

Tema: Abordagem pedagógica e conceitual em edificações de aço

## ABORDAGEM DIDÁTICA E PRÁTICA DA AÇÃO DO VENTO EM EDIFICAÇÕES\*

Breno Matias do Nascimento<sup>1</sup>  
Dalmon Guzzo Moratti<sup>2</sup>  
Jairo Lopes de Oliveira Junior<sup>3</sup>  
Nadia Maria Drago Scotá<sup>4</sup>  
Raiza Borçato Broetto<sup>5</sup>  
Ricardo Gottardi Ventura Sagrilo<sup>6</sup>  
Walnório Graça Ferreira<sup>7</sup>

### Resumo

O estudo dos esforços provocados pelo vento nas edificações é pouco disseminado no meio acadêmico. Devido a isso, e a importância do mesmo no dimensionamento de estruturas, em especial das estruturas de aço, por sua leveza, este trabalho aborda de forma didática e prática a ação do vento nas edificações, e destina-se principalmente a estudantes de graduação em Engenharia Civil, Engenharia Mecânica e Arquitetura e Urbanismo, tendo por base as prescrições da norma brasileira, ABNT NBR 6123/1988 – Forças Devidas ao Vento em Edificações. Inicialmente apresentam-se alguns acidentes causados pela ação do vento e, em seguida, os conceitos, por meio de parâmetros meteorológicos, topográficos, de rugosidade, dimensão e ocupação utilizados na obtenção da velocidade básica e característica do vento, assim como os coeficientes de pressão, internos e externos, e de arrasto utilizados para a determinação da ação estática do vento, além de aspectos complementares. Para melhor compreensão da teoria é realizada uma abordagem prática em que se analisa um exemplo de uma edificação sob a ação do vento. Para isso, utiliza-se o programa VisualVentos aplicado a um galpão de base retangular e telhados com duas águas.

**Palavras-chave:** Forças devidas ao vento; Abordagem didática; Software VisualVentos.

## A DIDACTIC AND PRACTICAL APPROACH ABOUT EFFECT OF WIND ON BUILDINGS

### Abstract

The academic studies of effect of wind on buildings are still very incipient. Due to importance of structures dimensioning, specially about steel structure for being light, the present study proposes a didactic and practical approach of effect of wind on buildings, for students of Civil and Mechanical Engineering, Architecture and Urbanism. The document used as theoretical basis for the study is the ABNT NBR 6123/1988 – Forças Devidas ao Vento em Edificações (Wind Forces on Buildings). First, it presents some accidents caused by wind load, then are introduced concepts through meteorological and topographic parameters, roughness, dimension and occupation used to obtain basic and regular speed of wind, as well as coefficients of internal and external pressure and dragging coefficient used to determine the wind-static action among other complementary aspects. By the end, it was utilized an example of a construction under the influence of the wind to apply the theory we propose by using the software VisualVentos in a rectangular hangar with gable roof.

**Keywords:** Wind load; Didactical approach; VisualVentos software

---

\* Contribuição tecnológica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>1</sup>Engenharia Civil, Estudante, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

<sup>2</sup> Engenharia Civil, Estudante, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

<sup>3</sup> Engenharia Civil, Estudante, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

<sup>4</sup> Engenharia Civil, Estudante, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

<sup>5</sup> Engenharia Civil, Estudante, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

<sup>6</sup> Engenharia Civil, Estudante, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

<sup>7</sup> Engenheiro Civil, Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, a Engenharia Civil vem sendo solicitada cada vez mais. O foco da sociedade no fator econômico e com o mundo globalizado, as obras e projetos estão sendo otimizados e adaptados para uma rápida execução, tendo como objetivo o baixo custo e o alto lucro.

A preocupação com prazos e custos faz com que projetos sejam realizados de maneira rápida, mas sem uma análise adequada de todos os pontos que regem a segurança da edificação, e assim, em um momento futuro, possam vir a falhar em certos fatores cruciais para a estabilidade do edifício. Um projeto tem que ser elaborado de modo a resguardar a edificação de todas as maneiras, tendo como principal critério a segurança. Todas as etapas de um projeto devem ser realizadas atentamente para evitar qualquer falha quanto aos fatores que solicitam a estrutura.

Um ponto importante na elaboração de um projeto é a ação do vento na estrutura. Em determinadas ocasiões o vento é um dos principais fatores para a análise estrutural da construção, como em: edifícios altos, pontes, coberturas, galpões, dentre outros.

Visando a segurança estrutural, realizar-se-á um estudo que tem por objetivo obter informações técnicas e acadêmicas sobre a ação do vento em estruturas, para que assim seja possível obter o conhecimento sobre o assunto e assim utilizá-lo na vida profissional.

Com isso, aplicaremos conhecimentos da Engenharia Civil juntamente com a análise física do fluido (vento), e fazendo os devidos estudos ao decorrer do artigo obteremos informações para a apresentação dos resultados.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este artigo tem como objeto de estudo a influência do vento em edificações metálicas, de forma a dar embasamento teórico para futuros trabalhos nessa área. Para seu desenvolvimento, foi realizada uma pesquisa para o levantamento teórico e dos principais pontos a serem abordados.

De uma forma geral, o método utilizado neste estudo baseou-se em uma revisão bibliográfica, tendo como referência principal os estudos realizados por Blessmann [1978] e Gonçalves et al. [2007], de forma a obter o embasamento teórico necessário para a elaboração de um material expositivo didático sobre a influência de ventos em estruturas metálicas.

