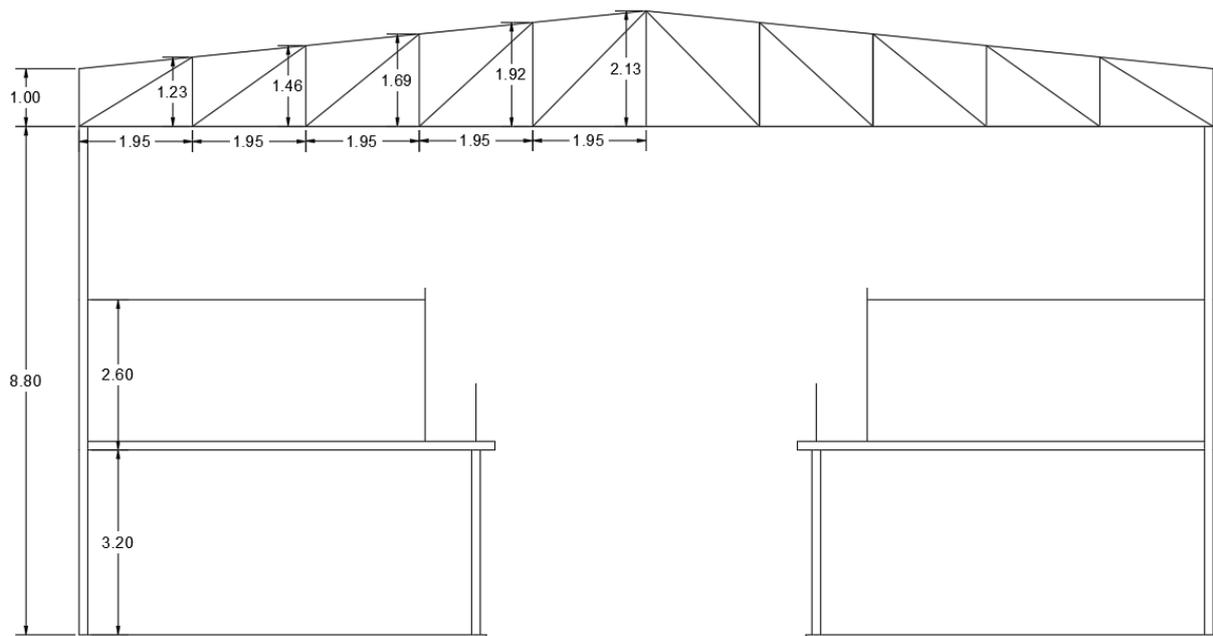


Figura 2 - Seção transversal interna do galpão

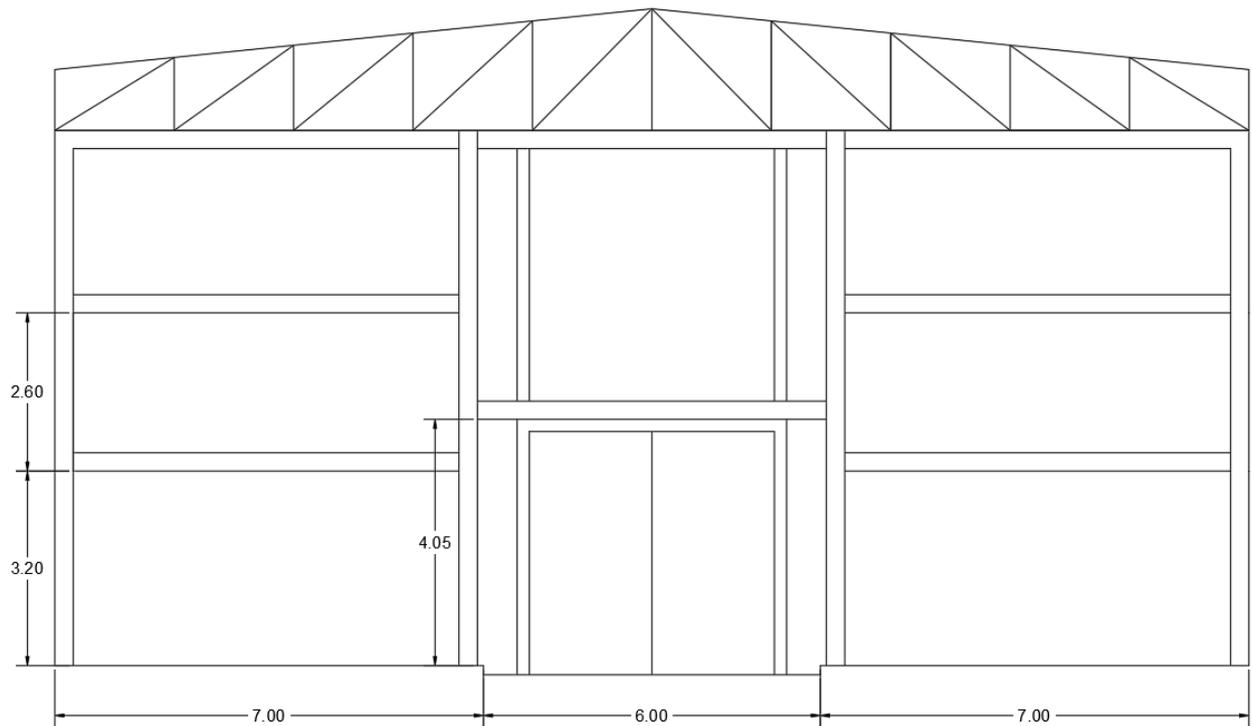


Figura 3 - Seção frontal do galpão

## 2.1 Modelagem

Foram modeladas quatro estruturas no software SAP2000 com diferentes tipos de contraventamentos, listadas a seguir:

### 2.1.1 Galpão sem contraventamento

Essa estrutura serviu para verificar os deslocamentos quando não há utilização de contraventamentos. A Figura 4 mostra a vista 3D, a frontal e a lateral da estrutura e a partir dela foram adicionadas barras em diferentes direções, configurando o tipo de contraventamento.

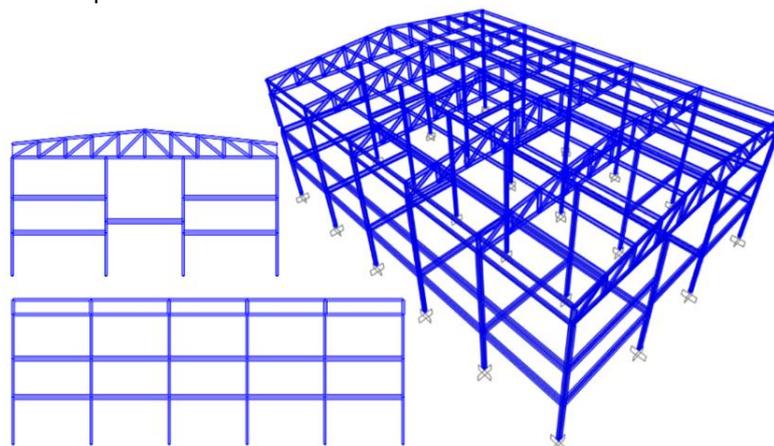


Figura 4 - Galpão sem contraventamento

### 2.1.2 Galpão com contraventamento tipo diagonal simples;

A partir da estrutura não contraventada da Figura 4, foram adotadas barras circulares com diâmetro de 4 polegadas no mesmo sentido diagonal em todos os vãos laterais e em dois vãos frontais, esta disposição de barras é denominada diagonal simples e está representada na Figura 5.

