

## 1. INTRODUÇÃO

Pouco tempo atrás, há cerca de trinta anos, a determinação das forças devidas ao vento em edificações, indicada pelas Normas da maioria dos países do mundo, era bastante simples. Em poucas páginas, fornecia ao calculista todas as informações para o cálculo dessas ações para qualquer edificação; por exemplo, a Norma Brasileira o fazia em página e meia.

Desnecessário dizer que dessa simplicidade decorriam erros grosseiros na avaliação dessas forças, diante da extensão territorial de nosso País e da infinidade de formas de estruturas. Isto implicava a existência de vários tipos de avarias em estruturas, muitas delas causando sua ruína parcial ou total.

A evolução da qualidade e da resistência de materiais tradicionais como o aço e o concreto e o aparecimento de novos materiais de construção, principalmente os de vedação, de materiais muito mais resistentes (plásticos e fibra de carbono) e de novos esquemas estruturais tornaram muitas estruturas mais esbeltas e flexíveis. Assim, o número de acidentes devido ao vento aumentou pela manifestação de alguns efeitos que não ocorriam nas edificações correntes graças a seu peso próprio e rigidez maiores.

A manifestação de efeitos dinâmicos é a principal consequência do aumento da flexibilidade das estruturas e do arrojo em algumas formas. Dentre estes, o exemplo mais famigerado é o ocorrido com a ponte pênsil de Tacoma Narrows, Estados Unidos, que culminou com a ruína completa de seu tabuleiro, fato documentado por um cineasta amador. No Brasil, em fato documentado pelos canais de TV, recentemente ocorreram oscilações excessivas na ponte Rio-Niterói devido à ação de fortes ventos, o que suscitou intervenção técnica para instalação de amortecedores na estrutura.

Normas recentes permitem determinar as forças nos principais tipos de edificações de maneira razoavelmente acurada. Porém, mesmo para alguns tipos comuns, essa determinação não é fácil e alguns erros elementares podem ser cometidos por incautos, em especial durante a construção, erros estes que não são ponderados pelos projetistas e, principalmente, pelos engenheiros de obra.

Este trabalho tem a intenção de reunir conceitos básicos sobre o assunto, distribuídos por várias bibliografias, de maneira a fornecer subsídios para que o leitor possa compreender melhor a Norma Brasileira NBR 6123 e avaliar situações de risco com mais facilidade, prevenindo-se e exigindo a execução de ensaios específicos em casos especiais, como a própria Norma determina.

Não é demais recomendar que, mesmo em casos cobertos pela Norma, em estruturas de grande porte – muito repetitivas ou padronizadas –, a realização de ensaios em túnel de vento pode resultar em significativa economia, pois, como grafado nela própria, *tais resultados podem ser usados em substituição do recurso aos coeficientes constantes desta Norma*.<sup>1</sup>



## 2. VENTO NATURAL

Vento é o movimento das massas de ar causado por condições de pressão e de temperatura na atmosfera. Sua causa básica é o aquecimento não uniforme da atmosfera, provocado principalmente pelos raios ultravioleta emitidos pelo Sol que aquecem a superfície da Terra, que, por sua vez, emite os raios infravermelho que aquecem a atmosfera. As diferenças entre as superfícies, a evaporação da água, sua precipitação e a rotação da Terra, entre outros, produzem a movimentação de massas que originam os ventos.

O deslocamento de massas de ar frio sob massas de ar quente, denominado frente fria, provoca instabilidades associadas a chuvas intensas e ocorrência de fortes ventos, podendo atingir velocidades da ordem de 100 km/h. Mais estável é a frente quente: deslocamento de massas de ar quente sobre massas de ar frio, que normalmente também são acompanhadas de chuva, porém com ventos de velocidade bem menor.

A tempestade tropical está associada a uma grande nuvem convectiva que se desenvolve atingindo grandes dimensões, podendo chegar a 12 km de altura. A entrada de ar frio na meia porção inferior dessa nuvem provoca chuvas intensas e o desabamento do topo da nuvem, associado a condições de pressão e temperatura, pode gerar ventos com a mesma intensidade dos produzidos pela frente fria, ou seja, da ordem de 100 km/h.

Muitas vezes há interesse em estimar a velocidade do vento e para isto pode-se usar a tabela de Beaufort, que a classifica de acordo com o efeito produzido.

