



INTERVALO DE TEMPO PARA CÁLCULO DA VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO

Joaquim Blessmann

Série Engenharia Estrutural/3



Editora
da Universidade

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Terceira edição
atualizada

9 IURE
16/
3. ed.

INTERVALO DE TEMPO PARA CÁLCULO DA VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO

RESERVA TÉCNICA
Editora da UFRGS

**UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL**

**Reitor
Francisco Luis dos Santos Ferraz**

**Vice-Reitor
Gerhard Jacob**

**Pró-Reitor de Extensão
Flávio Loureiro Chaves**

**Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação
Hélgio Casses Trindade**

**Pró-Reitor de Administração
Luiz Carlos Ribeiro Bortolini**

**Pró-Reitor de Planejamento
Roberto Alves Pinto**

**Pró-Reitor de Assistência
à Comunidade Universitária
João Carlos Gonzales**

**Pró-Reitor de Graduação
Walter Otto Cybis**

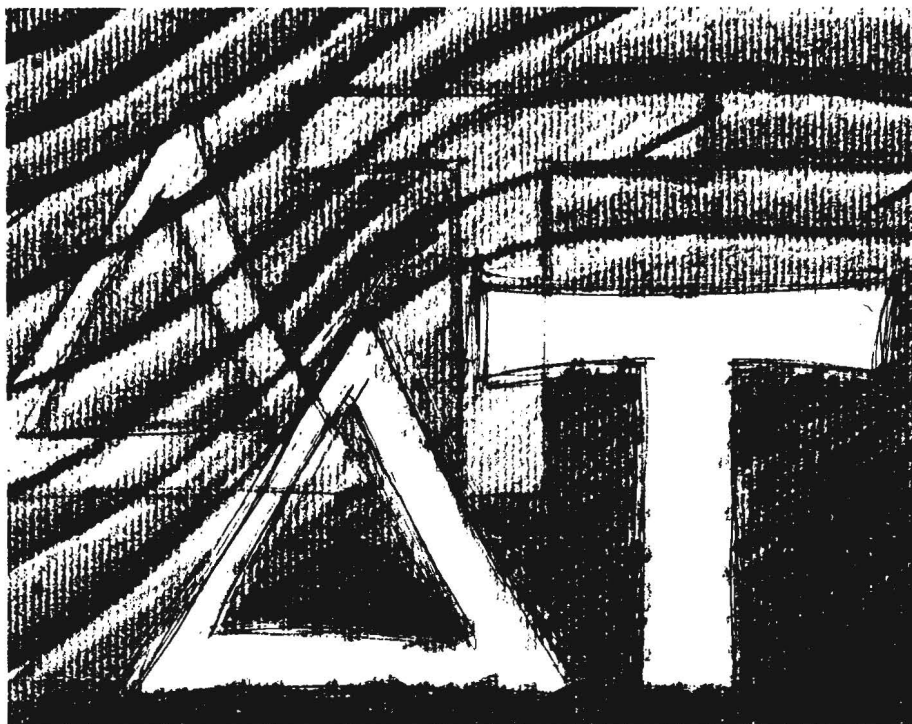
EDITORA DA UNIVERSIDADE

**Diretor
Sergius Gonzaga**

CONSELHO EDITORIAL

**Celi Regina Jardim Pinto
Fernando Zawislak
Ivo Sefton Azevedo
Joaquim B. Fonseca
Luis Alberto De Boni
Luiz Duarte Vianna
Mário Costa Barberena
Sergio Roberto Silva
Sergius Gonzaga, presidente**





INTERVALO DE TEMPO PARA CÁLCULO DA VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO

Joaquim Blessmann

Série Engenharia Estrutural/3



**Editora
da Universidade**
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Terceira edição
atualizada**

RESERVA TÉCNICA
Editora da UFRGS

© de Joaquim Blessmann
1ª edição: 1974

Direitos reservados desta edição:
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Capa: Paulo Antonio da Silveira
Administração: Maria Beatriz A. B. Galarraga
Editoração: Geraldo F. Huff
Revisão: Maria Isabel Timm, Haydée Diebold,
Mônica Ballejo Canto e Sandra Gabert Masi
Montagem: Rubens Renato Abreu

JOAQUIM BLESSMANN

Engenheiro Civil

Mestre e Doutor em Ciência pela Divisão
de Engenharia Aeronáutica do Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Professor Adjunto na Escola de Engenharia
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

B6471 Blessmann, Joaquim
Intervalo de tempo para cálculo da velocidade básica do vento. — 3.ed. ampl. — Porto Alegre : Ed. Universidade/UFRGS; MEC/SESu/PROEDI, 1988.
53p. : il. — (Série engenharia estrutural/3)

CDU 624.042
624.175

Nº de registro: 2207

ISBN 85-7025-169-6

Nº de obra: 564

Data: 20/01/2010

SUMÁRIO

- 1 – Introdução/7**
- 2 – Fatores a considerar/12**
 - 2.1 – Vida útil da estrutura/12
 - 2.2 – Duração das rajadas/12
 - 2.3 – Dimensões dos turbilhões/13
 - 2.4 – Variação da velocidade média do vento com a altura/13
 - 2.5 – Variação da velocidade das rajadas com a altura/14
 - 2.6 – Espectro de rajada/14
 - 2.7 – Topografia local/15
 - 2.8 – Risco de vida e danos. Lucros cessantes e custo de reconstrução/15
 - 2.9 – Comentários/15
- 3 – Intervalo de tempo/18**
- 4 – Mudança de intervalo de tempo/33**
- 5 – Exemplos/41**
- 6 – Conclusões e recomendações/46**
- Referências bibliográficas/50**

1 – INTRODUÇÃO

a) O termo *vento natural* tem sido usado na literatura especializada sempre que necessário para evitar confusão entre o vento atmosférico e o que é simulado em um túnel de vento. Em linhas gerais, podemos dizer que o vento natural consiste de um fluxo de ar médio ao qual se superpõem flutuações do fluxo. Estas flutuações são conhecidas pelo nome *rajadas*.

b) O movimento médio de grandes massas de ar deve-se primordialmente a diferenças na pressão atmosférica. Estas diferenças são causadas pelo aquecimento do ar pelo calor solar irradiado da superfície terrestre para a atmosfera e, em parcela menor, pelo calor absorvido diretamente pela atmosfera. Aparecerão gradientes de pressão que podem ser determinados a partir das curvas de igual pressão barométrica, as *isóbaras*.

Este movimento é afetado pela rotação da Terra, que provoca dois efeitos. O primeiro deles está relacionado com a aceleração centrífuga (que se manifesta mesmo em massas de ar sem movimento) e pode ser desprezado, uma vez que esta aceleração é muito pequena em presença da aceleração da gravidade. O segundo efeito não pode ser desprezado: deve-se à aceleração de Coriolis, que se manifestará sempre que houver massas de ar em movimento em relação à superfície da Terra. A força correspondente a esta aceleração é denominada *força de Coriolis*, e age perpendicularmente à direção do movimento da partícula de ar em estudo.

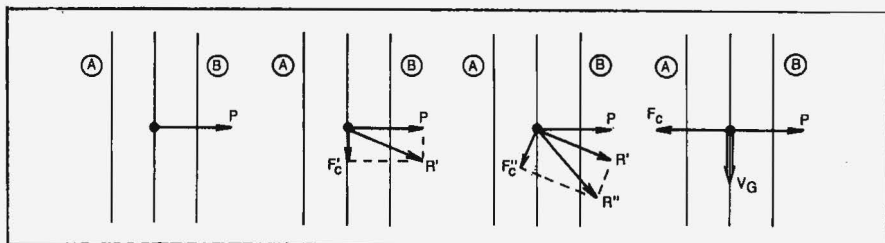
Finalmente, como terceiro fator temos as forças de inércia causadas pelas trajetórias curvas das partículas de ar (força centrífuga).

c) Estudemos o equilíbrio destas forças em região suficientemente afastada da superfície terrestre, de modo que não haja interferência das forças de atrito (região fora da camada limite atmosférica, na qual a rugosidade da superfície terrestre origina forças de atrito ponderáveis). Admitamos também que o estado de pressões se mantenha constante

por um tempo suficiente para o estabelecimento de um vento em condições permanentes. Neste caso, o equilíbrio devera ser estabelecido entre as forças acima citadas. Temos dois casos a considerar:

1: - Isóbaras paralelas

Teremos equilíbrio entre a força de Coriolis e a força de pressão (respectivamente F_C e P), ambas perpendiculares às isóbaras e de sentidos contrários. É o chamado vento *geostrófico*, paralelo às isóbaras. Esta afirmação merece maiores explicações, pois, à primeira vista, parece que a força causada pelo gradiente de pressão originará um vento perpendicular às isóbaras. Isto estaria correto se a força de pressão fosse a única força a considerar. Porém não podemos desprezar a força de Coriolis, originada pelo movimento de rotação da Terra. A teoria sobre a aceleração de Coriolis mostra que a força correspondente é perpendicular, em cada ponto, ao vetor velocidade da partícula de ar. Admitamos que a partícula de ar comece se movendo perpendicularmente às isóbaras, em um campo de isobaras paralelas (Fig. 1.1.a). A força de Coriolis correspondente a esta partícula, F_C' terá direção perpendicular à direção de P (Fig. 1.1.b) e a força resultante será R' . Porém, para o movimento da partícula na direção R' a força de Coriolis F_C'' será perpendicular a R' , causando uma nova força resultante R'' (Fig. 1.1.c). E assim sucessivamente, até que se atinja um regime permanente, o que só acontecerá quando o movimento da partícula de ar se faça na direção das isóbaras. É o chamado vento *geostrófico*. A velocidade do vento geostrófico, V_G , fica definida pelo equilíbrio entre a força de pressão e a força de Coriolis.



(A) : Alta pressão

(B) : Baixa pressão

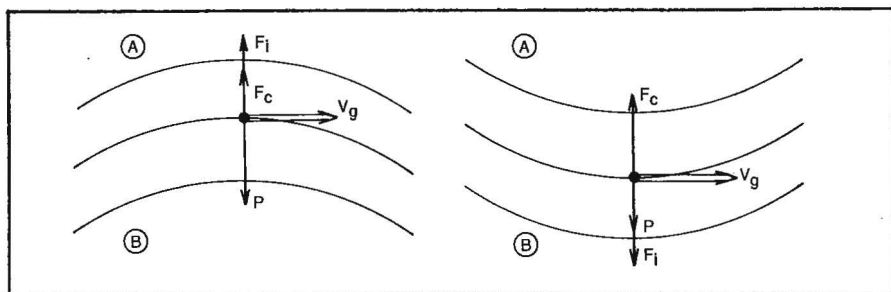
P : Força de pressão

Fig. 1.1 - Isóbaras paralelas. Vento geostrófico

2: - Isóbaras curvas

Neste caso o equilíbrio se fará entre a força de pressão, a força de Coriolis e a força de inércia, centrífuga (F_i). O vento correspondente é o chamado vento *gradiente*, tangente às isóbaras. Em outras palavras,

o gradiente de pressão causa uma força de pressão que é equilibrada por duas forças: uma ocasionada pela rotação da Terra (força de Coriolis) e outra pela curvatura das trajetórias das partículas de ar (força centrífuga). (Fig. 1.2).



A : Movimento em torno de um centro de baixa pressão (ciclone)

B : Movimento em torno de um centro de alta pressão (anticiclone)

Fig. 1.2 — Isóbaras curvas. Vento gradiente no hemisfério sul

O vento gradiente confunde-se com o vento geostrófico se as isóbaras forem paralelas.

d) Denomina-se de *altura gradiente* a altura, medida a partir da superfície da Terra, em que a velocidade do vento atinge a velocidade gradiente. Esta altura situa-se, em geral, entre 250 e 600 metros. Há indícios de que, em certas condições, pode chegar a alturas bem superiores.

Abaixo da altura gradiente temos a *camada limite atmosférica*, na qual a velocidade do vento é alterada por diversas causas. Sua direção não será mais tangente às isóbaras. Nesta região as características do vento dependem principalmente da topografia do terreno, da forma, dimensões e distribuição dos obstáculos naturais e artificiais (a chamada *rugosidade superficial*) e da variação da temperatura na direção vertical. Todos estes fatores originam turbulência, que rapidamente se dissemina por toda a camada limite atmosférica. Nesta, a velocidade média do vento varia desde zero, junto ao terreno, até a velocidade gradiente, na altura gradiente. Quanto maior a rugosidade superficial, tanto maior será a agitação mecânica provocada no ar, maior o intercâmbio turbulento de quantidade de movimento e maior a altura interessada neste processo. A altura gradiente é maior em uma cidade do que no campo ou sobre o mar, por exemplo.