Uma maneira de proporcionar um aumento considerável à resistência a esforços horizontais em sistemas estruturais é o contraventamento treliçado, sendo conectado a vigas e pilares. Esse tipo de sistema produz de forma bastante eficiente um acréscimo na resistência lateral, devido à sua forma de uso em diagonal, suas barras estão propícias a cargas axiais de compressão e tração (SMITH E COULL, 1991).

Segundo Chaves (2009), com a alta eficiência dos contraventamentos treliçados, foi possível construir estruturas muito rígidas lateralmente com o mínimo de adição de material, tornando-se econômicos para uma grande quantidade de alturas diferentes. Com a adição de barras diagonais nos pórticos, foi possível que os esforços laterais sejam primeiramente absorvidos por estas barras diagonais, aliviando o momento nas vigas e pilares, permanecendo assim predominantemente esforços axiais de tração e compressão, o que torna o sistema bem mais eficaz.

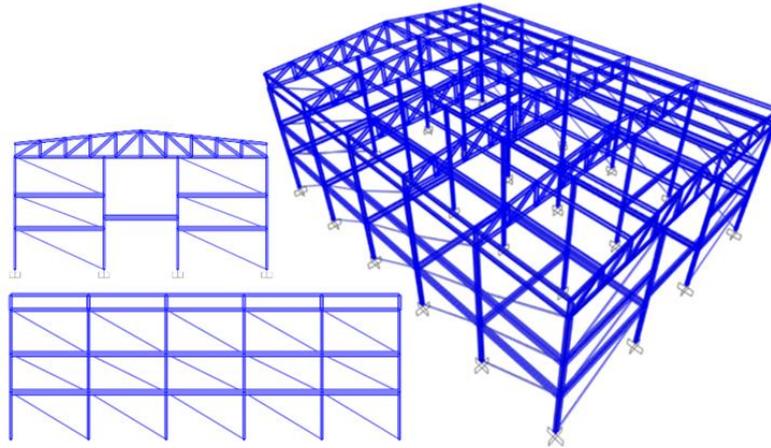


Figura 5 - Galpão com contraventamento tipo diagonal simples

### 2.1.3 Galpão com contraventamento tipo diagonal dupla

Nesta estrutura manteve-se a utilização de uma barra por vão, porém intercalando as direções das barras, ora inclinadas para a direita, ora para a esquerda. Esse tipo caracteriza-se como modelo diagonal dupla, mostrado na Figura 6.

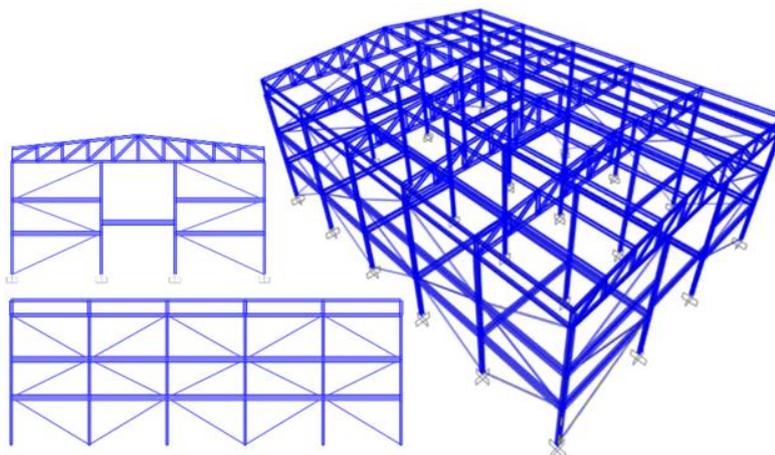


Figura 6 - Galpão com contraventamento tipo diagonal dupla

### 2.1.4 Galpão com contraventamento tipo V invertido

Para a quarta estrutura foram adotadas duas barras por vão, inclinadas, unidas no centro e fixadas na viga superior. Esse arranjo é denominado de V invertido e está ilustrado na Figura 7.

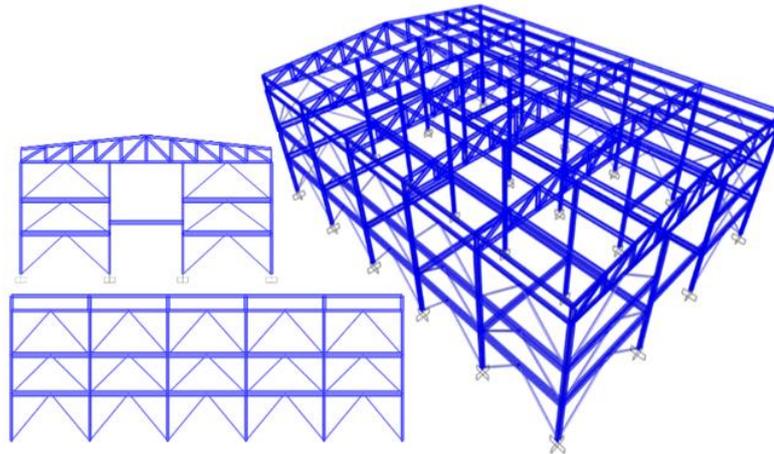


Figura 7 - Galpão com contraventamento tipo V invertido

## 2.2 Materiais

Para todas as modelagens foram adotados o mesmo tipo de aço, o ASTM A36 para os perfis metálicos, pois este é um dos aços mais utilizados na construção civil, já para as bitolas estes foram utilizados modelos variados, devido a disposição de cada elemento ao longo do projeto, e estão mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Perfis metálicos adotados

ELEMENTOS	TIPO DE PERFIL (mm)
Contraventamento	Circular 101,60
Pilares	HP 200 x 53
Treliças de cobertura	U 254 x 22,7
Vigas	W 410 x 67

## 2.3 Carga de vento

O vento é um fenômeno natural que apresenta instabilidade temporal e oscilações aleatórias dentro de uma média de velocidades. Dessa forma, a análise da carga de vento é um critério importante para a realização de projetos e, mesmo em áreas onde não há ação relevante, por não atuar de forma visível, a ação do vento deve ser considerada e, algum momento durante a vida útil da estrutura. O acontecimento desordenado das oscilações do vento dificulta o seu estudo de forma determinística, fazendo com que o estudo dos ventos seja feito por meio de médias estatísticas.

A NBR 6123/1988 estabelece o método de determinação da carga de vento, conforme as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações. Segundo ainda a norma, as cargas provenientes da ação do vento dependem de determinados fatores: velocidade básica do vento da região, tipo de ocupação da edificação, fator topográfico, dimensões da edificação e rugosidade do terreno.