Foi elaborada uma simulação de um galpão em estrutura metálica sob a influência do vento, utilizando o software VisualVentos. Esse aspecto permitiu aplicar alguns conceitos expostos ao longo do estudo para uma situação mais próxima da realidade.

## 3. ABORDAGEM TEÓRICA

---

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

### 3.1. IMPACTOS E ACIDENTES PROVOCADOS PELO VENTO

Conhecer a natureza em seu todo e dominar suas ações são desejos que toda a humanidade busca desde o passado até os dias atuais. Acoplar esses conhecimentos juntamente com recursos técnicos seria um avanço sem igual para a sociedade. Para a engenharia esse fato se torna cada dia mais cobiçado.

Tendo como foco a Engenharia Civil, poderíamos notar que a natureza afeta de forma considerável as edificações projetadas. Fatores como solo, sol, chuva, maresia, vento estão diretamente ligados à edificação. Com o conhecimento necessário em mãos, por exemplo, acidentes causados pelo vento não seriam tão devastadores.

Em Washington nos Estados Unidos, por exemplo, a Ponte de Tacoma Narrows (em inglês, Tacoma Narrows Bridge), uma ponte pênsil com 1600m de comprimento, entrou em colapso no dia 7 de novembro de 1940. O colapso iniciou-se na madrugada, depois de um forte vento chegando a 70 km/h, atingindo a estrutura e fazendo-a oscilar inicialmente com leves movimentos longitudinais (ao decorrer do seu comprimento). Mas depois de alguns momentos os esforços de torção começaram a agir e a estrutura não aguentou e entrou em colapso. Provavelmente a ponte foi projetada para suportar o peso dos automóveis que nela trafegavam e também uma pequena ação aceitável do vento sobre a estrutura, mas, o que os projetistas não esperavam é que ocorreria um vento de 70km/h e que causaria um desastre como aquele.

Elementos da natureza, neste caso o vento, quando em ocasiões catastróficas chegam de repente, de modo que dificilmente temos reações rápidas o bastante para nos protegermos ou evitarmos que os bens possam ser danificados pela ação natural.

As ações do vento podem ser causadas por alguns elementos naturais, como: tornados e furacões. Mesmo que as previsões climáticas, divulgadas pelos veículos de comunicações, trabalhem para antecipar o alerta, há casos excepcionais que nem sempre conseguem. Os tornados e os furacões são muito perigosos, sua força devastadora é gigante, podem acabar com estados e cidades em minutos. Como já citado no parágrafo anterior, não há o que fazer contra tamanha destruição.

No Brasil em março de 2004 o furacão Catarina formado no Atlântico atingiu a região sul do litoral de Santa Catarina e norte do litoral do Rio Grande do Sul matando pelo menos 3 pessoas causando estragos nos arredores.

Porém, nem sempre os desastres causados pela ação do vento são de fato originados apenas por esse fator. Algumas vezes o real motivo causador dos acidentes, que não são acidentes e sim falhas humanas associadas à ação do vento, podem ser causados por falta de atenção na execução ou elaboração do projeto de:

- Ancoragens de terças;
- Contraventamento de estruturas de cobertura;
- Fundações inadequadas;

---

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

- Paredes inadequadas;
- Deformidade excessiva da edificação;

O vento não deixa de ser um critério importante para a realização do projeto, mesmo em áreas onde não há ação relevante, por não atuar de forma visível no objeto projetado, a ação do mesmo está presente diariamente de forma contínua afetando a estrutura e deformando-a.

### 3.2. ORIGEM DO VENTO

Conforme o Serviço de Meteorologia dos Estados Unidos, o vento tem sua origem fundamentalmente na diferença de pressão gerada na atmosfera, frequentemente influenciada pela mudança de temperatura e pela saturação de vapor d'água. O vento pode ser definido como o ar em movimento e geralmente as previsões do tempo apresentam a velocidade do vento em sua direção horizontal. Embora os efeitos do vento na direção vertical são tipicamente pequenos quando comparados com os efeitos na direção horizontal, há situações em que seus efeitos são bastante significativos podendo causar sobrepressão ou subpressão em estruturas levando uma estrutura ao colapso, em caso de mau dimensionamento.

Gonçalves et al. [2007], afirmam que a formação do vento pode ocorrer por circulação global, onde o aquecimento diferenciado entre os polos desloca as massas mais densas para o equador. Podendo se originar na frente fria, na frente quente ou ainda em tempestades tropicais, onde as velocidades são bastante altas e podem causar danos às construções.

### 3.3. EFEITOS DO VENTO

Edificações estão sujeitas a cargas horizontais provocadas pelo vento sendo que as edificações altas e esbeltas tendem a sofrer mais com esse tipo de esforço, pois eles são capazes de impor grandes momentos fletores sobre a estrutura e causar o deslocamento lateral da mesma, conforme Figura 1.

Ching [2014] afirma que, os principais efeitos que o vento pode causar a uma estrutura são as solicitações laterais. Esses efeitos são a combinação de pressão direta, pressão negativa ou sucção e esforços de fricção. A pressão direta ocorre quando a superfície está perpendicular à direção do vento. Já a sucção acontece quando a superfície é "puxada", o que pode levar a danos principalmente em coberturas e fachadas. Fricção ocorre quando o ar em movimento não para quando atinge a edificação, o fluxo se distribui em torno dela. As forças de fricção longitudinal são provocadas pela força de atrito.

O vento provoca menores solicitações em edificações com superfícies aerodinâmicas do que em edifícios com superfícies retas. Edificações muito altas devem apresentar redução gradual nas áreas dos pavimentos para combater as velocidades e as pressões do vento, que se apresentam maiores em grandes alturas, vide Figura 1.