As forças de atrito que agem entre as partículas situadas na camada limite atmosférica, F_a , fazem com que o vetor velocidade da partícula seja oblíquo à isóbara, quer esta seja reta (Fig. 1.3) ou curva. Esta

obliquidade aumenta desde zero, na altura gradiente, até um máximo junto ao terreno, que pode chegar a mais de 45°, em terrenos de grande rugosidade.

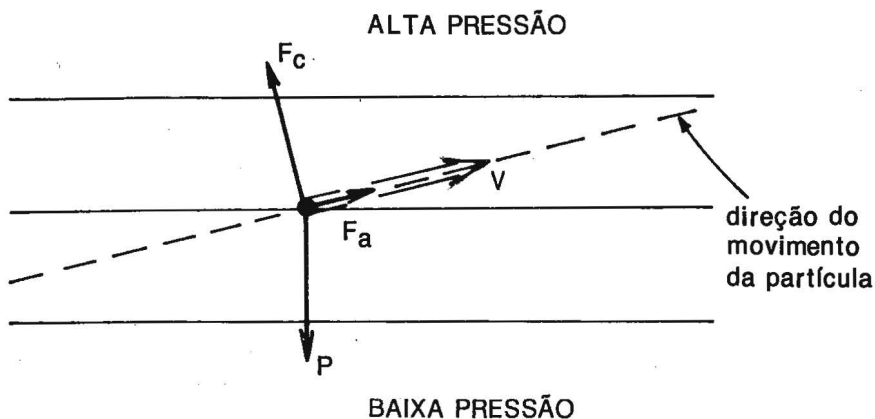


Fig. 1.3 — Vento na camada limite atmosférica

e) Designaremos por *tormentas* aos sistemas meteorológicos que originam ventos de alta velocidade (ventos fortes), independentemente de seu mecanismo de formação. Para a engenharia civil é de interesse conhecer a velocidade média do vento (que dá origem a ações estáticas) e as flutuações (que originam ações dinâmicas) em torno desta média. A velocidade média é determinada, usualmente, para intervalos de tempo entre dez minutos e uma hora. As flutuações (rajadas) costumam ser consideradas sobre intervalos de tempo entre três segundos e uns poucos minutos.

Estas flutuações têm sua origem tanto na agitação (turbulência) do fluxo médio, causada pela rugosidade natural e artificial da superfície terrestre, como nos processos de convecção causados por gradientes térmicos. Em tormentas de origem ciclônica (tropicais e extratropicais) e de longa duração, com ventos de alta velocidade, a rugosidade da superfície terrestre causa uma turbulência tão intensa que a mistura entre camadas adjacentes de ar impede processos de convecção. O gradiente térmico vertical pode ser considerado adiabático e, conseqüentemente, a estabilidade é neutra. As flutuações são quase que exclusivamente causadas por agitação mecânica do ar, formando-se um grande número de *turbilhões* ou *redemoinhos*.

Há tormentas que contêm componentes importantes de origem térmica, tais como ciclones tropicais em seus estágios iniciais, linhas de tormenta e trovoadas (tormentas elétricas). Estas últimas, em algumas

regiões situadas em latitudes temperadas, chegam a causar ventos de velocidades superiores às dos ventos de origem ciclônica.

Também não se aplica o conceito de vento em equilíbrio dinâmico com a rugosidade da superfície terrestre a ventos locais causados ou influenciados pela costa marítima ou por encostas de montanhas. Muito menos aos tornados, movimentos turbilhonares muito intensos e localizados, de origem térmica. Até que ponto os valores indicados nas normas de vento podem ser aplicados a ventos como estes, é um problema ainda não resolvido e que necessita estudos e pesquisas adicionais. Estudos probabilísticos de Nanni e Riera¹ para tormentas elétricas no Rio Grande do Sul mostram que estas tormentas originam velocidades extremas maiores que os ciclones extratropicais, velocidades estas medidas a dez metros acima do terreno. Lembramos que a velocidade média do vento nas trovoadas cresce menos rapidamente com a altura do que nos ciclones extratropicais.

f) No vento natural há uma superposição de turbilhões de dimensões bem diversas, desde os maiores, da ordem de grandeza da altura gradiente, até os menores, da ordem de grandeza do milímetro. A energia cinética, retirada do fluxo médio pelos maiores turbilhões, é transferida, por um processo em cascata, até os menores, onde é dissipada em calor pela viscosidade molecular.

As rajadas de vento originadas pelos turbilhões ocorrem em uma seqüência aleatória de freqüências e intensidades. As mais fortes são de pequena duração (fração de segundo) e atuam sobre uma pequena região. Correspondem à chegada simultânea ao ponto em estudo de turbilhões de diferentes dimensões e em condições tais que seus efeitos se superpõem.

Para o estudo das propriedades do vento por espectros é interessante conceber o vento como composto de seqüências superpostas de *ondas de vento* de diversas freqüências e amplitudes. Assim, um pico de rajada muito forte pode ser encarado como ocasionado pela chegada simultânea dos picos de diversas ondas.

Maiores detalhes sobre a origem e características do vento são encontrados na referência 2.

2 – FATORES A CONSIDERAR

A primeira pergunta que surge, ao se procurar determinar a ação do vento sobre uma edificação, é qual a máxima velocidade do vento que solicitará a edificação durante sua vida útil. A resposta tem um alto grau de incerteza, por se tratar de um problema aleatório e, às vezes, por deficiência dos dados meteorológicos disponíveis.

São vários os fatores que influem na escolha da velocidade do vento a considerar no projeto estrutural ou na determinação das condições de conforto de usuários e transeuntes. Os principais são:

2.1 – VIDA ÚTIL DA ESTRUTURA

A velocidade máxima a considerar será tanto maior quanto maior a vida útil da estrutura. Antigamente o projeto estrutural era feito com base apenas na máxima velocidade registrada. Atualmente o tratamento probabilístico do problema permite prever o número médio de anos de recorrência para qualquer velocidade do vento que se queira. Ou então, prefixada a vida útil da estrutura, determinar a velocidade máxima do vento que tem uma certa probabilidade de aparecer n vezes neste período. Em geral, $n = 1$.

2.2 – DURAÇÃO DAS RAJADAS

É necessário um certo tempo de atuação da rajada para que se desenvolvam as forças aerodinâmicas e para que a estrutura reaja e se desenvolvam tensões no material. Quanto maior a velocidade de uma rajada, tanto menor será sua duração e o turbilhão que a originou.

2.3 – DIMENSÕES DOS TURBILHÕES

As dimensões dos turbilhões são muito variáveis, tanto horizontal como verticalmente. As rajadas de maior velocidade — que são de curta duração, repetimos — não atingem todo o conjunto de uma edificação muito alta ou de grandes dimensões em planta. Quanto maior a edificação, maior deve ser o turbilhão para que ele exerça uma ação global sobre a estrutura.

Por isto, conhecida a velocidade média máxima para um certo intervalo de tempo (função das dimensões do turbilhão), torna-se necessário muitas vezes determinar esta velocidade para um outro intervalo de tempo.

Em alguns casos dois ou mais turbilhões menores, com rajadas de velocidades altas, e que atingem zonas distintas da edificação, podem originar efeitos mais nocivos do que os causados por um turbilhão único, de dimensões maiores e, conseqüentemente, com rajadas de velocidades menores. Este problema pode ser resolvido a partir do conceito de correlação cruzada.

2.4 – VARIAÇÃO DA VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO COM A ALTURA

O vento próximo à superfície terrestre é fortemente influenciado pela rugosidade (natural e artificial) desta superfície, constituindo-se uma camada limite, na qual a velocidade média do vento cresce desde zero (junto ao terreno) até a velocidade gradiente, no limite superior desta camada limite.

Apesar de ser cientificamente mais correta uma lei logarítmica para a descrição do perfil vertical de velocidades médias aplicável a grandes intervalos de tempo (10min, 1h, por exemplo), na engenharia civil é de uso quase exclusivo uma lei potencial, por ser de tratamento matemático mais fácil, aplicável também a pequenos intervalos de tempo e fornecer uma precisão suficiente para os fins a que se destina.

A expressão genérica desta lei, válida dentro da camada limite atmosférica, e adotando uma altura de referência de 10m, é a seguinte:

$$\bar{V}_t(z) = \bar{V}_t(10) (z/10)^p \quad (2.1)$$

sendo:

$\bar{V}_t(z)$ — velocidade média sobre t segundos em uma altura z acima do terreno;

$\bar{V}_t(10)$ — velocidade média sobre t segundos a 10m acima do terreno.

O expoente p é função da rugosidade do terreno e do intervalo de tempo.

Para maiores detalhes consultar referência 2.

2.5 – VARIACÃO DA VELOCIDADE DAS RAJADAS COM A ALTURA

Quanto menor o intervalo de tempo usado na determinação da velocidade média, menor será a variação desta velocidade com a altura. Considerando uma lei potencial para o perfil vertical de velocidades, pode-se dizer que, aproximadamente, o expoente p para o perfil correspondente a um intervalo de tempo de três segundos é cerca de metade do expoente para o perfil correspondente a uma hora.

2.6 – ESPECTRO DE RAJADA

As rajadas ocorrem em uma seqüência aleatória de freqüência e intensidade. Para estruturas susceptíveis de vibrarem de um modo ponderável, o projeto estrutural não pode ser feito na base de uma ação do vento constante, sem variações, mesmo que seja adotado o pico máximo de rajada para velocidade de cálculo, pois a resposta dinâmica da estrutura à seqüência das rajadas pode causar sollicitações maiores no material.

Este tema tem sido tratado com muito detalhe por Davenport, em diversos trabalhos. O processo do espectro de rajada aplica-se principalmente a estruturas muito flexíveis, com períodos naturais de vibração de vários segundos. Isto porque só esta parte do espectro de rajadas é suficientemente conhecida para servir de base para cálculos.³ Além disso, segundo Newberry o efeito do espectro de rajada provavelmente não é muito importante para estruturas de freqüência natural acima de 0,5 ciclos por segundo (ou seja, períodos menores que dois segundos). Para a maioria das edificações o período natural é pequeno (menos de dois segundos) quando comparado com a duração da rajada. Não há problema de vibração ponderável da estrutura, mas deve ser considerado o acréscimo transitório de carga que um pico de rajada pode causar.³

A Norma Brasileira NBR-6123 (Forças devidas ao vento em edificações), redação 1987, apresenta um processo baseado na proposta de Davenport, porém com uma apresentação diferente da usual nas normas. Com respeito ao período de vibração, esta norma diz que "Edificações com período fundamental superior a um segundo, em particular aquelas fracamente amortecidas, podem apresentar uma importante resposta flutuante na direção do vento médio".

2.7 – TOPOGRAFIA LOCAL

Características topográficas locais podem alterar consideravelmente a velocidade do vento. Por exemplo: aumento de velocidade e grande turbulência atrás de montanhas e morros; aumento de velocidade no aclave de taludes, colinas e morros e em certos vales; diminuição da velocidade em vales protegidos por morros ou montanhas.

2.8 – RISCO DE VIDA E DANOS. LUCROS CESSANTES E CUSTO DE RECONSTRUÇÃO

São fatores já bem conhecidos do engenheiro estruturista. Sua consideração pode ser feita tanto na escolha dos coeficientes de redução das ações como na determinação da velocidade característica, modificando convenientemente, neste caso, o parâmetro estatístico S_3 da NBR-6123. Um caso bastante elucidativo é o de linhas de transmissão de energia elétrica, que, em zonas habitadas, devem ter uma probabilidade de ruína menor do que em campo livre. Também linhas estratégicas ou únicas devem ter uma confiabilidade maior. Outro exemplo: muros divisórios são usualmente construídos com segurança muito baixa, não resistindo sequer às forças correspondentes a um vento com a velocidade característica calculada com as indicações das normas de vento.

2.9 – COMENTÁRIOS

a) Neste trabalho estudaremos o problema do intervalo de tempo a adotar na determinação de uma velocidade de referência do vento (velocidade básica). A rajada de mais curta duração que pode ser registrada por um anemômetro depende de seu tipo e dos cuidados em sua manutenção. A sensibilidade dos anemômetros de três copos é de cerca de três segundos, para velocidades baixas, e de dois segundos, para ventos fortes. Para os anemômetros de hélice, as rajadas com duração de pouco mais de um segundo já são registradas. Há um tipo mais recente de anemômetro que se baseia no número de Strouhal correspondente ao desprendimento de vórtices na esteira de um pequeno cilindro exposto ao vento. Este anemômetro permite a medida de rajadas com duração de fração de segundo.

Considerando os aparelhos atualmente usados na maioria das estações meteorológicas, pode-se dizer que o intervalo de tempo mínimo que se deve considerar na prática é de três segundos. Alguns autores chegam a indicar dois segundos.