As cargas utilizadas foram calculadas através do software *Visual Ventos*, que tem como base a NBR 6123/1988. Foi utilizado a versão 2.0, este software foi desenvolvido pela Universidade de Passo Fundo – UPF, recebe os dados de entrada como as dimensões da edificação, velocidade básica de acordo com a localização e os fatores de cálculo e fornece a carga das ações do vento.

Para o cálculo das ações do vento foram adotados os seguintes valores para o cálculo deste carregamento:

- Velocidade básica do vento:  $V_0 = 35$  m/s, correspondente à região de Brasília;
- Fator topográfico, S1: Terreno plano ou fracamente acidentado.  $S1 = 1,0$ ;
- Fator de rugosidade, S2: Categoria IV, terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada. Classe B, toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m. Altura (z) igual a 10,93 m.  $S2 = 0,84$ .

- d. Fator estatístico, S3: Grupo 2, edificações para hotéis e residências, edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação. S3 = 1,0.

A velocidade característica  $V_k$ , foi calculada por meio da Equação **Error! Reference source not found.**:

$$V_k = 35 \text{ m/s} \times 1,00 \times 0,84 \times 1,00 = 29,48 \text{ m/s} \quad (1)$$

A pressão dinâmica,  $q$ , foi calculada pela Equação **Error! Reference source not found.** abaixo:

$$q = 0,613 \times (29,48 \text{ m/s})^2 = 0,53 \text{ kN/m}^2 \quad (2)$$

Os coeficientes aerodinâmicos de pressão e forma para parede do pórtico analisado estão relacionados às dimensões e às características de vedação da estrutura. Os coeficientes de pressões externas encontrados para esta edificação para o vento a  $0^\circ$  e vento a  $90^\circ$  foram encontrados através da Equação **Error! Reference source not found.** que define a altura relativa da edificação, e a Equação **Error! Reference source not found.** que define a proporção da edificação.

Altura relativa da edificação é:

$$\frac{h}{b} = \frac{10,93 \text{ m}}{20 \text{ m}} = 0,546 \quad (3)$$

Onde:

h = A altura da cumeeira

b = Comprimento frontal da edificação

A Proporção da planta da edificação é dada em:

$$\frac{a}{b} = \frac{26 \text{ m}}{20 \text{ m}} = 1,3 \quad (4)$$

Desta forma, foi possível encontrar o coeficiente de pressão externo, ilustrado pela Figura 8 e Figura 9 para as situações distintas da ação, ou seja, considerando o vento a  $0^\circ$  e  $90^\circ$ :

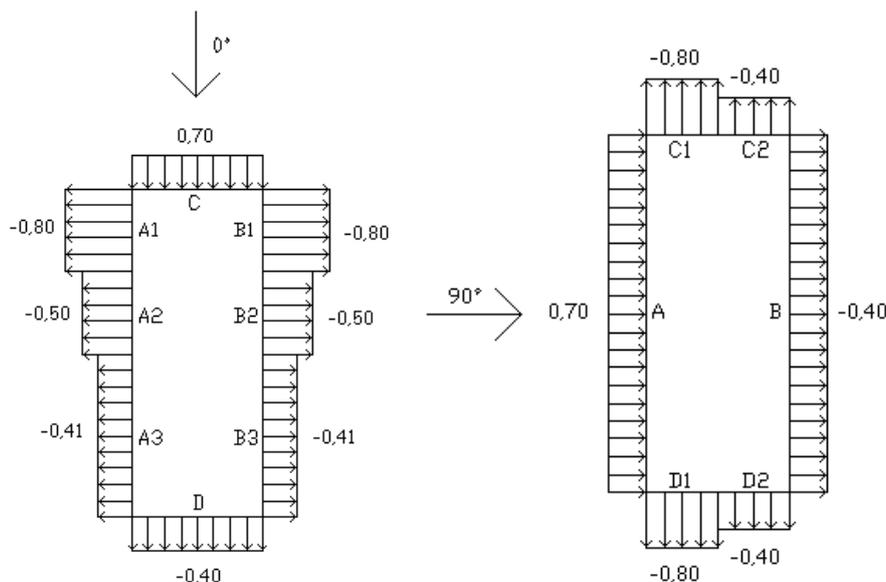


Figura 8: Coeficiente de pressão externa nas paredes da edificação a  $0^\circ$  e  $90^\circ$

Os diferentes valores para os coeficientes estão relacionados com a aplicação dos esforços na parte do barlavento das paredes paralelas ao vento. Para vento a  $0^\circ$  os coeficientes A1, A2, A3, B1, B2 e B3 estão relacionados

com uma distância (posicionamento) entre  $b/3$  ou  $a/4$  (maior entre os valores). Para o vento a  $90^\circ$  os coeficientes A, B, C1, C2, D1 e D2 os parâmetros foram  $2h$  ou  $b/2$  (menor entre os dois).

Além dos esforços (coeficientes de pressões) nas paredes, a mesma análise é preciso ser feita para as coberturas, pois é sabido que na região das cobertura são os locais onde ocorrem a máxima média de sucção, já confirmado por ensaios de túneis de vento, com inclinações entre  $8$  e  $12^\circ$ . A figura 9 apresenta estes resultados de coeficientes para cobertura.

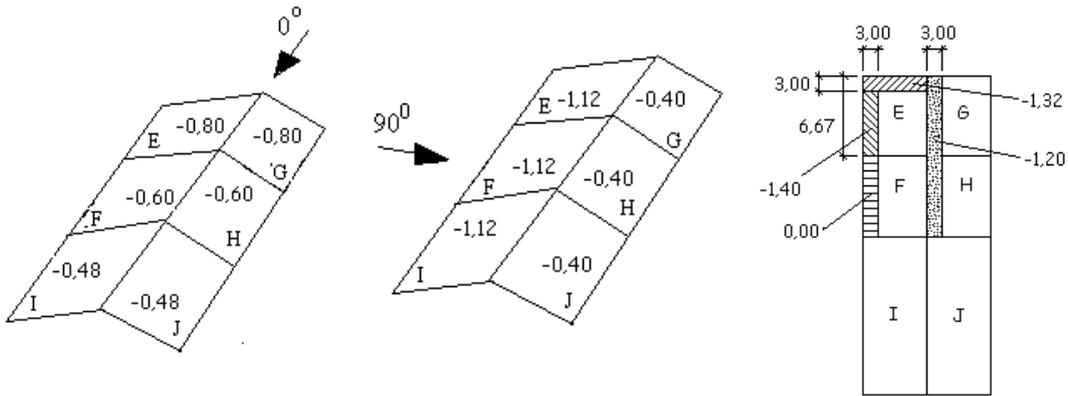


Figura 9: Coeficiente de pressão externa: Cpe no telhado da edificação a  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  e o CPE médio respectivamente

Para os posicionamentos dos coeficientes, o parâmetros para a cobertura são posições entre  $b/3$  ou  $a/4$  (maior dos dois, porém  $\leq 2h$ ) válido para ambas as direções,  $0^\circ$  e  $90^\circ$  nos coeficientes das regiões E, F, G e H. Para os coeficientes I e J os parâmetros devem ser verificados no item 6.2.11 d) da NBR 6123/1988.