---

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

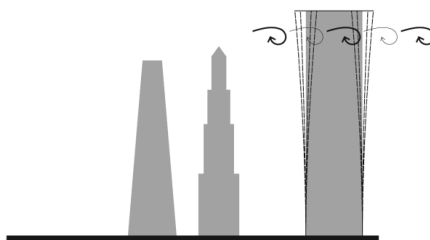


Figura 1. Redução da área dos pavimentos com a altura. Fonte: Ching (2014)

### 3.4. DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO

Para se determinar a velocidade com a qual o vento irá incidir em uma determinada edificação é preciso ter em mente algumas considerações, a primeira é bastante intuitiva, deve-se levar em consideração que diferentes regiões do planeta Terra estão submetidas a diferentes velocidades do vento. Outra importante consideração é que a velocidade do vento é obtida por meio de medições (anemômetros ou anemógrafos), para uma dada região.

O Objetivo da determinação da velocidade do vento na engenharia estrutural é definir a velocidade máxima que uma determinada edificação estará submetida ao longo de sua vida útil (50 anos) e de acordo com as informações obtidas dimensionar devidamente a estrutura, segundo Gonçalves et al. [2007].

#### 3.4.1. Determinação da velocidade básica do vento

Com base na Norma Brasileira NBR-6123:1988, a velocidade básica do vento,  $V_0$ , é a velocidade de uma rajada de três segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano. A Norma coloca à disposição valores de velocidades básicas, da região brasileira, na forma de “Isopletas”, conforme Figura 2.

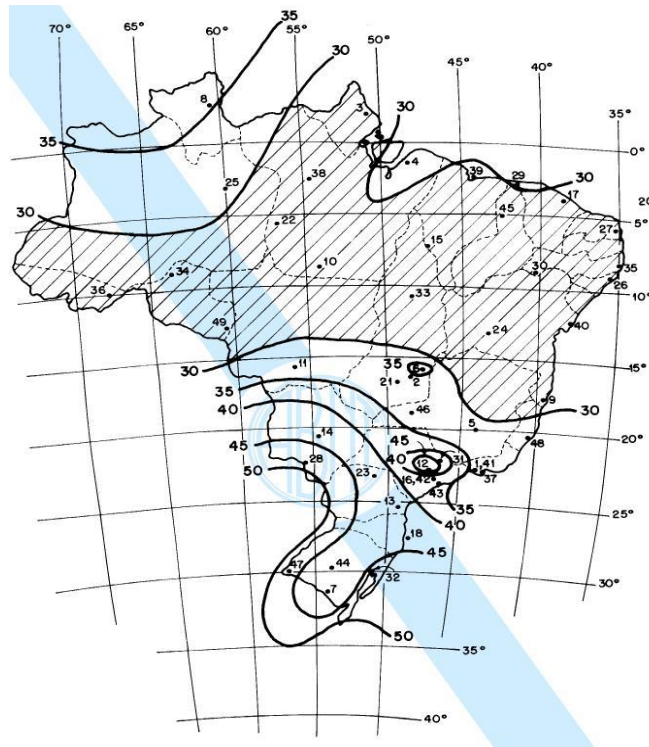


Figura 2. Isopletas, isto é, curvas de igual velocidade básica  $V_0$ , em m/s. Fonte: NBR-6123.

### 3.4.2. Determinação da velocidade característica

A NBR-6123:1988 propõe para determinação da velocidade característica a seguinte equação:

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3$$

Onde,  $V_0$  é a velocidade básica do vento, definida anteriormente.

$S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  são fatores utilizados para corrigir a velocidade básica para condições reais de acordo com a edificação que o vento estará atuando.

#### **$S_1$ – Fator topográfico**

Este fator leva em consideração o aumento ou a diminuição da velocidade básica de acordo com a topografia do terreno.

A NBR-6123:1988 considera as três seguintes situações:

<b>A</b>	Terreno plano ou pouco ondulado	$S_1 = 1,0$
----------	---------------------------------	-------------

<b>B</b>	Taludes e morros	$S_1 =$ depende do ângulo de inclinação do talude
<b>C</b>	Vales profundo protegidos do vento	$S_1 = 0,9$

## S<sub>2</sub> – Fator rugosidade do terreno

Para determinação do fator  $S_2$  são consideradas a rugosidade média geral do terreno e a dimensão da edificação.

A NBR-6123:1988 estabelece cinco categorias (I a V), em função da rugosidade do terreno:

CATEGORIA	TIPO DE SUPERFÍCIE DO TERRENO
<b>I</b>	Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente.
<b>II</b>	Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. Obstáculos com altura média abaixo de 1,0 metros.
<b>III</b>	Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos. Obstáculos com altura média de 3,0 metros.
<b>IV</b>	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada. Altura média dos obstáculos de 10 metros.
<b>V</b>	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. Obstáculos com altura média de 25 metros ou mais.

Além das características de rugosidade do terreno, deve-se levar em consideração as dimensões do edifício.

CLASSE	DIMENSÕES DO EDIFÍCIO
<b>A</b>	Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação.  Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical seja inferior a 20 metros.



<b>B</b>	Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros.
<b>C</b>	Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 metros.

Relacionando a categoria do terreno com a classe do edifício, encontramos o valor de  $S_2$  na tabela presente na norma.

### S<sub>3</sub> - Fator Estatístico

De acordo com a NBR-6123, o Fator Estatístico  $S_3$  é baseado em conceitos estatísticos e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação.