As pressões exercidas sobre as estruturas também flutuarão, acompanhando as flutuações de velocidade do vento (rajadas), e ocasionando amplificações dinâmicas das tensões na estrutura. Esta amplificação dinâmica depende da intensidade (energia) das flutuações, bem como das dimensões e forma da estrutura e da resposta da estrutura às ações dinamicamente aplicadas. Quanto maior a frequência, menor a energia contida na rajada. Esta energia (em frequências altas) pode não afetar mais sensivelmente a estrutura, mas ser importante ação dinâmica sobre elementos da edificação, tais como painéis de revestimento, vidraças, etc. Para estes, a frequência natural é da ordem de 10Hz.

b) Para Davenport⁴ as ações do vento serão melhor consideradas em termos de uma força aplicada constante, independente das dimensões, forma e características dinâmicas da estrutura, e de um coeficiente que indica a amplificação das ações por efeito das ações dinâmicas das flutuações de pressão e correspondente resposta dinâmica da estrutura. Este coeficiente Davenport estuda considerando o espectro de rajadas e a admitância mecânica da estrutura.

A velocidade básica do vento, segundo Davenport, é a velocidade extrema do vento que dá origem a um esforço permanente sobre a edificação (solicitação estática). Trata-se de uma velocidade média sobre um intervalo de tempo relativamente longo, em comparação com as rajadas intensas e de curta duração. O efeito das flutuações da pressão é considerado por um fator de pressão de rajada ("gust pressure factor"), G, que multiplica a pressão média do vento:

$$\bar{p} = \frac{1}{2} \rho \bar{V}^2 c_p \quad (2.2)$$

sendo:

\bar{V} — velocidade média no topo da edificação;

c_p — coeficiente de pressão no ponto da edificação em estudo;

ρ — massa específica do ar.

A ação total do vento por unidade de área é obtida por:

$$P_{max} = G \bar{p} \quad (2.3)$$

O estudo do fator G escapa à finalidade deste trabalho.

c) O problema que mais nos interessa é o problema de edificações correntes, construídas em grande número e nas quais os efeitos dinâmicos são desprezáveis. Para estes casos podem ser utilizados resultados de ensaios em túneis de vento que forneçam as pressões médias em termos de coeficientes de pressão, de forma e de força. Salientamos que para serem obtidos resultados confiáveis devem ser simuladas no túnel de vento as principais características dos ventos naturais.

Transcrevemos o comentário de Esquillan⁵ na sessão de encerramento do seminário sobre efeitos do vento em edificações:

"Como engenheiro construtor, eu gostaria que estas hipóteses e análises fossem seguidas de conclusões práticas. Não se deve perder de vista que a finalidade é executar construções que apresentem uma margem de segurança suficiente e mais econômicas por um melhor conhecimento das solicitações que elas suportarão no decorrer de sua vida, podendo estas solicitações ser calculadas sem muitas complicações pelos escritórios de estudos, a fim de assegurar sua produtividade. Com o fim de simplificar convirá distinguir:

—construções correntes para as quais as ações dinâmicas podem ser transformadas sem perigo em ações estáticas por um método ou por coeficientes apropriados;

—construções alteadas e flexíveis, para as quais os fenômenos vibratórios têm uma influência considerável e que necessitam um estudo mais aprofundado de seu comportamento."

3 – INTERVALO DE TEMPO

a) Como vimos anteriormente, quanto mais veloz a rajada, menor seu tempo de atuação e menores as dimensões do turbilhão correspondente: um turbilhão muito pequeno não afetará todo o campo aerodinâmico no entorno da construção. Rajadas de poucos segundos já são suficientes para causar pressões correspondentes à sua velocidade em elementos de revestimento e da estrutura secundária; porém é necessária uma rajada de maior duração para a pressão correspondente desenvolver-se em toda a construção, se ela não for muito pequena. Qual o intervalo de tempo para que estas pressões se desenvolvam plenamente? Será tanto maior quanto maiores as dimensões da construção. Já em 1958, Scruton e Gimpel⁶ consideravam muito longo o intervalo de um minuto, então recomendado para velocidade de cálculo, uma vez que as estruturas reagem plenamente a rajadas de períodos muito mais curtos. Sugerem para referência (velocidade básica) a máxima média horária a uma altura de 33 pés (10m). A velocidade de cálculo seria a velocidade média sobre 15 segundos. Fator de rajada para passar da média horária para média sobre 15 segundos: 1,5.

b) Anteriormente, Cohen e Perrin,⁷ tomaram como velocidade básica a média em um minuto, a uma altura de 30 pés (9,14m). A velocidade de cálculo será dada por: velocidade básica x fator de rajada.

c) como pode ser determinado o fator de rajada apropriado para uma certa edificação? Um critério bastante difundido há algumas décadas foi o devido a Sherlock.⁸ Ele baseou-se em estudos de Farren sobre uma asa de avião em velocidade variável para determinar o intervalo de tempo para uma rajada ser efetiva sobre uma construção. Segundo Farren, a asa deve viajar seis comprimentos de corda para que a sustentação seja plenamente desenvolvida. Este mesmo comprimento Sherlock admite necessário a sotavento da construção, para o pleno desenvolvimento das pressões. São acrescidos dois comprimentos a barlavento

(Fig.3.1). Sherlock⁸ levou em consideração também os ensaios sob forma de fluxo, realizados por Irminger e Nökkentved, e admitiu que estes ensaios (Fig. 3.1) se aplicam aceitavelmente bem a construções com outras formas. Sugere que a rajada deve ter uma duração tal que uma partícula de ar percorra oito vezes a dimensão da construção na direção do vento.

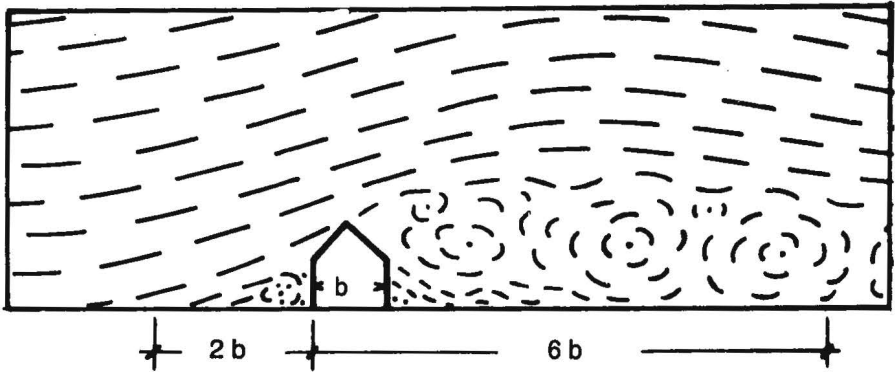


Fig. 3.1 – Critério de Sherlock

Transversalmente, a rajada deve ter uma largura cerca de duas vezes a da construção.⁹

Este critério de Sherlock aparece no relatório final da comissão indicada pelo ASCE para estudar o problema do vento (Sherlock foi o relator desta parte): "Fatores de rajada apropriados serão usados para estruturas que são suficientemente pequenas para responderem a rajadas envolvendo menos que uma milha de vento passante. O fator de rajada (velocidade de rajada/velocidade da milha mais veloz de vento) deverá guardar alguma relação com o tamanho mínimo do turbilhão necessário para envolver a estrutura e o fluxo vizinhos. Um fator de rajada de 1,3 será considerado para rajadas de aproximadamente um segundo de duração, que, a 90 milhas por hora (145km/h) de vento básico, terá um comprimento na direção do vento de cerca de 130 pés (40m). Isto será apropriado para quadros de propaganda e pequenas construções. Um fator de rajada de 1,1 será considerado para rajadas de cerca de 10 segundos de duração, que em um vento básico de 90mph terá um comprimento na direção do vento de 1.300 pés (396m); este fator é adequado para estruturas tendo uma dimensão horizontal, transversal ao vento, de cerca de 125 pés (38m)".¹⁰

d) O critério acima exposto baseia-se no campo aerodinâmico em torno de uma asa em movimento na atmosfera calma. Entretanto, o

fluxo de ar em torno das edificações inclui turbilhões que se distribuem de uma maneira aleatória no espaço e no tempo. Parece-nos mais razoável abordar a questão considerando como ponto de partida as dimensões dos turbilhões.

Seja d o comprimento de um turbilhão na direção da velocidade média do vento (coincide com a velocidade de deslocamento do turbilhão) \bar{V}_t (Fig. 3.2). Medidas feitas ao vento natural por diversos pesquisadores indicam que, a grosso modo, em um plano perpendicular à direção de \bar{V} , o turbilhão apresenta uma secção circular, com diâmetro máximo entre $d/3$ e $d/2$.

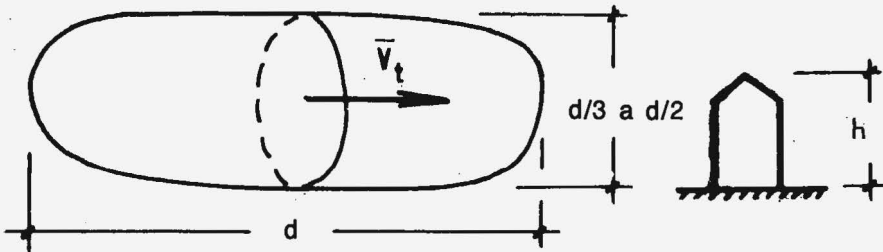


Fig. 3.2 — Dimensões dos turbilhões

Para que o turbilhão seja efetivo, deve ter dimensões sensivelmente maiores que a construção, pois a correlação de velocidades na periferia do turbilhão é fraca. Recomenda-se que a secção transversal do turbilhão apresente um diâmetro igual ao triplo da altura ou da largura da edificação, que designaremos por h :

$$3h = d/3 \text{ a } d/2.$$

Portanto:

$$d = 6h \text{ a } 9h$$

Tomando o valor médio: (3.1)

$$d = 7,5h$$

Como o turbilhão se desloca com uma velocidade \bar{V}_t , levará um tempo

$$t = d/\bar{V}_t = 7,5h/\bar{V}_t \tag{3.2}$$

para passar pela edificação.

A tabela 3.1 apresenta valores da duração da rajada, t , para diversas dimensões h e para as velocidades $\bar{V}_t = 30$ e 40m/s .

TABELA 3.1 – DURAÇÃO DA RAJADA, CONFORME (3.2)

h (m)	t em segundos para:	
	$\bar{V}_t = 30\text{m/s}$	$\bar{V}_t = 40\text{m/s}$
10	2,5	2
20	5	4
50	12,5	9
100	25	19
200	50	38
300	75	56

Não esquecer que este critério permite obter apenas valores aproximados, pois as proporções dos turbilhões são muito variáveis e o critério de considerar o turbilhão com uma dimensão transversal igual a 2,5 vezes a dimensão correspondente da edificação é empírico-intuitivo. Baseia-se, em parte, no conceito de escala espacial da turbulência e na relação entre esta e a curva de correlação espacial.

O problema é ainda mais complexo, pois parte dos turbilhões menores, incluídos nos maiores, é interceptada e desviada pela edificação, a qual, por sua vez, gera outros turbilhões que se desenvolvem na esteira da edificação.

e) Valores mais precisos serão obtidos com um tratamento matemático mais rigoroso. Como vimos, ao definir a velocidade do vento devem ser considerados apenas turbilhões que tenham dimensões suficientes para envolver plenamente a edificação. As dimensões dos turbilhões são caracterizadas pelas correspondentes escalas espaciais. Cada uma delas é definida pelo comprimento L de um retângulo de área igual a da superfície sob a curva de correlação espacial R da respectiva componente do vetor velocidade. Isto é (Fig. 3.3):

$$L = (\text{área sob a curva}) / (\text{ordenada na origem}) = A/1$$

A área A é obtida pela integral ($1/f = t$):

$$A = \int_0^{\infty} e^{-CfX/\bar{V}_t} dX = \bar{V}_t t/C$$

sendo:

f – frequência das flutuações de pressão;

X – distância horizontal ou vertical entre os dois pontos em estudo;

\bar{V}_t – velocidade média de deslocamento do turbilhão.