Como esta construção possui paredes internas em que as quatro faces são permeáveis, a pressão interna considerada foi de  $CPI = 0$ , de acordo com a alínea b do item 6.2.5 da NBR 6123:1988. Além disso este valor de CPI apresentou ser mais nocivo que o  $CPI = -0,3$ , pois este último alivia a cobertura e as paredes pois exerce uma carga para dentro da estrutura. Desta forma, foi possível estabelecer as combinações dos coeficientes de pressão a  $0^\circ$  e a  $90^\circ$  como é demonstrado pela Figura 10.

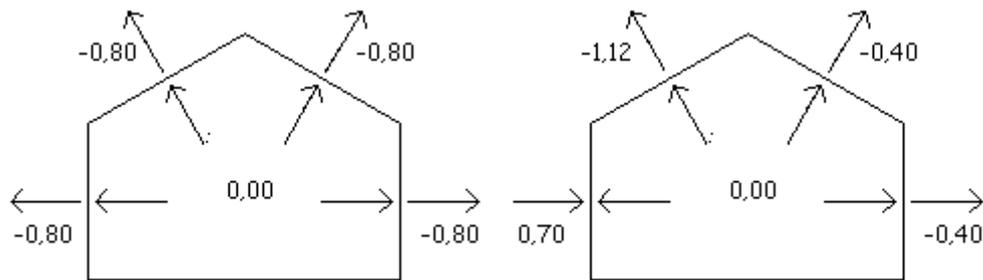


Figura 10: Combinação dos coeficientes de pressão a  $0^\circ$  e  $90^\circ$  respectivamente

Logo após a combinação dos coeficientes é possível encontrar os esforços resultantes do carregamento de vento devido as combinações das ações para vento a  $0^\circ$  e vento a  $90^\circ$  no galpão como ilustra a Figura 11, bem como as forças finais utilizadas, de acordo com equação (5).

$$F = (Cpe - Cpi) \times q \times A \tag{5}$$

Onde:

$C_{pe}$  = coeficiente de forma externo;

$C_{pi}$  = coeficiente de forma interno,

$q$  = Pressão dinâmica e

$A$  = Área frontal ou perpendicular à atuação do vento

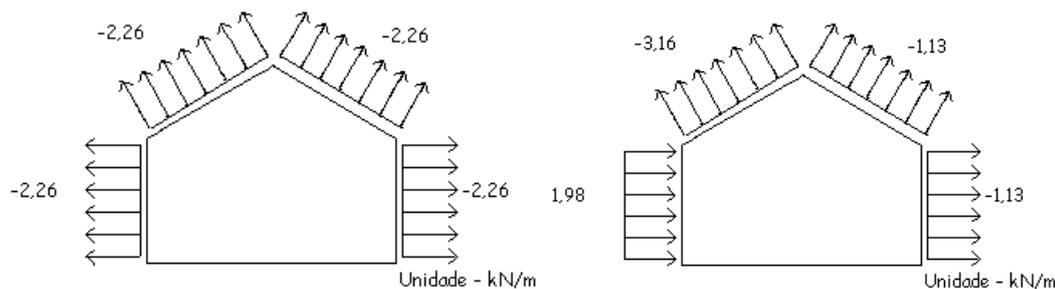


Figura 11: Esforços resultantes do carregamento de vento a 0° e a 90° respectivamente

### 3. Resultados e Discussões

Após alimentar as informações de carregamentos no SAP2000, obteve-se as deformações horizontais e os deslocamentos nos pontos considerados para análise. Vale ressaltar que os resultados gerados e analisados são apenas para as direções X e Y, visto que são onde ocorrem os maiores deslocamentos oriundos das cargas de vento e onde atuam os contraventamentos. Primeiramente será apresentado o resultado na direção x, posterior na direção y e ambos para análise. Além disso, o presente trabalho consistiu em analisar somente as paredes da estrutura de vedação externos do galpão, verificando os seus possíveis deslocamentos.

#### 3.1 Deformações gerais da estrutura

##### 3.1.1 Estrutura sem contraventamento

A deformada da estrutura sem nenhum contraventamento na direção X é apresentada a seguir, onde foi verificado uma alta solitação dos elementos principalmente na parte superior da estrutura, como é demonstrado na Figura 12. Na região dos apoios, por estarem engastados, apresentaram os menores deslocamentos, abaixo de 0,65 mm. Já na cobertura, onde os efeitos da pressão das paredes são maiores, o maior deslocamento encontrado foi de 9,1 mm.

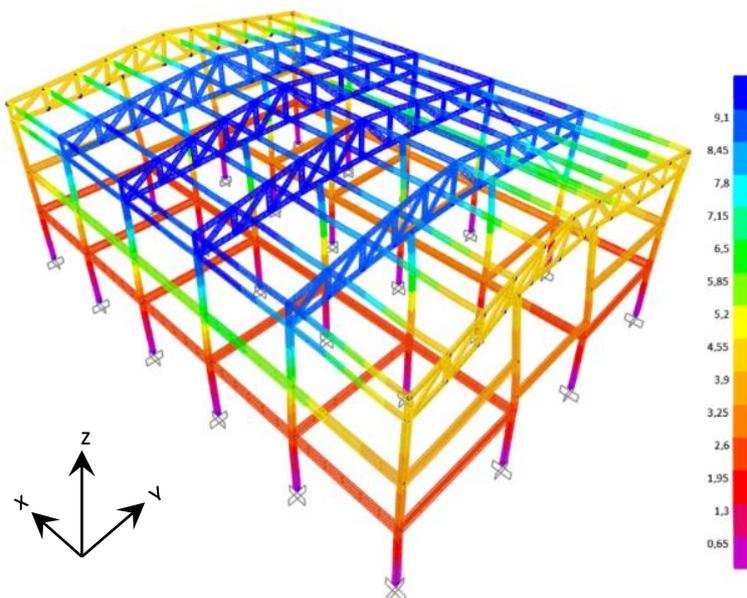


Figura 12: Deformações em estrutura sem contraventamento – direção X

De maneira análoga a direção X, foi feita a mesma análise na direção Y, mostrada na Figura 13, em que pode ser observado que o carregamento de vento nesta direção contribuiu para maiores deslocamentos principalmente na parte central da estrutura sem nenhum tipo de contraventamento. Analisando o pórtico

lateral foi possível notar que a estrutura deslocou cerca de 14,4 mm a 16,8 mm em alguns pontos, representados pela cor laranja.