GRUPO	DESCRIÇÃO	S <sub>3</sub>
<b>1</b>	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
<b>2</b>	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.	1,00
<b>3</b>	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.).	0,95
<b>4</b>	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.).	0,88
<b>5</b>	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção.	0,83

Tendo assim definido os parâmetros  $V_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  é possível determinar a velocidade característica  $V_k$ .

### 3.5. AÇÃO ESTÁTICA DO VENTO NAS EDIFICAÇÕES

De acordo com Blessmann [1978], a ação do vento nas edificações pode ser compreendida a partir do Teorema de Conservação da Massa e do Teorema de Bernoulli aplicados ao vento, considerado por hipótese, um fluido incompressível em fluxo permanente, admitindo-se também a pressão ou carga de posição desprezível. A partir dessas considerações determina-

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

se a Pressão de Obstrução - parâmetro  $q$ . Define-se como Pressão de Obstrução a pressão obtida no Ponto de Estagnação (ponto em que a velocidade do fluido é nula) onde só existe a pressão estática, sendo essa perpendicular à superfície da estrutura.

A pressão de obstrução apresenta grande relevância por ser utilizada como referência na determinação da pressão estática total dos demais pontos da edificação e é determinada por:

$$q = \frac{1}{2} \rho v_k^2$$

Sendo  $\rho$  a massa específica do ar e  $v_k$  a velocidade característica do vento.

### 3.5.1. Coeficientes de pressão externa ( $C_{pe}$ ) e de forma ( $C_e$ )

O coeficiente de pressão externa a uma edificação ( $C_{pe}$ ) pode ser definido a partir do Teorema de Bernoulli, como:

$$C_{pe} = 1 - \frac{v^2}{v_k^2}$$

Dessa forma medindo-se a velocidade no ponto em estudo e a velocidade característica do vento determina-se o  $C_{pe}$ . De maneira realista a forma da edificação o  $C_{pe}$  pode ser obtido por meio de ensaios com modelos reduzidos em túnel de vento, que medem pressões e essas são associadas às respectivas velocidades necessárias para a obtenção do coeficiente. O método que utiliza o túnel de vento, como mostra o exemplo da figura 3, permite a obtenção do  $C_{pe}$  a cada ponto para qualquer forma de edificação, resultando em projetos mais precisos (Loturco, 2010).



Figura 3. Simulação com modelo reduzido em túnel de vento. Fonte: [techne.pini.com.br](http://techne.pini.com.br)

A fim de simplificar o dimensionamento das estruturas a NBR 6123:1988 indica a utilização dos coeficientes de forma ( $C_e$ ) que são valores médios do coeficiente de pressão para respectiva superfície da edificação. No entanto, em posições que apresentam elevados valores de  $C_{pe}$ , principalmente onde há a formação de vórtices, esses ainda devem ser adotados.

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

A determinação dos  $C_{pe}$  e  $C_e$  consideram as características aerodinâmicas da edificação, dessa forma podem surgir sobrepressão (pressão efetiva acima da pressão atmosférica) e sucção (pressão efetiva abaixo da pressão atmosférica) a barlavento e sotavento respectivamente, como apresentado na figura 4 por Leão e Aragão [2013]. O barlavento pode ser definido como a face da edificação em que ocorre a incidência do vento e sotavento como a face oposta à que ocorre a incidência do vento.

Recomendações de valores de  $C_{pe}$  e  $C_e$  são apresentados no anexo 1 da NBR 6123:1988.



Figura 4 – Ação externa do vento em edificações. Fonte: *aquarius.ime.eb.br*

### 3.5.2. Coeficientes de pressão interna ( $C_{pi}$ )

O coeficiente de pressão interna está relacionado ao fato de que as paredes e/ou a cobertura de edificações em condições normais de serviço ou como consequência de danos, podem possuir aberturas (portas, janelas, bacias, frestas, entre outros) por onde o ar pode entrar ou sair, modificando-se as condições ideais supostas nos ensaios (Blessmann, 1978).

O  $C_{pi}$  é obtido por meio da permeabilidade de cada face da edificação - função das dimensões - e dos valores de sobrepressão e sucção externas que atuam na parte interna da edificação - função da localização das aberturas e da direção do vento. Por exemplo: aberturas a barlavento geram sobrepressão interna (+) enquanto aberturas a sotavento geram sucção interna (-).

Por essas várias influências não seria fácil e prático o cálculo de  $C_{pi}$  por equações. Com isso a NBR 6123:1988 apresenta valores de  $C_{pi}$  para várias situações de abertura e índice de permeabilidade (relação entre área das aberturas e a área total da superfície).

### 3.5.3. Força resultante (F)

Com os coeficientes de pressão externa e interna definidos pode-se, então, calcular a força de vento resultante que atua em uma superfície (F). Segundo Blessmann [1978], como a força resultante depende diretamente da diferença da pressão nas faces interna e externa, define-se o coeficiente de pressão ( $C_p$ ):

$$C_p = C_{pe} - C_{pi}$$

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

A partir disso a força resultante é determinada pelo produto entre o coeficiente de pressão ( $C_p$  - soma vetorial de  $C_{pe}$  e  $C_{pi}$ ), a pressão de obstrução ( $q$ ) e a área da superfície estudada ( $A$ ):

$$F = C_p \cdot q \cdot A$$

Vale ressaltar a importância e necessidade se obter as condições críticas do  $C_p$  para cada superfície que compõe a edificação de modo a dimensionar sua estrutura adequadamente as situações mais solicitantes.

#### 3.5.4. Coeficientes de Arrasto

Para obtermos os valores de  $C_{pi}$  (coeficiente de pressão interna) os métodos vistos anteriormente podem nos conduzir a várias hipóteses. Quando a altura da edificação a ser implantada superar em muito as dimensões em planta ou quando possuem aberturas dominantes à barlavento e à sotavento os procedimentos adotados podem perder o significado.