A escala espacial será dada por

$$L = \bar{V}_t t/C \tag{3.3}$$

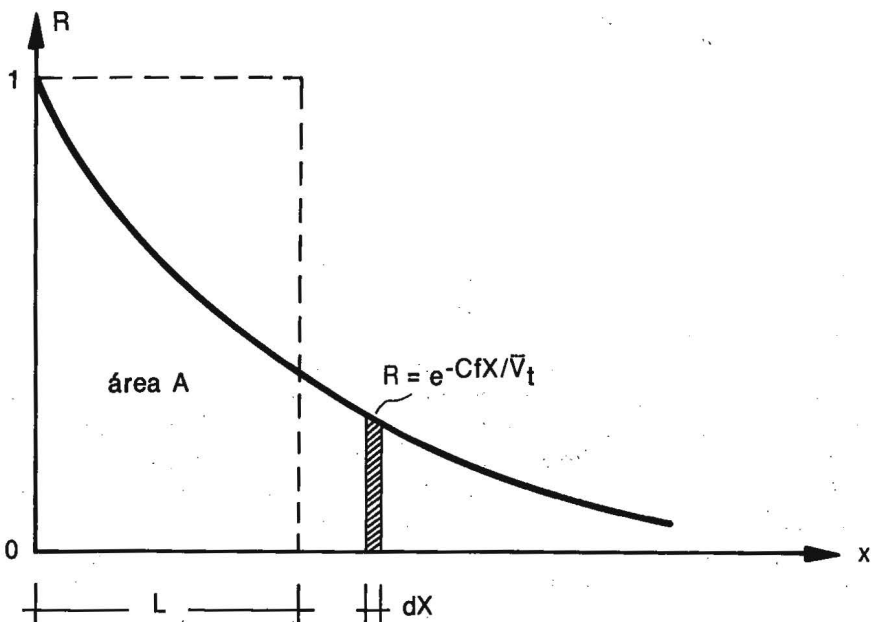


Fig. 3.3 — Curva da correlação espacial

Portanto, a duração t de uma rajada plenamente efetiva será

$$t = CL/\bar{V}_t \quad (3.4)$$

Para um turbilhão que envolva a edificação, nas condições indicadas anteriormente, L será a altura h da edificação ou sua largura, adotando-se o maior dos dois valores. \bar{V}_t , de acordo com estudo feito por Newberry, Eaton e Mayne,¹¹ é a velocidade média do vento sobre t segundos no topo da edificação, $\bar{V}_t(h)$. Estes autores determinaram a correlação espacial das flutuações de pressão, em uma dada frequência, entre dois pontos da Torre dos Correios,¹¹ em Londres. Devido à forma da edificação estudada, muito alteada, só foi possível estudar correlações verticais. Foram determinadas 450 correlações verticais entre vários pares de transdutores de pressão, com distância X variando de 9 a 119m. O valor médio obtido para C foi 6,8, com um desvio padrão de 1,8. Com este valor médio de C foram calculados, pela (3.4), os intervalos de tempo para as mesmas dimensões (altura, neste caso) e velocidades usadas como exemplo do processo anterior (Tabela 3.2).

TABELA 3.2 – DURAÇÃO DAS RAJADAS, TORRE DOS CORREIOS, LONDRES

h (m)	t em segundos para:	
	$\bar{V}_t = 30\text{m/s}$	$\bar{V}_t = 40\text{m/s}$
10	2	2
20	5	3
50	11	9
100	23	17
200	45	34
300	68	51

f) Sfintesco e Wyatt¹² propõem o uso da mesma expressão de R (dada na Fig. 3.3) tanto para a correlação vertical como horizontal, tendo em vista que a diferença entre as escalas de turbulência nas direções vertical e horizontal parece ser menor do que anteriormente sugerido. Veja-se, por exemplo, os estudos de Shiotani e Iwatani,¹³ que não encontraram grande diferença entre as escalas lateral e vertical.

Nestas condições, X será a distância vertical ou horizontal entre os pontos para os quais está sendo determinada a correlação cruzada. Para o estudo que estamos fazendo de dimensões de turbilhões e duração de sua passagem por uma edificação, X será a altura (h) ou largura da mesma, respectivamente. A velocidade \bar{V}_t é correspondente a meia altura ($\bar{z} = h/2$) da edificação e C é obtido pela expressão:

$$C = 9(20/\bar{z})^{0,09} \quad (3.5)$$

Com base nesta expressão foi organizada a tabela 3.3, válida para o caso de edificações alteadas. Fácil será calcular o intervalo de tempo t para uma edificação alargada.

Este processo permite uma avaliação razoável do intervalo de tempo sem a necessidade de medidas no local da edificação, as quais somente são possíveis em raras oportunidades.

TABELA 3.3 – DURAÇÃO DAS RAJADAS – SFINTESCO E WYATT

h (m)	Z (m)	C	t em segundos para:	
			$\bar{V}_t = 30\text{m/s}$	$\bar{V}_t = 40\text{m/s}$
10	5	10,2	3	3
20	10	9,6	6	5
50	25	8,8	15	11
100	50	8,3	28	21
200	100	7,8	52	39
300	150	7,5	75	56

g) A Fig. 3.4 permite uma comparação, por via gráfica, dos três critérios. Não esquecer que a velocidade \bar{V}_t é calculada para o topo do edifício nos dois primeiros critérios e à meia altura no terceiro. O erro correspondente torna-se tanto menor quanto mais alta a edificação, pois a velocidade do vento varia pouco em pontos bastante afastados da superfície (observar as tabelas de S_2 da NBR-6123, redação 1987).

Esta figura mostra que o processo empírico que propusemos conduz a valores muito próximos aos dos outros dois. Por sua simplicidade e tendo em vista as imprecisões inerentes, a expressão (3.2) foi adotada na NBR-6123, redação de 1987. Para maior clareza, lembrando que \bar{V}_t é a velocidade média do vento sobre t segundos no topo da edificação (item 3.e):

$$t = 7,5h/\bar{V}_t(h) \tag{3.6}$$

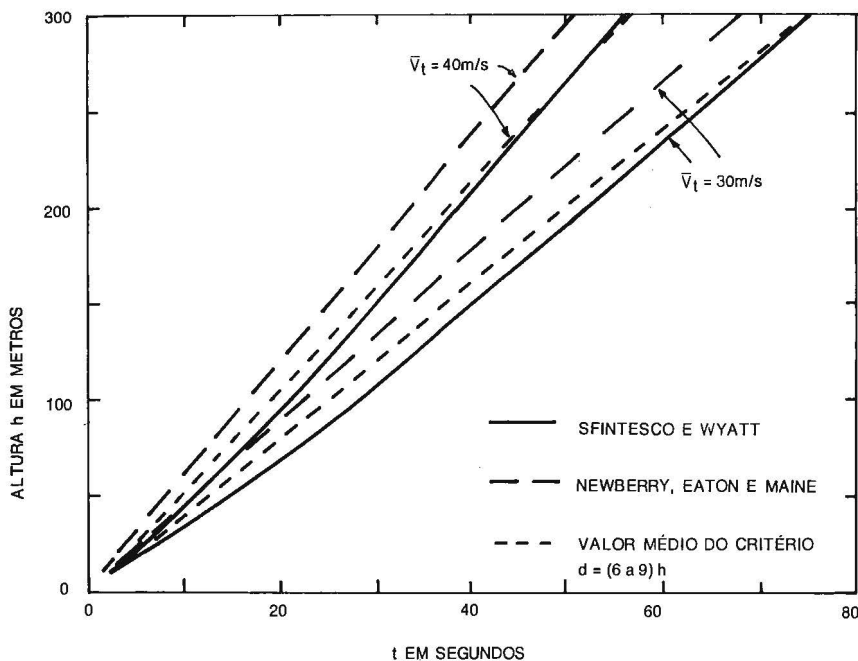


Fig. 3.4 — Duração da rajada

Com base na expressão (3.6) foi organizada a Fig. 3.5, válida para o caso de edificações alteadas, isto é, aquelas em que a maior dimensão é a altura.

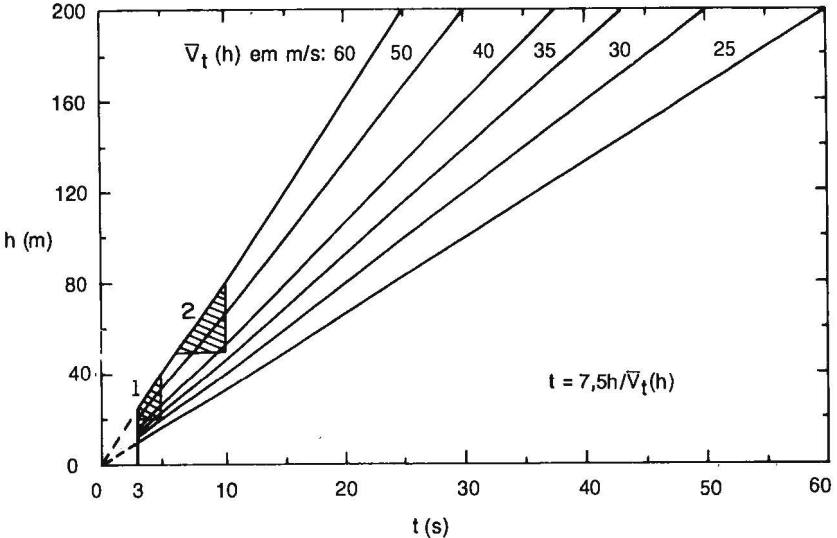


Fig. 3.5 — Determinação do intervalo de tempo t

h) Newberry, Eaton e Mayne¹¹ observam que, de acordo com seus resultados, para algumas edificações o intervalo de tempo adotado pela norma britânica para a velocidade média do vento deveria ser reduzido. O mesmo pode ser dito em relação à norma brasileira NBR 6123, se examinarmos a Fig. 3.5. A região hachurada 1 mostra que em certos casos a adoção de uma rajada de cinco segundos (edificações com a maior dimensão entre 20 e 50m) está contra a segurança. Consideração análoga feita para rajada de 15 segundos mostrará que uma região ainda maior ficará contra a segurança, por este critério. Por esta razão sugerimos que se adote, para edificações com a maior dimensão entre 20 e 50m, uma duração de rajada de 10 segundos. Mesmo assim teremos uma região (agora bem menor) contra a segurança (zona hachurada 2). Entretanto, face às simplificações e imprecisões inerentes, este critério nos parece suficientemente correto, para fins práticos. Seguindo este critério, a Comissão de Estudo para a Revisão da NBR 6123 adotou, para cada categoria de terreno, valores de S_2 para as três seguintes classes de edificações:

- maior dimensão abaixo de 20m t = 3s
- maior dimensão entre 20 e 50m t = 5s
- maior dimensão acima de 50m t = 10s

Por outro lado, julgamos que é razoável permitir que, para edificações com a maior dimensão superior a 80m se faça uma determinação do tempo de duração da rajada. Devido à grande influência da velocidade no valor de t (ver Fig. 3.5), não nos parece recomendável outras classes de edificações especificadas na norma (para h acima de 80 ou 100m, por exemplo), pois as diferenças contra a segurança podem ser importantes.

i) A velocidade básica não é uma velocidade que se aplica diretamente para o cálculo da pressão. Entre outros fatores deve ser considerada a influência das dimensões da edificação e, quando for o caso, as características dinâmicas da estrutura, incluindo sua frequência natural e seu amortecimento. A velocidade básica, segundo Davenport, conta melhor a história do vento, "ela é um ponto de partida para definir o estado meteorológico das condições do vento".¹⁴

Davenport, em dois trabalhos apresentados em 1960, expõe o seguinte:

"Para calcular velocidades básicas do vento para o projeto de estruturas, certas considerações fundamentais determinam qual intervalo é o mais apropriado:

1—o intervalo deve coincidir tanto quanto possível com alguma periodicidade natural do vento;

2—o intervalo deve ser longo, comparado tanto com a frequência natural da estrutura como com o tempo de resposta do instrumento: desta maneira não haverá interação dinâmica entre a estrutura e o vento médio, e as velocidades do vento medidas serão verdadeiras ¹⁴ (independente da resposta do instrumento, acrescentou Davenport no segundo trabalho citado);

3—o intervalo será suficientemente curto para registrar os picos de tempestades severas;

4—o intervalo deve corresponder a uma massa de ar de dimensões suficientes para envolver completamente a estrutura e suas regiões de vórtices."¹⁵

Davenport não considera razoável nem a média horária, por não satisfazer as condições 1 e 3, nem a média em três segundos (rajadas), por não satisfazer as condições 1, 2 e 4. Acha mais razoável adotar a milha de vento ou o minuto de vento, pelas seguintes razões, com a numeração correspondente às condições acima:

"1—por meio de coeficientes de correlação, Durst encontrou que, em tempestades, os principais grupos de redemoinhos, térmicos em origem, tinham comprimentos de onda de cerca de 4.000 a 6.000 pés (1.200 a 1.800m), correspondendo estreitamente (*closely*) à milha-intervalo ou minuto-intervalo em ventos de 60mph (96km/h);

2—o período natural da maioria das estruturas é da ordem de 0,1 a 3 segundos; a do Empire State Building é 8,14 segundos. Com o amortecimento presente na maioria das estruturas, flutuações correspondendo a uma milha (1.609m) em ventos extremos terão ação dinâmica infinitesimal.