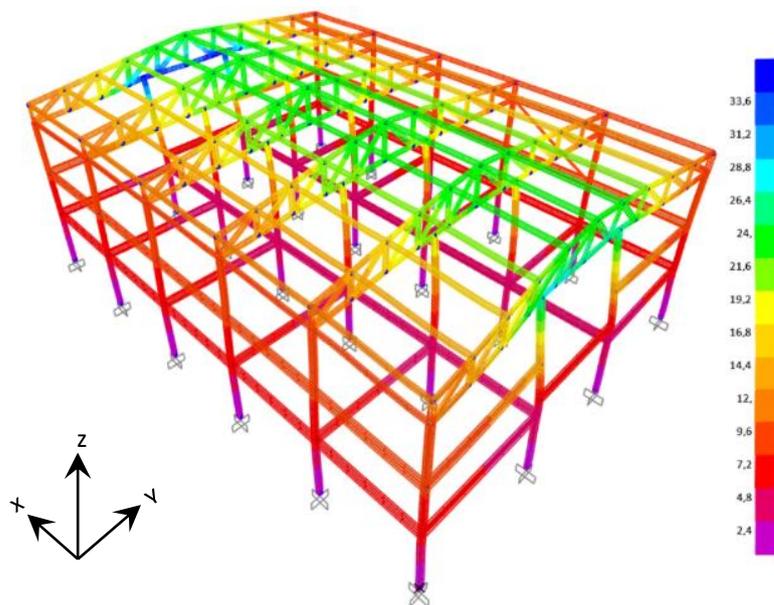


Figura 13: Deformações em estrutura sem contraventamento – direção Y

É de suma importância analisar a estrutura nas duas direções, X e Y, já que os carregamentos de vento podem agir de forma simultânea no corpo da estrutura, como é exposto pelo procedimento de cálculo da NBR 6123/1988 onde são apresentados os efeitos do vento a 0° e a 90°.

### 3.1.2 Estrutura com contraventamento tipo diagonal simples

Após a inserção das barras de contraventamento na diagonal nas laterais da estrutura, mostrado na Figura 14, foi possível verificar que há uma redução considerável do deslocamento na direção X em diversos pontos da estrutura, utilizando o pórtico frontal como análise, em que sem contraventamento apresentou 5,2 mm de deslocamento, com o sistema de contraventamento na diagonal o mesmo pórtico foi capaz de deslocar no máximo 1,5mm.

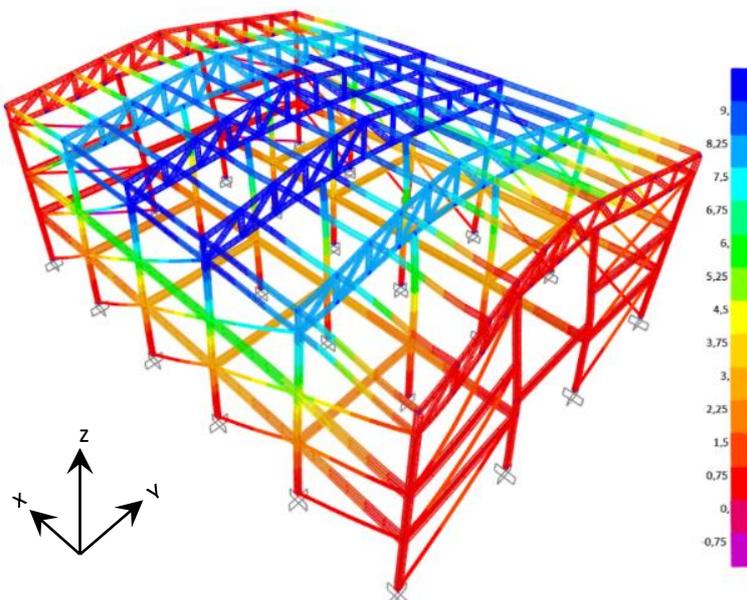


Figura 14: Deformações em estrutura com contraventamento tipo diagonal simples – direção X

Na direção Y, mostrada na Figura 15, a redução dos deslocamentos não foi tão notada como na direção X. Porém é perceptível que houve uma redução, podendo ser observada na parte lateral da estrutura onde alguns pontos possuíam 14,4 mm em média de deslocamento sem contraventamento e com o diagonal simples os deslocamentos chegaram no máximo a 12 mm nos mesmos pontos analisados.

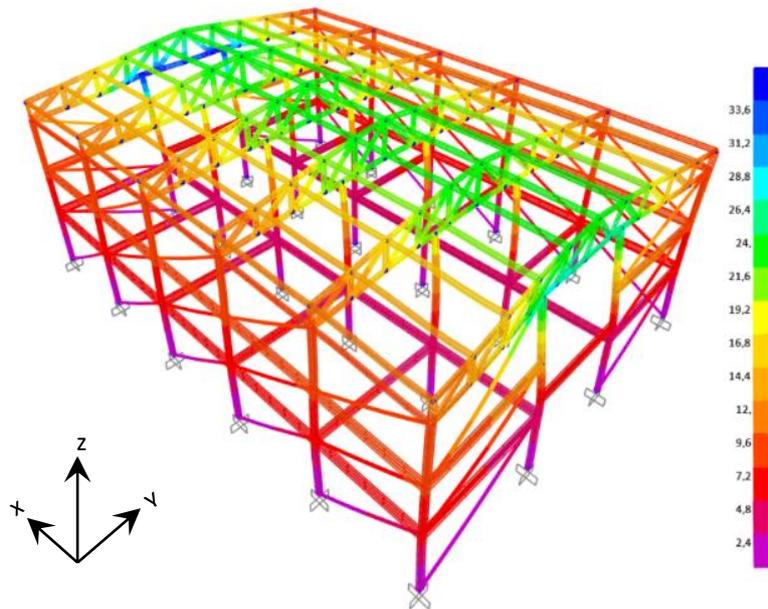


Figura 15: Deformações em estrutura com contraventamento tipo diagonal simples – direção Y

### 3.1.3 Estrutura com contraventamento tipo diagonal dupla

Após inserir o sistema de contraventamento na forma de diagonal dupla, ilustrado na Figura 16, pode-se notar que os deslocamentos obtidos na direção X, foram bem semelhantes aos deslocamentos do sistema de contraventamento com diagonal simples. Onde pode ser observado um deslocamento máximo de 1,5 mm nos mesmos pontos analisados para o sistema com diagonal simples.

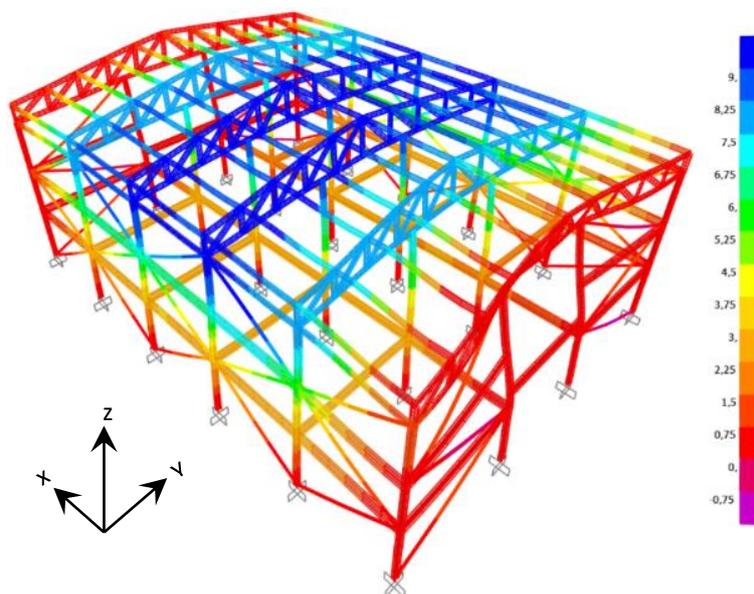


Figura 16: Deformações em estrutura com contraventamento tipo diagonal dupla – direção X

Em contrapartida, na análise da direção Y, o sistema de contraventamento com diagonal dupla se mostrou bastante eficaz no pórtico lateral analisado, como mostrado na Figura 17. Os deslocamentos verificados variam de 0 mm a 2,2 mm, uma redução bastante significativa, se equiparado ao diagonal simples que obteve deslocamentos na faixa de 9 mm a 12 mm.