Pitta [1987] diz que a força global do vento sobre uma edificação ou parte dela é obtida pela soma vetorial das forças devidas ao vento que atuam em todas suas partes, vide Figura 5. Pode-se obter uma componente da força global numa direção pré-estabelecida e determinar-se o coeficiente de força para essa direção.

$$C = \frac{F_x g}{q x A}$$

Onde:

C: Coeficiente de força

$F_g$ : Resultante das forças sobre a edificação

g: Gravidade

q: Pressão de obstrução

A: Área da superfície de referência (exemplo: fachada principal de uma edificação paralelepípedica)

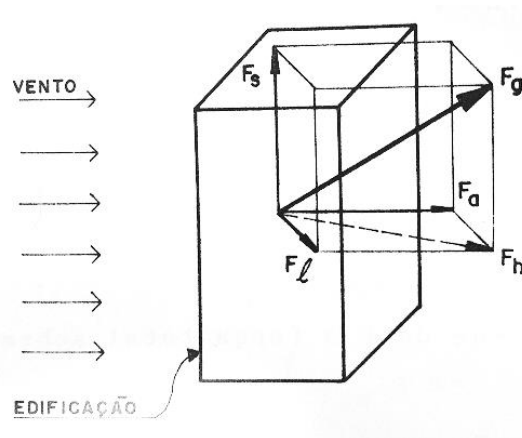


Figura 5 - Forças aerodinâmicas sobre uma edificação. Pitta [1987].

Segundo Blessmann [1978], a força de arrasto é a componente de força global na direção do vento. É fundamental para o calculista, pois permite determinar ações que serão aplicadas em toda estrutura.

De maneira semelhante as demais forças, a força de arrasto será obtida pela equação:

$$F_a = C_a \times q \times A$$

Onde:

$C_a$ : Coeficiente de arrasto

$q$ : Pressão de obstrução

$A$ : Área da superfície de referência para cada caso

Na prática é comum aplicar a força de arrasto na determinação da ação do vento em edifício de andares múltiplos, torres e estruturas isoladas.

A NBR 6123 recomenda diversos valores de coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) por meio de gráficos e tabelas, devemos observar o tipo de estrutura que estamos projetando e considerar principalmente as condições de turbulência ou não turbulência do vento que incide sobre a edificação.

A Norma define, de maneira genérica, as condições mínimas para que se possa admitir vento de alta turbulência e afirma que uma edificação pode ser considerada em zona de alta turbulência quando sua altura não excede duas vezes a altura média das edificações vizinhas. Além disso, a norma fornece a relação entre distâncias e altura para consideração de edificações vizinhas.

A NBR 6123 leva em consideração a atuação de forças de arrasto com excentricidades em relação ao centro de torção da seção transversal da edificação e prescreve que, quando for o caso, o efeito da força de arrasto deve ser considerado em função do tipo de estrutura a ser calculada, suas características e modelo de cálculo.

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

### 3.6. A AÇÃO DO VENTO E AS INFLUÊNCIAS ENTRE EDIFICAÇÕES

Cada edificação tem seu próprio campo aerodinâmico, dependente de fatores como forma geométrica, posição geográfica e direção que se dá a incidência dos ventos. Segundo Blessmann[1978], esse campo também é afetado pela presença de obstáculos próximos ao local, principalmente os de grande porte, como outras edificações. Dessa forma, tem-se que edificações próximas exercem influência direta no campo aerodinâmico umas das outras, e portanto são capazes de mudar a forma como incide o vento em cada uma.

O vento, enquanto elemento dinâmico, possui direção, sentido e velocidade. A mudança do campo aerodinâmico pode promover mudanças na sua direção, aumentos consideráveis na sua velocidade e, conseqüentemente, diferentes coeficientes de pressão externa.

Apesar da dinâmica do vento e sua alta variabilidade tornarem difícil a elaboração de padrões e normas para influências entre edificações, é necessário o conhecimento destas para a elaboração de um projeto que atenda às normas de segurança e forneça conforto para usuários e transeuntes próximos.

#### 3.6.1. Afunilamento (Efeito Venturi)

De acordo com Gonçalves et al. [2007], o afunilamento ocorre quando a presença de duas ou mais edificações torna o canal natural de escoamento do vento mais estreito, formando um “corredor” de vento, Figura 6. A massa de ar aumenta sua aceleração nessa região, ganha velocidade ao longo do percurso e tornam os coeficientes de pressão maiores nas paredes desse “corredor”.

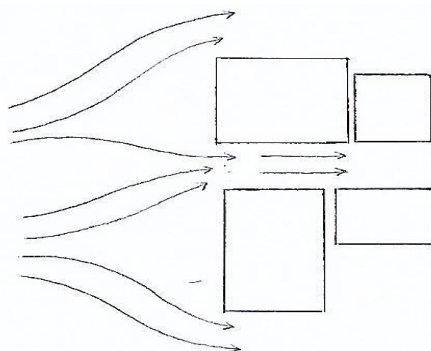


Figura 6 – Representação do efeito Venturi. Fonte: Arquivo pessoal

#### 3.6.2. Deflexão vertical

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

A deflexão vertical do vento ocorre quando há uma edificação de menor porte na região a barlavento de uma outra edificação maior, Figura 7. Conforme Gonçalves et al. [2007] é formada uma área com altas velocidades entre as duas estruturas, com maiores coeficientes de pressão externa, podendo trazer desconforto a transeuntes e danos aos pavimentos inferiores das edificações.