Sherlock e Stout, referindo-se ao tempo de resposta de anemômetros comerciais, escreveram em 1937 'que por causa da inércia das partes móveis dos instrumentos, os registros podiam apenas ser aceitos como acurados se fosse calculada a média sobre 10 segundos ou mais'. Assim, mesmo a 150mph (241km/h), a milha de vento (ou o minuto de vento) satisfaz o item 2;

3—a milha de vento é de duração suficientemente curta para registrar o pico de uma rajada de vento com chuva ou neve (*squall*) ou um súbito temporal local;

4—a milha de vento também representa uma massa de ar muito maior do que a maioria das estruturas, assim que pressões estáticas ao menos equivalentes a esta velocidade média podem ser previstas."⁴

Em resumo: Davenport^{4,15} recomenda o uso da velocidade média calculada sobre a milha mais veloz ou o minuto mais veloz (*fastest mile* ou *fastest minute*) de vento como uma velocidade básica para projeto, em preferência a velocidades absolutas de pico que não podem ser consideradas independentemente das dimensões da estrutura e da resposta dinâmica do anemômetro, estrutura e materiais estruturais.

j) Em 1963, Davenport¹⁶ estudou o espectro horizontal do vento próximo ao solo (a 100m de altura). Ele se caracteriza por alguns picos, com zonas intermediárias de baixa amplitude (Fig. 3.6). Há um grande pico com um máximo entre um e dois minutos por ciclo. Para períodos entre cinco minutos e mais ou menos quatro a cinco horas o espectro contém muito pouca energia, o que significa que há pouca variação

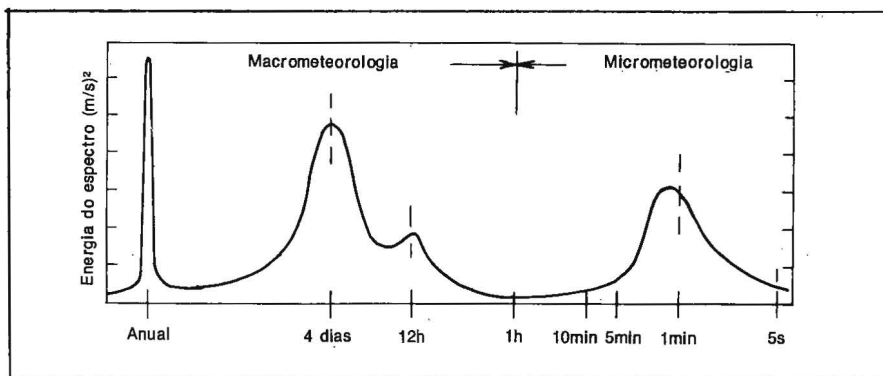


Fig. 3.6 — Espectro da velocidade horizontal do vento. Medições de van der Haven a 100m de altura. Fonte: Davenport¹⁶

na velocidade do vento nesta região. Um pico menor aparece com um período de 12h. Davenport¹⁶ admite que a mesma forma geral de espectro e posição de picos serão encontradas em outras alturas, outros tipos de terreno e em outras localizações geográficas.

Entre os dois picos citados há um vale que se estende a grosso modo de cinco minutos a cinco horas, com centro em torno de uma hora. Isto justifica o emprego da velocidade média horária ou um período algo menor. No final de seu trabalho, Davenport sugere, como o parâmetro mais útil para base do estudo do vento, a velocidade média calculada sobre um período entre cinco minutos e uma hora ("a diferença entre as duas médias não é provavelmente grande"). Outras medidas tais como velocidade máxima de rajada não seriam, segundo Davenport, quantidades altamente significativas em relação às cargas do vento.

k) Em 1964, Davenport¹⁷ tece novas considerações sobre o intervalo de tempo mais conveniente, baseado também no espectro de energia das rajadas. A velocidade média pode ser calculada para intervalos entre uma hora e vinte minutos, ou intervalos próximos acima ou abaixo. A média pouco diferirá nos diferentes casos. Porém, se for tomado um intervalo de meio minuto, as velocidades médias calculadas em distintos tempos serão muito diferentes; trata-se de um valor bastante instável. "A razão pode ser atribuída à falta de qualquer periodicidade forte do vento no intervalo de cerca de uma hora ou dez minutos, mas há uma forte periodicidade em torno de meio minuto". Outra vantagem de usar a média sobre uma hora é que muitos postos meteorológicos determinam este valor.

l) Em 1967, examinando novamente o assunto com o espectro de rajadas, Davenport¹⁸ chama a atenção que o vale no espectro (*spectral gap*), centrado em um período de aproximadamente meia hora, e situado entre o pico de energia em um período em torno de quatro dias e o pico de energia em um período de aproximadamente um minuto (rajadas), permite descrever o vento convenientemente em termos de:

"a) uma velocidade média, refletindo apenas as grandes variações, no tempo, da velocidade do vento (são as variações com períodos de vários dias);

b) as rajadas do vento".

Os mais importantes fatores para a escolha de um período razoável para definir a velocidade média do vento, alinhados por Davenport, são:

"1—o período deve ser escolhido para minimizar as variações (isto é, inclinações da curva do espectro) dentro do período;

2—deve ser suficientemente longo para permitir o desenvolvimento pleno da resposta da estrutura;

3—deve ser suficientemente curto para refletir o efeito máximo de uma tempestade relativamente curta em duração;

4—deve, se possível, coincidir com observações meteorológicas padrão”.

Os itens 2 e 3 são iguais aos de mesmo número apresentados por Davenport em 1960, ao recomendar a milha ou minuto de vento. A exigência do item 1 do trabalho de 1960 (periodicidade natural do vento) conduziu a um intervalo de cerca de um minuto que não serve mais pelo critério do espectro, por cair no pico de energia das rajadas. Foi substituída pela condição de se ficar em uma zona do espectro em que não haja muita variação de energia; com isto, será pequena a variação nas velocidades médias calculadas em qualquer ponto desta região.

Também não interessa mais, explicitamente, impor que a massa de ar envolva completamente a construção e suas regiões de vórtices (em outras palavras, o campo aerodinâmico perturbado sensivelmente pela construção). Os intervalos recomendados satisfazem com grande folga esta condição anterior. Em seu lugar é agora dada uma indicação apenas de ordem prática para facilitar os cálculos.

Baseado nestas condições, Davenport conclui que o melhor período para cálculo da velocidade média está entre 5 e 30 minutos, e, melhor ainda, entre 10 e 15 minutos (o item 3 não era satisfeito pela indicação, em trabalho anterior, de uma hora).

As razões, com a mesma numeração das condições, são:

“1—este período fica próximo ao centro do vale espectral e isto é uma boa garantia de que as inclinações (da curva do espectro) não serão muito fortes;

2—o âmbito das frequências naturais das estruturas é de, aproximadamente, 0,1 ciclos/segundo (para construções altas e pontes longas) para mais. Em um período de 15 minutos, ao menos 90 ciclos de oscilação ocorrerão, e isto é normalmente bem adequado para o desenvolvimento de condições permanentes;

3—o período é em geral suficientemente curto para refletir súbitas tempestades, tais como temporais que usualmente duram de cinco a dez minutos;

4—Estados Unidos da América costumam usar cinco minutos; Japão, dez minutos; uma hora é comum”.

Finalizando seu trabalho, Davenport define como velocidade média aquela calculada sobre um período de 10 a 20 minutos. Admite também que não há um erro sensível usando outros períodos, desde que fiquem no vale espectral. Davenport estima que as velocidades médias máximas calculadas sobre 15 minutos ficarão apenas de 2 a 5% acima da média horária.

Nas conclusões finais do seu trabalho, Davenport diz o seguinte:

“O vento pode ser definido convenientemente em termos de velocidades médias e rajadas relacionadas ao vento médio. Há fundamentos

físicos para preferir um período de cálculo da média entre 10 e 30 minutos.

Estatísticas climáticas devem, se possível, ser expressas em termos destas velocidades médias. A influência de rajadas é melhor determinada por outros meios do que pelo uso da velocidade máxima de rajada".¹⁸

m) De opinião contrária a Davenport é Newberry.¹⁹ Reconhece que, de fato, a curva de energia do espectro do vento mostra um mínimo constante na zona espectral entre 5 e 30 minutos. Embora possa teoricamente ser uma base correta para determinar a velocidade de cálculo do vento, Newberry não a acha significativa praticamente: interessam para o projeto estrutural cargas do vento agindo sobre poucos segundos e às vezes menos. Além disso, atualmente há dificuldades em correlacionar os carregamentos de curta duração com as médias de velocidade calculadas sobre períodos maiores. Há também dificuldades consideráveis para relacionar a velocidade do vento nas alturas normais de edifícios com a velocidade do vento gradiente (Davenport toma para base a velocidade gradiente).

É preferível basear a velocidade do vento nos dados disponíveis mais próximos para minimizar os erros que surgem ao aplicar grandes correções aos dados do vento mais remoto, mesmo que estes sejam estatisticamente preferíveis. Newberry termina recomendando a velocidade máxima de rajada a uma altura efetiva de 10m como velocidade básica. Oferece a dupla vantagem de ser medida à altura da maioria das construções e de ter duração próxima à duração efetiva da carga de cálculo. Naturalmente, conforme este critério, a velocidade básica não causa apenas um esforço permanente sobre a construção. A velocidade básica, em um sentido mais geral, corresponde a uma velocidade de referência.

n) Davenport opõe o seguinte: a média sobre poucos segundos não leva em conta a influência dinâmica de seqüências de rajadas ressonantes com a estrutura ou com um elemento estrutural e também a extensão espacial de células de pressão induzidas na estrutura por rajadas. Além disso, estatisticamente as velocidades máximas de rajada são um valor muito mais disperso do que outros parâmetros estatísticos, como, por exemplo, as velocidades médias.

Entretanto, lembremos de que se os efeitos dinâmicos não são considerados, por muito pequenos, não interessa estudar seqüências de rajadas. Embora mais dispersos, a estatística permite fazer uma estimativa razoável da rajada máxima a esperar em um certo intervalo de tempo. Ao passar de um intervalo maior de velocidade básica para a de cálculos, de poucos segundos, teremos não só imprecisão nos fatores de transposição dos intervalos em si, mas também imprecisão por estarem muito afastados os dois intervalos, o que aumenta a dispersão.

o) Newberry e outros²⁰ apresentam resultados de ensaios feitos em um edifício, 42x18m em planta, de 18 pavimentos. Conclusões a que chegam (embora recomendem não pôr muita confiança nos resultados de um único exemplo):

Adotar rajada de três segundos para cargas locais, em revestimentos e rajada de dez segundos para cargas estruturais (isto para edifícios de dimensões da ordem de grandeza do usado nas pesquisas). Foi observado que mesmo rajadas de três segundos são importantes para cargas estruturais: a carga de uma rajada de três segundos foi 60% maior do que a carga com um minuto de vento (cargas médias, calculadas as médias respectivamente sobre 3s e 1min). Como os valores obtidos em um modelo do edifício, ensaiado em túnel de vento, foram maiores do que os na construção real, é sugerido que se usem os valores de ensaios em modelos, corrigindo convenientemente o tempo para calcular a velocidade média. Foi obtido um intervalo de tempo de dez segundos.

p) Vickery,²¹ considerando que, se os efeitos dinâmicos forem desprezados, a duração da rajada de cálculo deve ser relacionada ao tamanho da construção, e levando estas simplificações à teoria do espectro de Davenport, chegou a valor próximo ao recomendado por Newberry: obteve 12 segundos (velocidade média: 30 pés/s = 9m/s). Para velocidades do vento normalmente usadas nos projetos estruturais, o período para cálculo da velocidade média de rajada situou-se entre três e quatro segundos (cálculo de Vickery), o que está de acordo com as recomendações de Scruton e Newberry.²²

q) Estudos feitos pelo Joint-Committee on Structural Safety, para a determinação de velocidades básicas para a Europa, tomam para referência a velocidade média sobre dez minutos, a dez metros de altura, em campo aberto e plano. As informações fornecidas pelos postos meteorológicos, porém, referem-se em geral a médias sobre uma hora; só em uns poucos casos sobre dez minutos. O que obrigou o Comitê a adotar expressões matemáticas para a conversão de um período para outro. Detalhes serão dados no capítulo 4.

Ainda não há uma concordância mundial sobre o intervalo de tempo a considerar na determinação da velocidade básica (definida como uma velocidade de referência). Enquanto que reuniões realizadas em 1987 para estabelecer uma norma internacional ISO sobre vento²³ levaram a uma sugestão de dez minutos como intervalo de tempo a adotar para a definição de uma velocidade básica a dez metros acima do terreno, com um período médio de recorrência de 50 anos, a norma norte-americana de 1982, ANSI A58.1-1982²⁴ considera a milha (1.609m) mais veloz de vento ("fastest-mile wind"), também a 10m de altura. Em ambos os casos, sobre terreno plano e aberto.

Na Grã-Bretanha, o "U.K. Meteorological Office"²⁵ apresenta isople-
tas da velocidade básica calculadas para uma hora, a 10m de altura,
em terreno plano e aberto, para duas probabilidades: velocidades excedi-
das em 50% do tempo e em 1% do tempo. Por outro lado, na norma
britânica de vento²⁶ as isople-
tas referem-se a rajadas de três segundos,
determinadas para serem excedidas, na média, uma vez em 50 anos,
em campo aberto e plano, a dez metros acima do terreno.