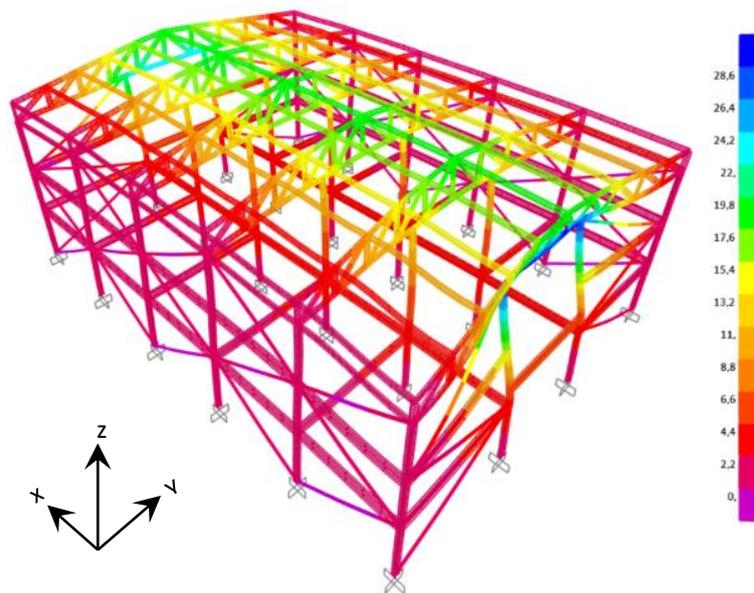


Figura 17: Deformações em estrutura com contraventamento tipo diagonal dupla – direção Y

### 3.1.4 Estrutura com contraventamento tipo V invertido

De maneira análoga aos outros sistemas de contraventamento, foi feita a análise com o sistema de contraventamento com barras no formato de V invertido, de acordo com a Figura 18, pode-se perceber que na direção X, este tipo de contraventamento apresentou melhores resultados para se reduzir os deslocamentos,

verificando o mesmo pórtico frontal, que foi verificado nos outros sistemas, pode ser notado que os deslocamentos são quase nulos, tendo como máximo deslocamento 0,7 mm. Essa redução de deslocamento se dá devido ao aumento da rigidez lateral dos pórticos, o contraventamento “V” invertido por apresentar barras com vãos menores, logo deslocamentos menores.

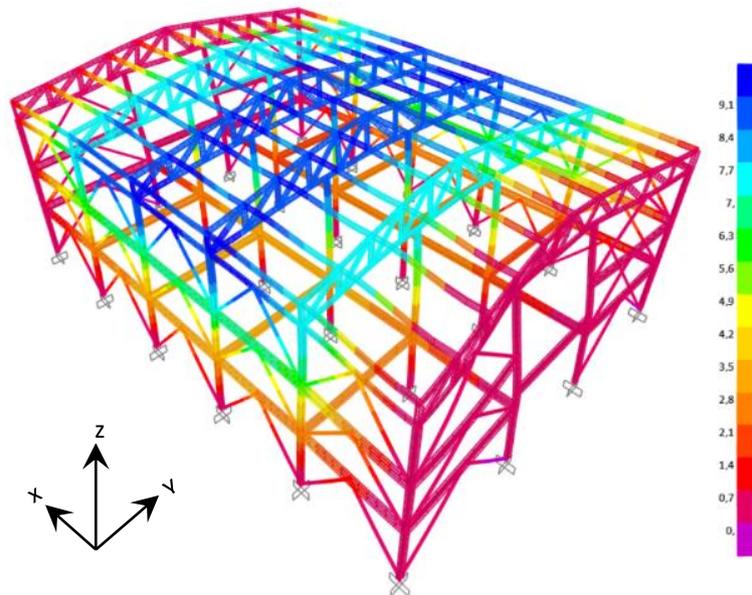


Figura 18: Deformações em estrutura com contraventamento tipo V invertido – direção X

Assim como na direção X, na direção Y este sistema também se mostrou bastante eficaz, podendo ser equiparado aos deslocamentos obtidos pelo sistema de diagonal dupla, já que o sistema de contraventamento “V” invertido é propício à ter uma maior rigidez lateral devido ao maior número de barras e menores vãos. Os deslocamentos máximos, no pórtico lateral analisado, para o contraventamento “V” invertido foram de 2,2 mm, conforme a Figura 19.

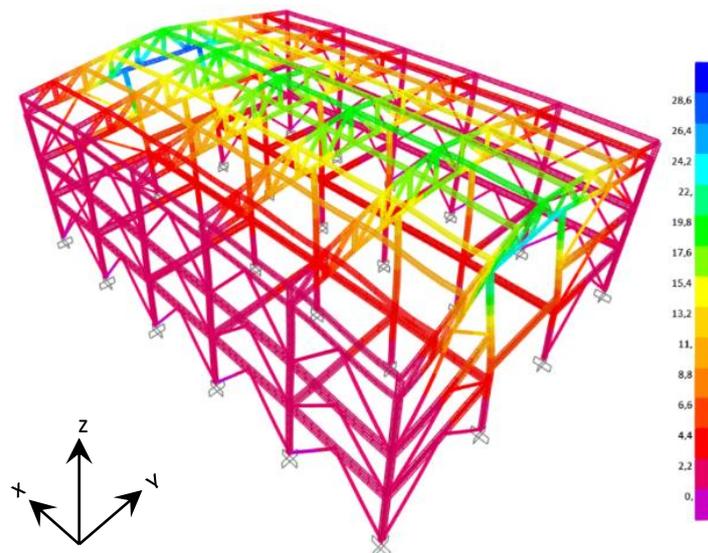


Figura 19: Deformações em estrutura com contraventamento tipo V invertido – direção Y

### 3.2 Deslocamentos em pontos considerados

Para uma análise mais criteriosa, foram escolhidos 24 pontos ao longo dos nós das fachadas laterais da estrutura para que pudessem ser verificados a eficácia dos contraventamentos em contextos locais das paredes do galpão, em posteriormente comparou-se os resultados de cada um desses pontos para as quatro estruturas modeladas. A disposição desses pontos pode ser notada na Figura 20.