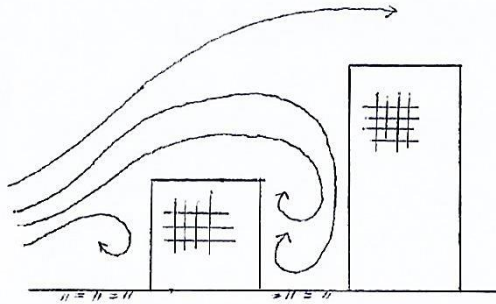


Figura 7 – Representação da deflexão vertical. Fonte: Arquivo pessoal

### 3.6.3. Turbulência de esteira

A turbulência de esteira ocorre quando há uma edificação de maior porte na região a barlavento de uma outra edificação menor, segundo Gonçalves et al. [2007], como pode ser observado na Figura 8. Após o vento atingir a primeira, há uma movimentação turbulenta à sotavento que causa efeitos dinâmicos e mudanças nos coeficientes de pressão externa na área entre as duas. As consequências mais comuns são danos em vedações e desconforto aos transeuntes.

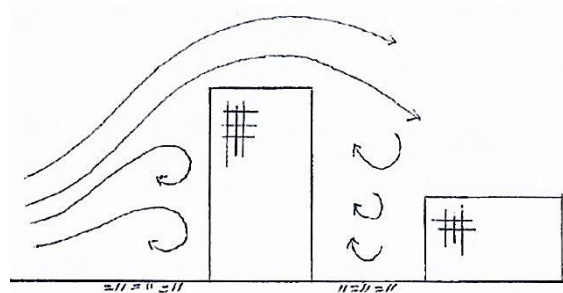


Figura 8 – Representação da turbulência de esteira. Fonte: Arquivo pessoal

### 3.6.4. Conforto de usuários e transeuntes

Conforme os estudos de Gonçalves et al. [2007], o conforto de usuários e transeuntes está diretamente ligado à velocidade do vento. Em todos os casos onde há deflexão vertical,

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

turbulência de esteira e afunilamento do vento, a consequência é o aumento da velocidade. Para transeuntes, o desconforto é a movimentação de pó, folhas, areia e chuva no entorno da edificação. E para usuários das edificações são ruídos em janelas, entrada de água e pó através das vedações e oscilações perceptíveis.

Alguns aspectos próprios da edificação, como a altura, influenciam diretamente no fluxo de ar descendente e conseqüente aumento da velocidade na região a barlavento. Tais características, associadas às influências por outras edificações, constituem um quadro de alta variabilidade que demanda soluções inteligentes.

No campo arquitetônico, algumas soluções existentes são a concepção de pavimentos inferiores de maiores dimensões, projeção de marquises e projetos de edificações circulares, visando o conforto dos transeuntes.

No campo da Engenharia Civil, o principal aspecto a ser considerado é a esbelteza da edificação. Procura-se evitar uma maior esbelteza devido às oscilações causadas pelo vento nos pavimentos mais altos, que geram desconforto aos usuários.

### 3.7. ANÁLISE DE CASO

A edificação hipotética em estudo é um galpão de armazenamento com 45m de largura, 135m de comprimento e 12m de pé direito. Possui duas portas de 6m de altura e 7m de largura, situadas uma à frente, na face de barlavento, e outra aos fundos, na face de sotavento. O galpão está localizado em zona industrial na região metropolitana de Vitória – ES, próximo ao centro urbano. O relevo da região é fracamente acidentado com edificações baixas e esparsas.

De acordo com dados da edificação considerada e com base na NBR 6123/1988, calculou-se os coeficientes necessários para análise do vento no galpão de armazenamento.

#### Dados Geométricos

$b = 45,00 \text{ m}$

$a = 135,00 \text{ m}$

$h = 12,00 \text{ m}$

$h_1 = 3,97 \text{ m}$

$\beta = 10,00^\circ$

$d = 15,00 \text{ m}$

Área de abertura móvel face C1 -  $21\text{m}^2$

Área de abertura móvel face C2 -  $21\text{m}^2$

Área de abertura móvel face D1 -  $21\text{m}^2$

Área de abertura móvel face D2 -  $21\text{m}^2$

---

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.