No Brasil, os dados mais confiáveis, para uma cobertura razoável
de todo o território nacional, são os do Serviço de Proteção ao Vôo
do Ministério de Aeronáutica, com 49 estações, todas elas localizadas
em aeroportos. As leituras das velocidades médias estimadas sobre 30
segundos (na teoria, sobre um minuto) são feitas de hora em hora,
com vários regimes de funcionamento (14, 18 ou 24 horas por dia,
conforme a importância do aeroporto). São também anotados valores
excepcionais de rajadas de três segundos, a qualquer tempo, durante
o período de funcionamento da estação.

As condições de leitura e registro tornam mais conveniente adotar
como referência, no Brasil, o intervalo de tempo de três segundos.
A passagem das leituras médias sobre 30 segundos para três segundos
foi feita multiplicando as velocidades médias sobre 30 segundos por
1,15 (Fator de rajada — ver Capítulo 4). Para maiores detalhes, consultar
Vieira Filho²⁷ e Padaratz.²⁸ A imprecisão que resultaria da passagem
para intervalos de tempo de dez minutos ou uma hora e o relativamente
pequeno número de estações — impossibilitando uma correção por compa-
ração entre estações próximas — foram outros fatores que levaram a
tomar para velocidade básica do vento da norma brasileira NBR-6123
a velocidade correspondente a rajadas de três segundos de duração.

Futuramente, após alguns anos de funcionamento da rede de cerca
de 400 estações meteorológicas que deverá ser implantada em todo
o Brasil pelo Departamento Nacional de Meteorologia do Ministério
da Agricultura, com anemógrafos, será possível pensar em adotar o
intervalo de tempo de dez minutos para a determinação da velocidade
básica.

4 – MUDANÇA DE INTERVALO DE TEMPO

a) Estabelecida uma velocidade básica, seja ela sobre 1h, 15min, 3s, etc., necessitam-se fatores que permitam passar desta velocidade básica para as velocidades de cálculo. Ou, então, conhecida uma velocidade básica, podemos estar interessados em saber qual a velocidade básica correspondente a outro intervalo de tempo.

Damos a seguir especificações numéricas e gráficas que permitem passar de um intervalo para outro, tendo em vista não só que os registros meteorológicos não são padronizados no que diz respeito ao intervalo de tempo básico, como também que o tempo de duração da rajada que interessa é função das dimensões da construção e, quando for o caso, também de suas características dinâmicas.

b) Scruton e Newberry²² apresentam diversos processos sugeridos para determinar a velocidade de cálculo. Entre eles citamos:

1º – Antiga norma inglesa:²⁹

Velocidade de cálculo: média máxima sobre um minuto.

Os registros meteorológicos dão a média horária V_{1h} . Para obter a velocidade de cálculo a norma indica:

$$V_{1min} = V_{1h} + 10 \text{ milhas/hora}$$

2º – Shellard³⁰

Mapas com isopletas de máxima velocidade média horária e de máximas rajadas (aproximadamente três segundos) prováveis de serem excedidas uma vez em 50 anos, a 33 pés (10m) de altura.

3º – Scruton e Gimpel⁶

Rajadas de 10-15 segundos para o cálculo de construções.

$$\bar{V}_{15s} = 1,4\bar{V}_{1h}$$

4º – Scruton e Newberry²²

Muito interessantes são os dois processos recomendados pelos autores do artigo que estamos comentando.

Um deles baseia-se nas velocidades do vento à altura meteorológica de 33 pés (10m) e outro na altura do vento gradiente. Este último tem as vantagens, já assinaladas por Davenport, de variar pouco de lugar para lugar (menos isopletas na carta de velocidades máximas) e de mais exatidão pela tendência de eliminar os efeitos topográficos locais. Entretanto, baseia-se na elaboração de cartas e na determinação de valores auxiliares que necessitariam de explicações especiais.

O segundo processo baseia-se no vento a 33 pés (10m) de altura: \bar{V}_{33} – máxima velocidade média horária, a uma altura de 33 pés, passível de ser excedida em média uma vez em 50 anos (é a velocidade básica).

Esta velocidade é obtida de cartas fornecidas pelo serviço meteorológico ou é calculada a partir de registros locais.

A velocidade de cálculo, a 33 pés de altura, é obtida por:

$$V_z = F_r \bar{V}_{33}$$

F_r = fator de rajada.

Este fator de rajada permite passar da velocidade básica (média horária) para as velocidades de cálculo. São utilizadas duas velocidades de cálculo, uma correspondente a rajadas extremas, três segundos, e outra para um intervalo de tempo de dez segundos. As rajadas representam média em torno de três segundos, com ventos moderados, e de aproximadamente dois segundos com ventos fortes.²⁰

Além disso, este fator de rajada é função da rugosidade do terreno. Davenport utilizou inicialmente oito diferentes categorias de terreno, que posteriormente reduziu a três. Na tabela 4.1 estão dados fatores de rajada e as correspondentes categorias (para maiores detalhes consultar Blessmann²).

c) Para o edifício Museum Radio Tower, Londres,³¹ com 186m de altura, o intervalo foi de 15 segundos, para determinação da velocidade de cálculo. Na projetada cúpula do Hotel Tropical de Manaus, hemisfera com 300m de diâmetro, um minuto.³²

d) Rijkoort e Wieringa³³ apresentam o gráfico da Fig. 4.1 que dá a relação das velocidades médias, $F_r = \bar{V}_t / \bar{V}_{1h}$, em função do intervalo de tempo, a 10m de altura, na zona costeira e no interior.

TABELA 4.1 — FATOR DE RAJADA CONFORME SCRUTON E NEWBERRY

Categoria	Topografia	$F_r = \bar{V}_t / \bar{V}_{1h}$	
		rajada extrema $t = 3s$	rajada de $t = 10s$
1	Exposição extrema — grandes extensões de água livre e campos	1,5	1,3
2	Campo aberto com obstruções baixas — árvores, cercas-vivas, construções de dois andares, etc.	1,7	1,4
3	Áreas construídas e áreas com altas obstruções, tais como pequenas e grandes cidades	2,0	1,6

Velocidade básica (\bar{V}_{1h}): máxima velocidade média horária a uma altura de 10m, passível de ser excedida na média uma vez em 50 anos.

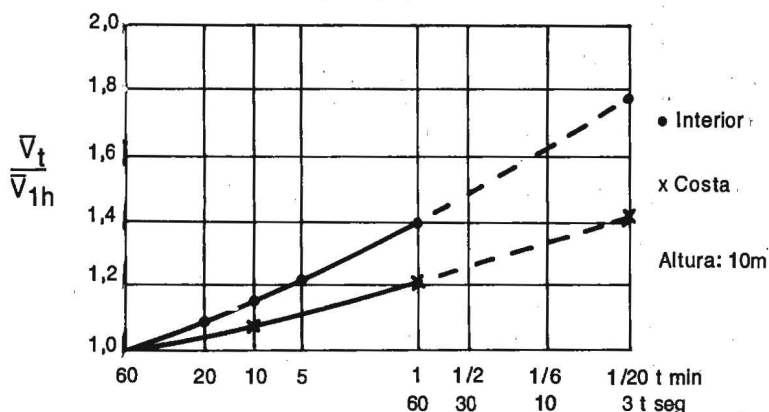


Fig. 4.1 — Relação entre velocidades médias. Fonte: Rijkoort e Wieringa³³

e) Shellard³⁰ apresenta resultados obtidos por ele mesmo, por Durst, Sherlock e Deacon:

Durst:

Relação da máxima velocidade média provável, calculada em um intervalo de tempo t em relação à máxima média horária: $F_r = \bar{V}_t / \bar{V}_{1h}$.

$t = 1h$	10min	1min	30s	20s	10s	5s	0,5s
$F_r = 1,00$	1,06	1,24	1,33	1,36	1,43	1,47	1,59

TABELA 4.2 – RELAÇÃO ENTRE VELOCIDADE MÁXIMA MÉDIA PARA VÁRIOS PERÍODOS

F_r	Relação	Tipo de terreno	Fonte de referências
$\bar{V}_{10s}/\bar{V}_{5min}$	1,50	Campo aberto	Sherlock, Variation of wind velocity and gusts with height
$\bar{V}_{5s}/\bar{V}_{10min}$	1,44	Campo aberto	Deacon, Gust variation with height up to 150m
$\bar{V}_{3-5s}/\bar{V}_{1h}$	1,45 a 1,60	Campo aberto próximo à costa	Shellard, Extreme wind speeds over the United Kingdom for periods ending 1959
(3-5s: rajada máxima)	1,60 a 1,80	Campo aberto interior	
	2,00 a 2,20	Centro de grandes cidades	
$\bar{V}_{3-5s}/\bar{V}_{10min}$	1,48	Campo aberto próximo à costa	

Shellard³⁰ conclui, comparando os valores da tabela 4.2 com os de Durst, que os deste autor são um pouco baixos. Recomenda, como valores para uso rotineiro, até que mais dados sejam conseguidos:

$$\text{Valores de } F_r = \bar{V}_t/\bar{V}_{1h}$$

t =	1min	30s	10s
exposição rural (campo aberto):	1,25	1,33	1,45
exposição urbana	1,45	1,60	1,80

Todos os valores do trabalho de Shellard³⁰ referem-se à altura padrão de 33 pés (10m).

f) No Seminário Internacional de Ottawa, Shellard³⁴ apresentou os resultados de outros estudos feitos em Goonhilly e em Londres.

Em Goonhilly as medidas foram feitas a 32 pés (9,75m) acima do solo, em local aberto com colinas, a poucas milhas da costa. Estudou a variação da velocidade máxima média em função do tempo para cálculo desta média. Foram feitos dez registros, cada um com uma hora de duração, em dias diferentes. Foi calculada a velocidade média em sucessivos intervalos de cinco segundos e a velocidade máxima de rajada. Na tabela 4.3 estão os resultados de Shellard,³⁴ bem como os obtidos por Durst – Cardington, 1960, anemômetro a 50 pés, (15,2m) – e por Deacon – Sale, Austrália, 1965, anemômetro a 40 pés, (12,2m) – que ele apresenta para comparação.

TABELA 4.3 – VALORES DE $F_r = \bar{V}_t / \bar{V}_{1min}$

Local	t em segundos									
	60	30	20	16	10	8	5	4	3	2
Goonhilly	1,00	1,05	1,08		1,12		1,16			1,22
Cardington	1,00	1,07	1,10		1,15		1,19			
Sale	1,00			1,12		1,18		1,22		1,25

Estes mesmos valores serviram para traçar os gráficos da Fig. 4.2.

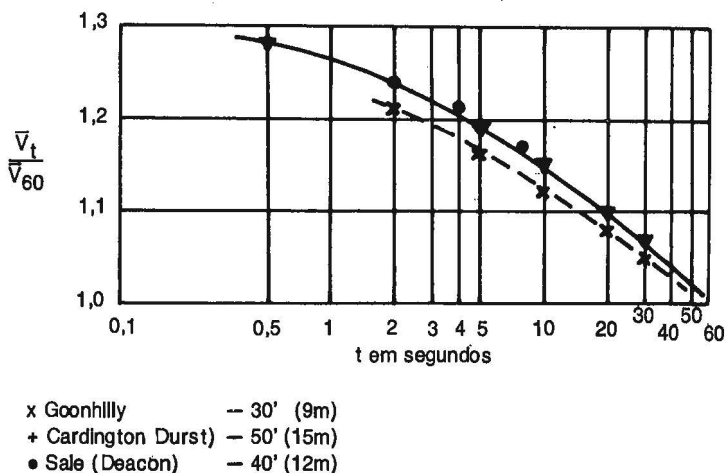


Fig. 4.2 – Relação entre velocidades médias máximas. Fonte: Shellard³⁴

g) Em Londres, as medidas foram feitas em uma construção em torre, a 140 pés (43m), 200 pés (61m) e 620 pés (189m) acima do terreno. Shellard³⁴ concluiu da análise dos resultados que parece ser desprezável a variação da relação $\bar{V}_{1min} / \bar{V}_t$ com as diversas velocidades médias.