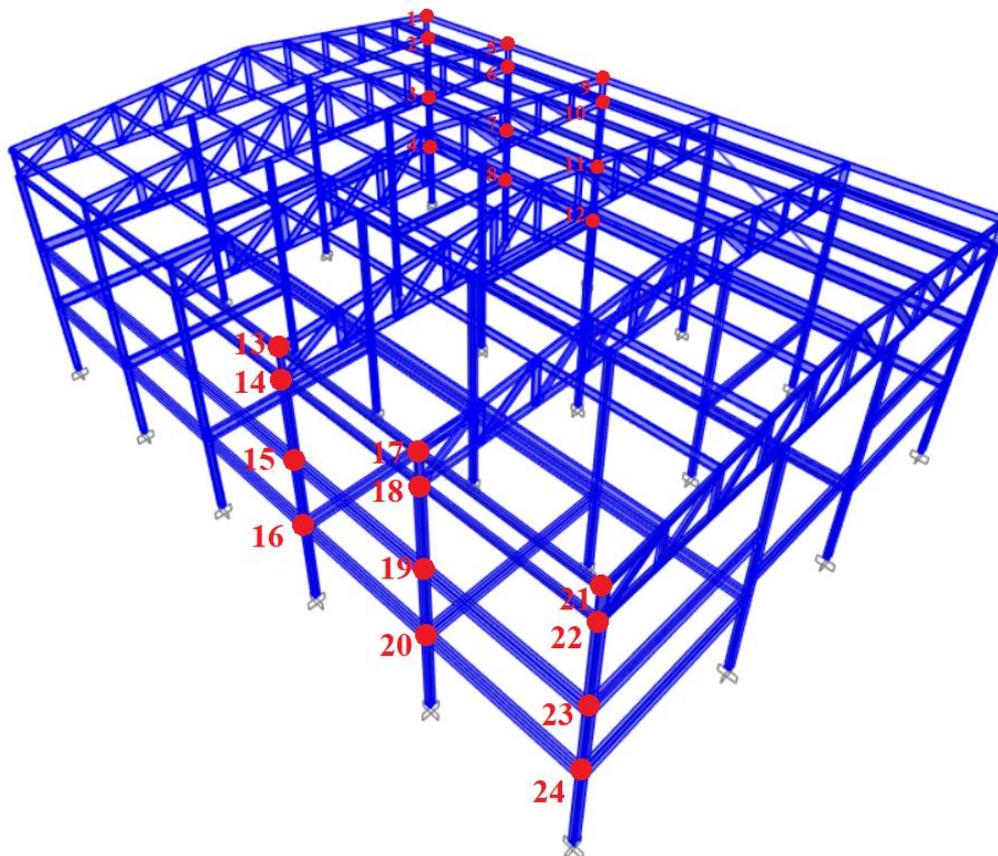


Figura 20: Pontos a serem analisados nas estruturas

As Tabelas a seguir apresentam os deslocamentos de todos os pontos dos galpões analisados. Para melhor compreensão, fez-se a normalização dos deslocamentos em cada ponto de acordo com a Equação (6). A normalização consiste em dividir cada valor de deslocamento pelo maior valor entre eles e depois os transforma em porcentagem para fazer as comparações.

$$NORMALIZAÇÃO = \frac{\text{Valor do deslocamento}}{\text{Maior valor de deslocamento em comparação}} \quad (6)$$

Analisando os deslocamentos na direção X, expostos na Tabela 2, constatou-se que mais da metade dos pontos tiveram maior deslocamento na estrutura não contraventada obviamente pela estrutura possuir menos elementos de rigidez.

As estruturas com diagonal simples e dupla apresentaram valores próximos entre eles em todos os pontos comparados, sendo mais de 30% destes com deslocamentos muito menores que a estrutura sem contraventamento.

O tipo V invertido foi o que resultou em menores deslocamentos em quase 80% dos pontos considerados, sendo que em mais de 30% deles os valores foram menores que 10% dos deslocamentos na estrutura sem contraventamento.

Tabela 2 – Deslocamentos e normalizações na direção X

Nós	DESLOCAMENTO NA DIREÇÃO X [MM]				NORMALIZAÇÃO			
	Tipo de contraventamento				Tipo de contraventamento			
	Sem contraventamento	Diagonal Simples	Diagonal Dupla	V Invertido	Sem contraventamento	Diagonal Simples	Diagonal Dupla	V Invertido
1	4,456	0,709	0,642	0,333	100,00%	15,91%	14,41%	7,47%
2	4,466	0,799	0,659	0,361	100,00%	17,89%	14,76%	8,08%
3	3,37	0,594	0,465	0,262	100,00%	17,63%	13,80%	7,77%
4	2,420	0,373	0,301	0,167	100,00%	15,41%	12,44%	6,90%
5	8,486	7,785	7,705	7,568	100,00%	91,74%	90,80%	89,18%
6	8,491	7,856	7,704	7,572	100,00%	92,52%	90,73%	89,18%
7	5,366	5,526	4,782	4,673	97,10%	100,00%	86,54%	84,56%
8	2,208	2,475	1,926	1,904	89,21%	100,00%	77,82%	76,93%
9	9,163	9,212	9,115	9,058	99,47%	100,00%	98,95%	98,33%
10	9,158	9,272	9,106	9,049	98,77%	100,00%	98,21%	97,59%
11	5,79	6,639	5,792	5,733	87,21%	100,00%	87,24%	86,35%
12	2,337	2,967	2,358	2,34	78,77%	100,00%	79,47%	78,87%
13	9,166	9,218	9,167	9,058	99,44%	100,00%	99,45%	98,26%
14	9,225	9,133	9,231	9,122	99,94%	98,94%	100,00%	98,82%
15	6,718	5,861	6,754	6,657	99,47%	86,78%	100,00%	98,56%
16	2,918	2,347	2,942	2,917	99,18%	79,78%	100,00%	99,15%
17	8,491	7,788	7,668	7,57	100,00%	91,72%	90,31%	89,15%
18	8,561	7,707	7,741	7,638	100,00%	90,02%	90,42%	89,22%
19	6,236	4,809	5,605	5,559	100,00%	77,12%	89,88%	89,14%
20	2,746	1,906	2,464	2,445	100,00%	69,41%	89,73%	89,04%
21	4,449	0,734	0,639	0,338	100,00%	16,50%	14,36%	7,60%
22	4,576	0,718	0,771	0,413	100,00%	15,69%	16,85%	9,03%
23	3,583	0,567	0,541	0,313	100,00%	15,82%	15,10%	8,74%
24	2,456	0,356	0,351	0,188	100,00%	14,50%	14,29%	7,65%

Já para a direção Y, os deslocamentos estão dispostos na Tabela 3 onde todos os deslocamentos assim como na direção X foram muito menores nas estruturas não contraventadas. Todos os deslocamentos dos pontos analisados em estruturas contraventadas, foram por volta de apenas 10% dos valores da estrutura não contraventada, caracterizando assim a eficácia e importância do contraventamento nas estruturas.

Também o tipo V invertido na direção Y apresentou melhor resposta quanto aos deslocamentos aplicados e analisados.