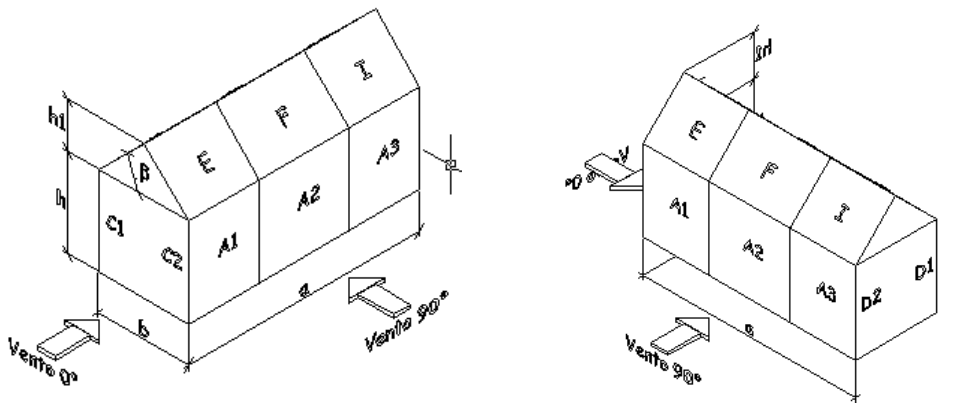


Figura 9 – Representação da edificação analisada. Fonte: VisualVentos

#### Velocidade básica do vento

$V_0 = 32,00 \text{ m/s}$

#### Fator Topográfico (S1)

Terreno plano ou fracamente acidentado

$S_1 = 1,00$

#### Fator de Rugosidade (S2)

Categoria III

Classe C

$S_2 = 0,93$

#### Fator Estático (S3)

Grupo 3

$S_3 = 0,95$

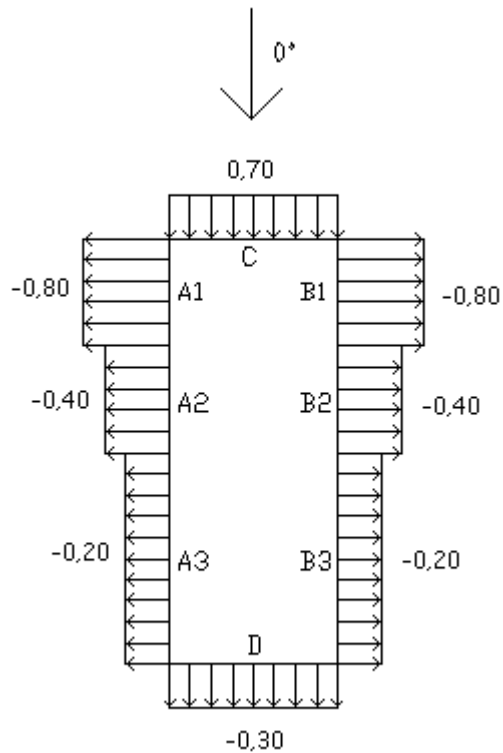


Figura 10 - Coeficiente de pressão externa nas paredes com vento a 0°. Fonte: VisualVentos

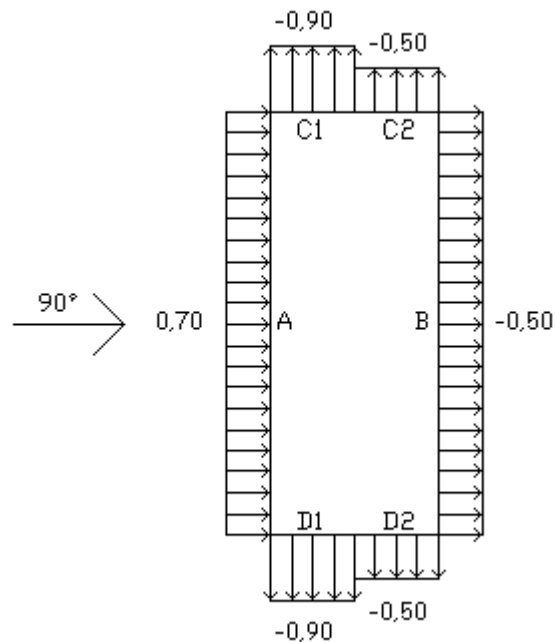


Figura 11 - Coeficiente de pressão externa nas paredes com vento a 90°. Fonte: VisualVentos

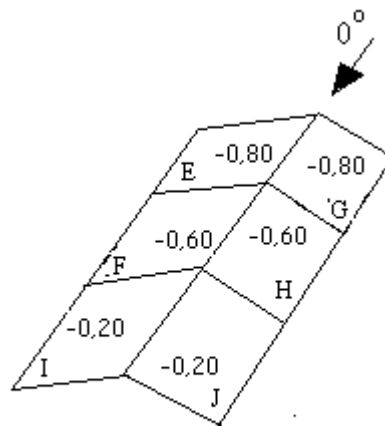


Figura 12 - Coeficiente de pressão externa no telhado com vento a 0°. Fonte: VisualVentos

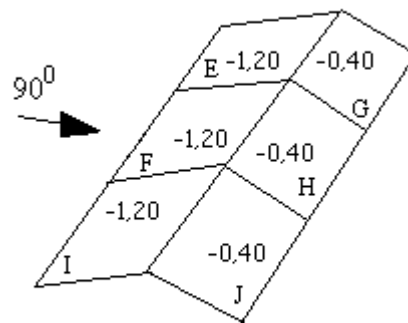


Figura 13 - Coeficiente de pressão externa no telhado com vento a 90°. Fonte: VisualVentos

#### Coeficiente de Pressão Externa

$C_{pe}$  médio = -1,00

#### Coeficiente de Pressão Interna

$C_{pi1}$  = 0,20

$C_{pi2}$  = -0,30

#### Velocidade Característica de Vento

$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3$

$V_k = 32,00 * 1,00 * 0,93 * 0,95$

$V_k = 28,34$  m/s

#### Pressão Dinâmica

$q = 0,613 * V_k^2$

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

$$q = 0,613 * 28,34^2$$

$$q = 0,49 \text{ kN/m}^2$$

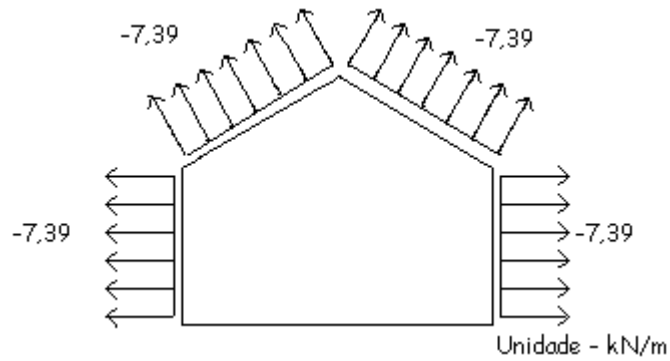


Figura 14 – Esforços resultantes com vento a 0° e  $C_{pi} = 0,20$ . Fonte: VisualVentos