A tabela 4.4 e a Fig. 4.3 apresentam os resultados obtidos por Shellard.³⁴ Na Fig. 4.3 aparece ainda uma curva referente à situação em campo aberto, para comparação.

h) As recomendações do Building Research Station³⁵ estão transcritas na tabela 4.5. Os fatores de rajada aí apresentados (posteriormente alterados) correspondem ao parâmetro S_2 da norma brasileira NBR-6123.³⁶

TABELA 4.4 – VALORES DE $F_r = \bar{V}_t / \bar{V}_{1min}$ – LONDRES

Altura		t em segundos					
pés	metros	2	5	10	15	20	30
140	43	1,35	1,23	1,18	1,15	1,13	1,07
200	61	1,26	1,17	1,14	1,11	1,10	1,07
620	189	1,14	1,09	1,07	1,06	1,05	1,03

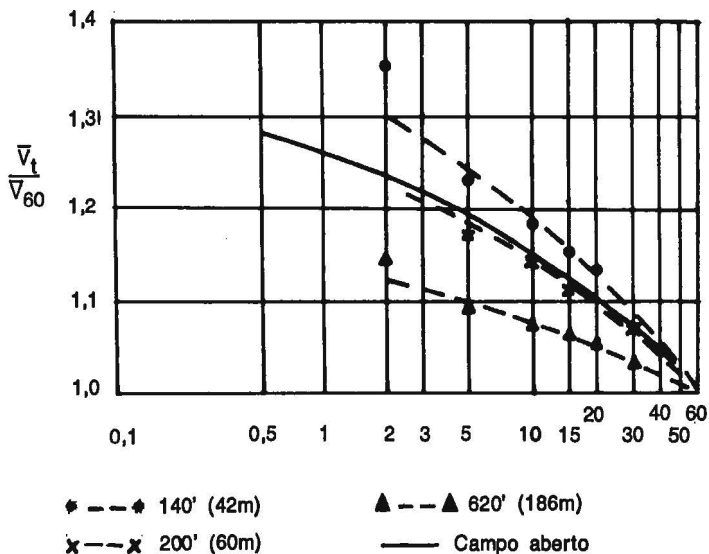


Fig. 4.3 – Relação entre velocidades médias em diversas alturas. Fonte: Shellard³⁴

TABELA 4.5 – VALORES DE \bar{V}_t / \bar{V}_{3s} – BUILDING RESEARCH STATION

Local	t em segundos		
	2-3	5	15
(Altura: 10m)			
Campo aberto sem obstrução	1,00	0,95	0,90
Campo aberto com alguma obstrução	0,98	0,92	0,87
Campo com muita obstrução; pequenas cidades, subúrbios de grandes cidades	0,93	0,86	0,80
Superfícies com grandes e freqüentes obstruções; por exemplo: centros de grandes cidades	0,90	0,81	0,73

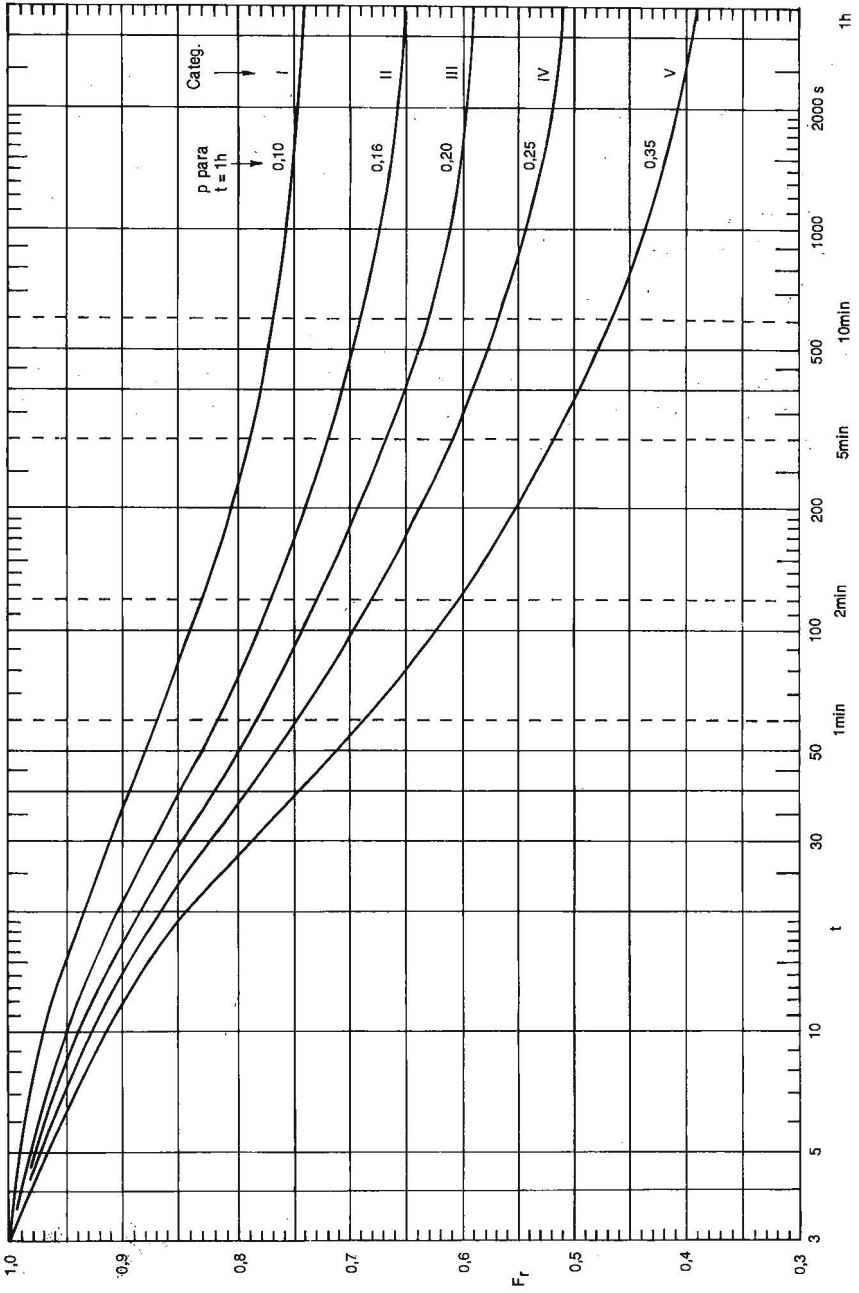


Fig. 4.4 - Fatores de rajada

i) Nos últimos anos diversos autores têm apresentado tabelas,^{37,38,39} gráficos^{38 a 44} e fórmulas,^{39,46 a 48} que sintetizam um grande número de resultados, alguns dos quais apresentados acima.

No Brasil alguns estudos foram feitos procurando definir curvas de fatores de rajada^{2,46,47,48} aplicáveis a qualquer rugosidade de terreno. A Fig. 4.4 apresenta as curvas de fatores de rajada para as cinco categorias de rugosidade do terreno da NBR-6123, redação 1987, obtidas a partir dos trabalhos acima mencionados. Nestes trabalhos, o fator de rajada, definido por

$$F_{r,i} = \bar{V}_{t,i}(10)/V_i(10) \quad (4.1)$$

permite passar da velocidade de rajada de três segundos, a dez metros de altura, na categoria i ($i = I$ a V), $V_i(10)$, para a velocidade média sobre um intervalo de tempo qualquer, t , na mesma categoria i e na mesma altura de dez metros, $\bar{V}_{t,i}(10)$.

5 – EXEMPLOS

a) Veremos a seguir como determinar o intervalo de tempo para edificações em que a maior dimensão horizontal ou vertical é superior a 50m. Trataremos separadamente o caso de edificações alteadas e alargadas. Para o caso de profundidade superior à largura admite-se a adoção dos mesmos valores determinados para edificações alargadas (tomando a profundidade como dimensão de referência).

b) Edificações alteadas

A este tipo de edificações aplica-se o gráfico da Fig. 3.5. A marcha de cálculo, por aproximações sucessivas, será indicada com dois exemplos.

1º Exemplo — Terreno: categoria III. Altura da edificação, $h = 100\text{m}$. Velocidade básica do vento, $V_0 = 45\text{m/s}$.

1—Tomar, como primeira aproximação, $V_t = V_0$ e determinar $t = t'$ pela (3.6), ou pela Fig. 3.5 (As tabelas de S_2 da NBR-6123, redação 1987, estão reproduzidas na Ref. 2):

$$V_t = V_0 = 45\text{m/s}; t' = 7,5 \cdot 100 / 45 = 16,7\text{s}$$

2—Conhecido t' , obter $S_2(h)$ da tabela da NBR-6123, categoria III: $S_2(100) = 1,145$

3—Calcular $\bar{V}_t(h) = S_2(h)V_0$: $\bar{V}_t(100) = 1,145 \cdot 45 = 52\text{m/s}$

4—Determinar $t = t''$ pela eq. (3.6) ou pela Fig. 3.5:

$$t'' = 7,5 \cdot 100 / 52 = 14,4\text{s}$$

5—Se $|t'' - t'| < 1,5$, $t = t''$. Caso contrário, repetir passos 2 a 4

$|t'' - t'| = |14,4 - 16,7| = 2,3\text{s}$. Portanto, repetir passos 2 a 4.

2—Conhecido t'' , obter $S_2(h)$ pela tabela da NBR-6123: $S_2(100) = 1,14$

3— $V_{t''}(h) = S_2(h)V_0 = 1,14 \cdot 45 = 51\text{m/s}$

4— $t''' = 7,5 \cdot 100 / 51 = 15\text{s}$

Portanto, $t = 15\text{s}$.

2º Exemplo – Terreno: categoria V. Altura da edificação, $h = 100\text{m}$.
Velocidade básica do vento, $V_0 = 40\text{m/s}$.

1 – $V = V_0 = 40\text{m/s}$; $t' = 7,5 \cdot 100/40 = 19\text{s}$ (ou da Fig. 3.5)

2 – Da tabela da NBR-6123, categoria V: $S_2(100) = 0,97$

3 – $V_t(100) = 0,97 \cdot 40 = 38,8\text{m/s}$

4 – $t'' = 7,5 \cdot 100/38,8 = 19\text{s}$

Portanto, $t = 19\text{s}$.

Comentários: O passo 5 baseia-se em observações da convergência dos valores de t . Observe-se que para a mesma altura h das edificações t variou em função da categoria e da velocidade V_0 . As tabelas 5.1 e 5.2 apresentam a marcha de cálculo para edificações com alturas entre 50 e 200m, com V_0 entre 30 e 50m/s, para as categorias III e V. Determinado o valor de t , o perfil de velocidades adimensionais, S_2 , pode ser obtido a partir das tabelas de S_2 , interpolando, ou a partir da equação:

$$S_2 = bF_r(z/10)^p \quad (5.1)$$

com os valores de b , F_r e p retirados da NBR-6123, redação 1987, ou da Ref. 2.

As velocidades adimensionais assim obtidas (isto é, S_2) podem ser usadas no cálculo de ações totais do vento nas edificações. Estas ações servem para o dimensionamento da estrutura nos pavimentos inferiores, para a determinação das ações nas fundações e para a verificação ao tombamento e torção.

A redação de 1987 da NBR-6123 adotou, para edificações com a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal acima de 50m, um perfil potencial de velocidades médias correspondente a um intervalo de tempo de 10s. Ao mesmo tempo fica aberta a possibilidade, para edificações com a maior dimensão acima especificada superior a 80m, da determinação do tempo de duração da rajada correspondente a um turbilhão que envolva convenientemente a edificação pelo processo aqui sugerido, adotando-se este novo valor, desde que superior a dez segundos.

c) Edificações alargadas

Para edificações alargadas (largura maior que altura) será necessário considerar características que originem pouca ou nenhuma continuidade estrutural ao longo da edificação, como, por exemplo:

– edificações com juntas de dilatação que separem a estrutura em duas ou mais partes estruturalmente independentes;

– edificações com pouca rigidez na direção perpendicular ao vento, e por isso com pouca capacidade de redistribuição de cargas, tais como pavilhões industriais para lingotamento contínuo e de laminação em usinas siderúrgicas, com comprimentos que podem chegar a 1km ou mais;