Tabela 3 - Deslocamentos e normalizações na direção Y

Nós	DESLOCAMENTO NA DIREÇÃO Y [MM]				NORMALIZAÇÃO			
	Tipo de contraventamento				Tipo de contraventamento			
	Sem contraventamento	Diagonal Simples	Diagonal Dupla	V Invertido	Sem contraventamento	Diagonal Simples	Diagonal Dupla	V Invertido
1	9,645	0,430	0,366	0,249	216,45%	9,65%	8,21%	5,59%

2	9,484	0,423	0,359	0,263	212,36%	9,47%	8,04%	5,89%
3	7,497	0,330	0,266	0,195	222,46%	9,79%	7,89%	5,79%
4	5,261	0,205	0,175	0,137	217,40%	8,47%	7,23%	5,66%
5	9,643	0,433	0,369	0,247	113,63%	5,10%	4,35%	2,91%
6	9,466	0,398	0,318	0,216	111,48%	4,69%	3,75%	2,54%
7	7,488	0,323	0,259	0,172	135,50%	5,85%	4,69%	3,11%
8	5,254	0,202	0,160	0,116	212,28%	8,16%	6,46%	4,69%
9	9,642	0,432	0,369	0,241	104,67%	4,69%	4,01%	2,62%
10	9,461	0,389	0,318	0,192	102,04%	4,20%	3,43%	2,07%
11	7,487	0,321	0,252	0,156	112,77%	4,84%	3,80%	2,35%
12	5,253	0,204	0,159	0,104	177,05%	6,88%	5,36%	3,51%
13	9,618	0,982	0,373	0,237	104,34%	10,65%	4,05%	2,57%
14	9,442	0,310	0,314	0,186	102,29%	3,36%	3,40%	2,01%
15	7,485	0,245	0,262	0,149	110,82%	3,63%	3,88%	2,21%
16	5,254	0,143	0,162	0,098	178,59%	4,86%	5,51%	3,33%
17	9,633	0,387	0,388	0,244	113,45%	4,56%	4,57%	2,87%
18	9,461	0,302	0,347	0,197	110,51%	3,53%	4,05%	2,30%
19	7,497	0,235	0,272	0,152	120,22%	3,77%	4,36%	2,44%
20	5,265	0,133	0,174	0,099	191,73%	4,84%	6,34%	3,61%
21	9,649	0,395	0,401	0,251	216,88%	8,88%	9,01%	5,64%
22	9,49	0,311	0,372	0,220	207,39%	6,80%	8,13%	4,81%
23	7,516	0,233	0,296	0,161	209,77%	6,50%	8,26%	4,49%
24	5,28	0,178	0,184	0,104	214,98%	7,25%	7,49%	4,23%

De maneira geral os galpões contraventamentos tenderam a limitar os deslocamentos das estruturas, restringindo o aparecimento de efeitos de 2ª ordem em verificações do Estado Limite de Utilização, atuando principalmente na mobilidade como na resistência da estrutura, recebem os carregamentos laterais e aplicam aos pisos e aos nós rígidos de elementos de ligações entre pilares dos pórticos. A estabilidade estrutural é obtida através dos contraventamentos aplicados ao longo de toda a altura do edifício adquirindo maior rigidez.

A figura 21 apresenta o princípio de funcionamento do método, onde no primeiro caso os esforços são distribuídos aos elementos (vigas e pilares) até a fundação, porém os elementos basicamente sofrem os esforços de flexão. Para o segundo caso com contraventamento V invertido, a principal função das estruturas também são a transferência dos esforços, mas devido os elementos de ligações dos contraventados (nós rígidos) há um aumento da rigidez e os esforços de flexão são transformados basicamente em tração e compressão nas diagonais.

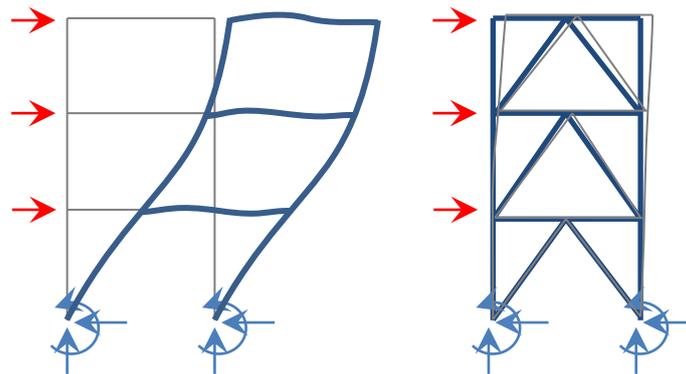


Figura 21 - Princípio de distribuição de esforços em pórticos

Para a definição de melhor utilização do contraventamento do tipo V invertido é preciso levar em consideração que os esforços de flexões do galpão não contraventado é transformado em esforços básicos de tração e compressão, já que estes são resultantes de um binário da flexão.

#### 4. Conclusão

Foi comparado, através do software SAP2000, quatro estruturas de um mesmo galpão: uma não contraventada e três com tipos distintos de contraventamento, adotando uma carga de vento calculada a partir da NBR 6123/1988. A partir disso, foram analisadas as deformações de cada estrutura em um total de 24 pontos escolhidos na lateral do galpão. Após essas análises, ficou claro a importância do uso de contraventamentos em estruturas metálicas submetidas a cargas de vento, pois os deslocamentos diminuíram drasticamente.

Verificou-se que na maioria dos casos os contraventamentos do tipo diagonal simples e dupla obtiveram valores muito parecidos mostrando que alternando a disposição das barras não será sinônimo de melhora significativa na estabilidade da estrutura.

O melhor desempenho ficou por conta do tipo V invertido, apresentando menores deslocamentos em quase todas as comparações visto a rigidez apresentada por este método.

#### Referências

1. ABNT, A. B. DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, p. 66, 1988.
2. CARNEIRO, R. B. Controle Semi-Ativo de Vibrações em Estruturas Utilizando Amortecedor Magnetorreológico. **Universidade de Brasília**, p. 154, 2009.
3. CHAVES, J. R. F. Análise dinâmica de pórticos metálicos contraventados. **Universidade de Brasília**, p. 93, 2009.
4. CHÁVEZ, E. S. Análise Estrutural de Edifício Alto submetido às Pressões Flutuantes Induzidas pela Ação do Vento. **Universidade Federal de Minas**, p. 135, 2006.
5. KATKAR, D. D.; PHADTARE, N. P. Comparative Study of an Industrial Pre-Engineered Building with Conventional Steel Building. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, p. 127-133, 2018.
6. MATOS, R. C. B. DE. Sistemas de Contraventamentos em Edifícios de Estrutura Metálica. **Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS**, p. 65, 2014.
7. PATTANSHETTI, S., KULKARNI, S. M. Comparative Study on the Economy between Pre-Engineered and Conventional Steel Buildings. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, p. 2708-2711, 2017.
8. SMITH, B. S.; COULL, A. Tall Building Structures: Analysis and Design. Canadá: John Wiley & Sons, Inc., 1991.
9. TITIKSH, A., DEWANGAN, A., KHANDELWAL, A., & SHARMA, A. Comparative study of conventional steel building and Pre-Engineered building to be used as an industrial shed. **International Journal of Engineering Research and Applications**, p. 5(11), 2015.