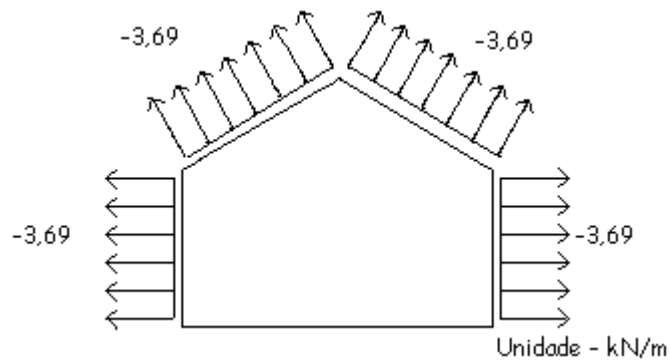


Figura 15 – Esforços resultantes com vento a 0° e  $C_{pi} = -0,30$ . Fonte: VisualVentos

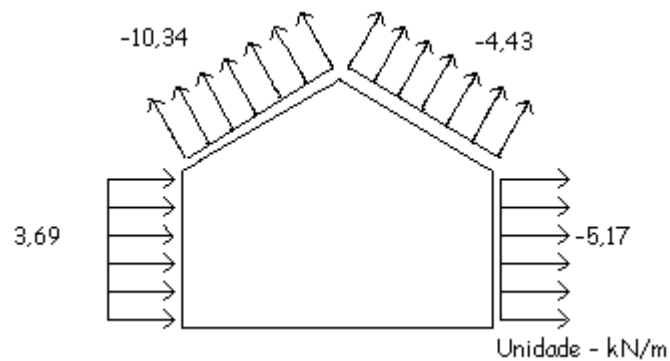


Figura 16 – Esforços resultantes com vento a 90° e  $C_{pi} = 0,20$ . Fonte: VisualVentos

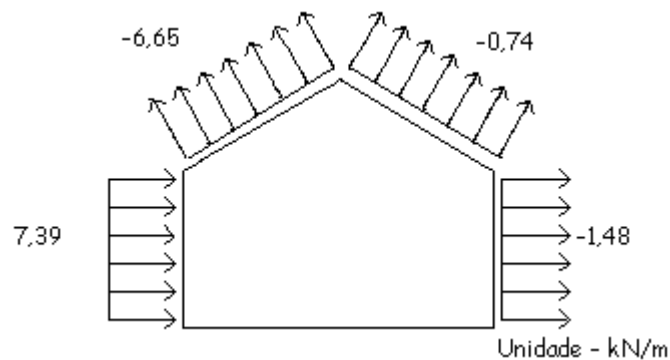


Figura 17 – Esforços resultantes com vento a 90º e  $C_{pi} = -0,30$ . Fonte: VisualVentos

#### 4. CONCLUSÃO

Ao desenvolver do artigo foi observada a grande relevância da ação dos ventos nas edificações, noções do quanto é um fator importante foram adquiridas, sendo o vento a principal carga acidental que age sobre as construções, e que ao se negligenciar esse fator danos catastróficos podem ocorrer. Portanto foi concluído que o seu efeito em edifícios deve ser sempre considerado, devendo o mesmo ser avaliado desde o início da concepção da estrutura.

A análise dos valores de cargas obtidas é melhor compreendida por profissionais já experientes no ramo. Devido a isso não foi colocado neste artigo uma análise quantitativa dos valores obtidos. Ficando assim como sugestão para futuras pesquisas nessa área.

#### Agradecimentos

Ao professor orientador Walnório Graça Ferreira, pela orientação e incentivo que tornou possível a conclusão deste artigo.

Aos desenvolvedores do software VISUALVENTOS, Zacarias Martin Chamberlain Pravia e Juliana Ana Chiarello, que, por meio desse, possibilitou melhor compreensão e aprendizagem, enriquecendo o nosso trabalho

## REFERÊNCIAS

1. ABNT **NBR 6123**:1988 - Forças devidas ao vento em edificações
2. BLESSMANN, J. **Efeito do vento em edificações**. Porto Alegre, Editora da Universidade/UFRGS, (Série Engenharia Estrutural 7), 63p.
3. CHING, Francis D. K., ONOUYE, Barry S., ZUBERBULER, Douglas. **Sistemas Estruturais Ilustrados: Padrões, Sistemas e Projeto**. 2ª Ed. 2014. Bookman. Porto Alegre - RS
4. GONÇALVES, R. M.; Malite, M.; Sales, J.; Munaiar Neto, J. **Ação Do Vento Nas Edificações: Teoria e Exemplos**. 2ª Ed, São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2007.
5. LEÃO, M.; ARAGÃO, M. **Apresentação para a disciplina de Estruturas Metálicas**, 2013. Disponível em:  
[http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/metallca/estruturas\\_metallcas\\_2013\\_3.pdf](http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/metallca/estruturas_metallcas_2013_3.pdf). Acesso em 28/10/2015.
6. PITTA, J. A. A. **Ações devidas ao vento em edifícios de andares múltiplos, edifícios com coberturas do tipo shed e do tipo duas águas com lanternim**. Escola de Engenharia de São Paulo. USP, São Carlos, 1987
7. LOTURCO, B. **Projetos – Engenharia do vento**, 2010. Disponível em:  
<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/156/engenharia-do-vento-alem-das-reacoes-da-estrutura-dos-286688-1.aspx>. Acesso em 30/10/15.
8. Software VisualVentos. Disponível em: <http://www.ertools.upf.br>

---

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.