*Tabela. 2.1 Escala de Beaufort: velocidades do vento e seus efeitos.<sup>2</sup>*

Grau	Velocidade do vento		Descrição do vento	Efeitos devidos ao vento
	Intervalo (em m/s)	Média aprox. (em km/h)		
0	0,0-0,5	1	calmaria	
1	0,5-1,7	4	aura, sopro	A fumaça sobe praticamente na vertical.
2	1,7-3,3	8	brisa leve	Sente-se o vento nas faces.
3	3,3-5,2	15	brisa fraca	Movem-se as folhas das árvores.
4	5,2-7,4	20	brisa moderada	Movem-se pequenos ramos. O vento estende as bandeiras.
5	7,4-9,8	30	brisa viva	Movem-se ramos maiores.
6	9,8-12,4	40	brisa forte	Movem-se arbustos.
7	12,4-15,2	50	ventania fraca	Flexionam-se galhos fortes. O vento é ouvido em edifícios.
8	15,2-18,2	60	ventania moderada	Difícil caminhar, galhos quebram-se, o tronco das árvores oscila.
9	18,2-21,5	70	ventania	Objetos leves são deslocados, partem-se arbustos e galhos grossos, avarias em chaminés.
10	21,5-25,5	80	ventania forte	Árvores são arrancadas, quebram-se os postes telegráficos.
11	25,5-29,0	95	ventania destrutiva	Avarias severas.
12	29,0 e mais	105	furacão	Avarias desastrosas, calamidades.

## 2.1 Principais Características do Vento Natural

Certas regiões possuem ventos com características peculiares, originados principalmente por acidentes geográficos, como desertos, pradarias e outros, dentre os quais se destacam o minuano, o siroco, o mistral, entre outros. Os ventos predominantes em cada região, sua velocidade média, direção e sentido, são de interesse para o planejamento de cidades, de bairros industriais, de aeroportos, de empreendimentos agrícolas e agropecuários, bem como várias outras atividades ligadas ao homem. São importantes para o planejamento de uma ventilação eficiente em residências, aumentando o conforto térmico e a salubridade sem a necessidade de uso de equipamentos.

O Brasil possui condições climáticas privilegiadas quando comparadas às da maioria dos outros países do mundo; praticamente não há furacões e ciclones e as máximas velocidades do vento podem ser consideradas de intensidade média quando comparadas às de países de clima frio.

A velocidade do vento numa mesma região depende da altura em relação ao terreno e das condições topográficas locais, que influem até a altura em que se atinge a velocidade gradiente, em outras palavras, a altura da camada-limite da atmosfera. Essa altura está situada, em geral, entre 250 e 600 metros.

Até essa altura, a velocidade do vento é alterada pela topografia do terreno, pelas dimensões e forma dos obstáculos naturais e artificiais, ou seja, pela rugosidade superficial, e ainda pela variação da temperatura com a altitude local. Quanto maior a rugosidade superficial, maior será a altura gradiente.

Davenport<sup>3</sup> sugere uma lei exponencial para determinar a velocidade média do vento ( $v_z$ ) em função da altura acima do nível do terreno ( $z$ ) até a cota  $z_g$ , na qual se atinge a velocidade gradiente  $v_g = 160 \text{ km/h}$  (100 mph).

$$v_z = v_g \left( \frac{z}{z_g} \right)^\alpha$$

As constantes  $z_g$  (altura gradiente) e  $\alpha$  dependem da rugosidade do terreno e estão indicadas na Figura 2.1<sup>2</sup> para três superfícies típicas.

A engenharia estrutural não está interessada nos ventos oriundos da circulação geral da atmosfera e, sim, nos localizados, de alta velocidade, necessitando conhecer a velocidade média do vento e as flutuações em torno da mesma.

Essas flutuações, denominadas rajadas, são de curta duração e apresentam uma velocidade superior à média. Produzirão a maioria das solicitações nas estruturas, que serão analisadas por uma ação estática equivalente, enquanto a velocidade média é responsável principalmente pelos efeitos dinâmicos que, em algumas estruturas, podem ser as principais ações a serem consideradas.

A duração da rajada deve ser suficiente para abranger todo o campo aerodinâmico no entorno da construção. Quanto mais veloz a rajada, menor sua duração. Deve-se considerar também a extensão da rajada, tanto na horizontal quanto na vertical. Rajadas mais rápidas do que três segundos não são registradas pelos anemógrafos ou anemômetros atualmente em uso.

Assim, rajadas rápidas devem ser consideradas para determinar pressões locais ou em pequenas construções (postes, painéis de propaganda, pórticos e arcos isolados), ou mesmo em grandes construções cujo sistema estrutural permita que partes da mesma trabalhem isoladamente. Construções nas quais pelo menos uma das dimensões é grande serão afetadas apenas por rajadas de maior duração e conseqüentemente de menor velocidade média. A NBR 6123 emprega rajadas de 3 s, 5 s e 10 s.