TABELA 5.1 – DETERMINAÇÃO DO INTERVALO DE TEMPO – CATEGORIA III

h (m)	V ₀ (m/s)	1ª aprox.	2ª aproximação			3ª aproximação		
		t' (s)	S ₂ (h)	$\bar{V}_{t'}$ (h)	t' (s)	S ₂ (h)	$\bar{V}_{t''}$ (h)	t, t''' (s)
50	30	12,5	1,06	32	12	—	—	12
	35	10,5	1,07	37	10	—	—	10
	40	9,5	1,07	43	9	—	—	9
	45	8,5	1,07	48	8	—	—	8
	50	7,5	1,08	54	7	—	—	7
80	30	20	1,10	33	18	1,10	33	18
	35	17	1,10	39	15	1,11	39	15
	40	15	1,11	44	14	—	—	14
	45	13,5	1,12	50	12	1,12	51	12
	50	12	1,12	56	11	—	—	11
100	30	25	1,11	33	23	1,12	34	22
	35	21,5	1,12	39	19	1,125	39	19
	40	19	1,13	45	17	1,13	45	17
	45	16,5	1,145	52	14	1,14	51	15
	50	15	1,14	57	13	1,15	58	13
120	30	30	1,12	34	26	1,14	34	26
	35	25,5	1,14	40	23	1,145	40	23
	40	22,5	1,145	46	20	1,15	46	20
	45	20	1,15	52	17	1,16	52	17
	50	18	1,16	58	16	1,165	58	16
160	30	40	1,15	35	34	1,155	35	34
	35	34	1,155	40	30	1,16	41	29
	40	30	1,16	46	26	1,18	47	26
	45	27	1,17	53	23	1,185	53	23
	50	24	1,18	59	20	1,19	60	20
200	30	50	1,175	35	43	1,18	35	43
	35	43	1,18	41	37	1,19	42	36
	40	37,5	1,19	48	31	1,20	48	31
	45	33	1,20	54	28	1,21	54	28
	50	30	1,20	60	25	1,22	61	25
Passos:		(1)	(2)	(3)	(4)	(2)	(3)	(4)

$$t = 7,5h/\bar{V}_{t'}(h)$$

$$\bar{V}_{t'}(h) = S_2(h)V_0$$

TABELA 5.2 – DETERMINAÇÃO DO INTERVALO DE TEMPO – CATEGORIA V

h (m)	V ₀ (m/s)	1ª aprox.	2ª aproximação			3ª aproximação		
		t' (s)	S ₂ (h)	\bar{V}_t' (h)	t' (s)	S ₂ (h)	\bar{V}_t'' (h)	t, t''' (s)
50	30	12,5	0,92	28	13	—	—	13
	35	10,5	0,95	33	11	—	—	11
	40	9	0,955	38	10	—	—	10
	45	8	0,96	43	9	—	—	9
	50	7,5	0,965	48	8	—	—	8
80	30	20	1,01	30	20	—	—	20
	35	17	1,02	36	17	—	—	17
	40	15	1,03	41	15	—	—	15
	45	13	1,04	47	13	—	—	13
	50	12	1,04	52	12	—	—	12
100	30	25	1,03	31	24	—	—	24
	35	21,5	1,055	37	20	—	—	20
	40	19	1,05	42	18	—	—	18
	45	16,5	1,06	48	16	—	—	16
	50	15	1,07	54	14	—	—	14
120	30	30	1,05	32	28	1,04	31	29
	35	25,5	1,075	38	24	—	—	24
	40	22,5	1,09	44	20	1,10	44	20
	45	20	1,10	50	18	1,105	50	18
	50	18	1,105	55	16	1,11	56	16
160	30	40	1,09	33	36	1,10	33	36
	35	34	1,11	39	31	1,12	39	31
	40	30	1,12	45	27	1,14	46	26
	45	27	1,14	51	24	1,15	52	23
	50	24	1,15	58	21	1,14	57	21
200	30	50	1,14	34	44	1,145	34	44
	35	43	1,15	40	38	1,155	40	38
	40	38	1,16	46	33	1,17	47	32
	45	33	1,17	53	28	1,19	54	28
	50	30	1,18	59	25	1,20	60	25
Passos:		(1)	(2)	(3)	(4)	(2)	(3)	(4)

$$t = 7,5h/\bar{V}_t(h)$$

$$\bar{V}_t(h) = S_2(h)V_0$$

—estruturas especiais, para coberturas de grandes dimensões e, por suas características, sem capacidade acentuada de redistribuição de cargas;

—pavilhões industriais com pórticos auto-portantes, sem redistribuição de cargas horizontais entre eles.

Neste caso a dimensão horizontal a considerar será a dimensão entre juntas de dilatação ou uma dimensão que o engenheiro estruturista definir como conveniente.

Exemplificaremos com duas cúpulas esféricas, para as quais não há o problema de juntas.

1º Exemplo — Terreno: categoria IV. Altura da cúpula, $h = 100\text{m}$. Diâmetro da base da cúpula, $d = 200\text{m}$. $V_0 = 45\text{m/s}$.

1—Tomar, como primeira aproximação, $V = V_0$ e determinar $t = t'$ pela (3.6) com $d = h = 200\text{m}$, ou pela Fig. 3.5: $V_t = V_0 = 45\text{m/s}$; $t' = 7,5 \cdot 200/45 = 33\text{s}$.

2—Conhecido t' , obter $S_2(h)$ da tabela da NBR-6123, categoria IV: $S_2(100) = 1,03$.

3—Calcular $V_t(h) = S_2(h)V_0$: $V_t(100) = 1,03 \cdot 45 = 46\text{m/s}$

4— $t'' = 7,5 \cdot 200/46 = 33\text{s} = t'$.

Portanto, $t = 33\text{s}$.

2º Exemplo — Terreno: categoria III. Altura da cúpula, $h = 60\text{m}$. Diâmetro da base da cúpula, $d = 200\text{m}$. $V_0 = 40\text{m/s}$.

1— $V_t = V_0 = 40\text{m/s}$; $t' = 7,5 \cdot 200/40 = 37,5\text{s}$ (ou da Fig. 3.5)

2—Da tabela da NBR-6123, categoria III: $S_2(60) = 1,005$

3— $V_t(60) = 1,005 \cdot 40 = 40\text{m/s}$

4— $t'' = 7,5 \cdot 200/40 = 37,5\text{s} = t'$.

Portanto, $t = 38\text{s}$.

6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

a) O vento natural pode ser considerado como formado por duas componentes: uma velocidade média que varia lentamente e uma flutuação aleatória em torno desta média (rajada). Do espectro de potência das rajadas conclui-se que estas duas componentes são separadas por um patamar de baixa energia, centrado em um período de cerca de meia hora.

A velocidade média, com variações lentas, é considerada constante para efeitos práticos. Conforme o critério de Davenport, esta velocidade média, que origina um esforço permanente sobre a edificação (solicitação estática), constitui a velocidade de referência (velocidade básica).

b) O grande problema no estudo da velocidade básica é a fixação de um intervalo de tempo razoável para calcular a velocidade média. Davenport inicialmente aconselhava média sobre um minuto (*fastest minute*) ou milha mais veloz (*fastest mile*). Por exemplo, 120mph significa duas milhas por minuto para o minuto mais veloz, ou meio minuto por milha, para a milha mais veloz (mede-se o tempo para que o vento percorra uma milha, sendo 1 milha = 1.609m).

Passou-se depois, com o estudo do espectro do vento, a recomendar valores entre cinco minutos e uma hora, principalmente entre 10 e 30 minutos. A razão principal é que a média calculada neste intervalo conta melhor a história do vento e inclui a energia das rajadas. Além disso, permite incluir temporais curtos. O espectro de rajada permite prever a probabilidade de rajadas repetidas e seus efeitos na estrutura.

É sem dúvida o melhor processo quando quisermos estudar o comportamento dinâmico da estrutura, o que é necessário em estruturas muito flexíveis, de longo período de vibração (acima de dois segundos), tais como pontes de grandes vãos, edifícios excepcionalmente altos, reservatórios elevados sobre suportes flexíveis, postes esbeltos para iluminação, torres de televisão e microondas, etc.

Entretanto, geralmente estamos mais interessados em determinar as forças estáticas do vento e a majoração destas forças pelo impacto de rajadas de curta duração. Para estes casos somos de opinião que, atualmente, para o Brasil, é melhor o critério defendido por Newberry: a velocidade básica mais recomendada é a da rajada máxima a 10m de altura. Desta se passa para as velocidades de cálculo por coeficientes apropriados, em função das dimensões da construção (fator de rajada). O erro será menor do que o oriundo ao passar de uma velocidade sobre um período muito maior, e distante daquele que interessa ao cálculo. Além do que aqui também influiria a sensibilidade do anemômetro para se estabelecer o fator de passagem de 1h, ou 30min, etc., para os poucos segundos que interessam ao cálculo dos casos usuais. Naturalmente, será necessário conhecer a sensibilidade dos anemômetros, a fim de fazer a correção para um tempo padrão.

c) A velocidade máxima de rajada depende de seu tempo de duração, t. Quanto menor sua duração, maior sua velocidade. O fator de rajada $F_r(t/T)$ é definido por:

$$F_r(t/T) = \bar{V}(t)/\bar{V}(T).$$

Para o gráfico da Fig. 4.4 teremos:

$$F_r(t/3s) = \bar{V}(t)/\bar{V}(3s).$$

Estamos usando aqui o termo *fator de rajada* em um sentido lato, podendo T ser menor ou maior que t.

d) Para as edificações correntes os intervalos de tempo já estão especificados na norma brasileira NBR-6123, redação de 1987. Na fixação destes valores foram também consideradas medidas feitas em edificações reais,^{49 a 51} que permitiram obter informações adicionais sobre as dimensões dos turbilhões que incidem nas edificações.

e) Em alguns casos de obras excepcionais poderá ser necessário verificar a possibilidade de turbilhões menores e de maior velocidade, atingindo a edificação em vários pontos, causarem esforços maiores do que um único turbilhão que envolva adequadamente toda a edificação.

Também torna-se necessário considerar características que originem pouca ou nenhuma continuidade estrutural ou redistribuição de cargas, como foi visto em 5.c.

f) Para efeitos estáticos, a velocidade de referência da norma brasileira NBR-6123 é a velocidade básica, V_0 , definida como a "velocidade de uma rajada de três segundos excedida na média uma vez em 50 anos, a dez metros acima do terreno, em campo aberto e plano".

Para efeitos dinâmicos, esta norma toma como velocidade de referência a velocidade correspondente a um intervalo de tempo de dez minutos.

g) Transcrevemos, a seguir, os itens da norma brasileira NBR-6123 que se referem a intervalo de tempo, em sua redação de 1987.

“5.3 — Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno: fator S_2

O fator S_2 considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração. Em ventos fortes em estabilidade neutra a velocidade do vento aumenta com a altura acima do terreno. Este aumento depende da rugosidade do terreno e do intervalo de tempo considerado na determinação da velocidade. Este intervalo de tempo está relacionado com as dimensões da edificação, pois edificações pequenas e elementos de edificações são mais afetados por rajadas de curta duração do que grandes edificações. Para estas é mais adequado considerar o vento médio calculado com um intervalo de tempo maior.”

“5.3.2 — Dimensões da edificação

A velocidade do vento varia continuamente e seu valor médio pode ser calculado sobre qualquer intervalo de tempo. Foi verificado que o intervalo mais curto das medidas usuais (três segundos) corresponde a turbilhões cujas dimensões envolvem convenientemente obstáculos de até 20 metros na direção do vento médio. Quanto maior o intervalo de tempo usado no cálculo da velocidade média, tanto maior a distância abrangida pelo turbilhão.

Para a definição das partes da edificação a considerar na determinação das ações do vento, é necessário considerar características construtivas ou estruturais que originem pouca ou nenhuma continuidade estrutural ao longo da edificação, tais como:

- edificações com juntas que separem 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.
- Foram escolhidas as seguintes classes de edificações, partes de edificações e seus elementos, com intervalos de tempo para cálculo da velocidade média de, respectivamente, 3, 5 e 10 segundos:

Classe A: 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 não exceda 20 metros.

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

Classe C: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 metros.

Para toda edificação ou parte de edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 80 metros, o intervalo de tempo correspondente poderá ser determinado de acordo com as indicações do anexo A.”

“A.2 – *Intervalo de tempo*

Para a determinação do intervalo de tempo, t , a usar na obtenção da velocidade média do vento que incide em uma edificação ou parte de edificação com a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal excedendo 80 metros, poderá ser utilizada a expressão

$$t = 7,5L/V_t(h)$$

sendo

L – altura ou largura da superfície frontal da edificação ou parte de edificação em estudo, adotando-se o maior dos dois valores;

$V_t(h)$ – velocidade média do vento sobre t segundos, no topo da edificação ou da parte de edificação em estudo –

$$V_t(h) = S_1 S_2(h) V_0.$$

O cálculo de $V_t(h)$ pode ser feito por aproximações sucessivas.”

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – NANNI, L.F. & RIERA, J.D. Estimativa de parâmetros, testes de aderência das distribuições de velocidades extremas de vento e temperaturas associadas e modelos de previsões. *Caderno Técnico CT.V-56*. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, Porto Alegre, 1983.
- 2 – BLESSMANN, J. O vento na engenharia estrutural – 1: parte – *Caderno de engenharia CE-10*. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, Porto Alegre, 1986.
- 3 – NEWBERRY, C.W. *Significant features of wind loading in relation to the design of structures*. Garston, Building Research Station, 1969. (Current Paper, CP49/69).
- 4 – DAVENPORT, A.G. *Wind loads on structures*. Ottawa, National Research Council of Canada, 1960. (Technical Paper of the Division of Building Research, 88).
- 5 – ESQUILLAN, N. Impressions et souhaits. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*. Ottawa, 1967, v.2, p.353-5.
- 6 – SCRUTON, C. e GIMPEL, G. *Memorandum on wind structure with reference to the wind pressure clauses of B.S. Code of Practice CP-3*. Teddington, National Physical Laboratory, 1958. (NPL/Aero/361).
- 7 – COHEN, E. & PERRIN, H. Design of multi-level guyed towers: wind loading. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers; Journal of Structural Division*. New York, N.Y., v.83, n.ST5, p.1-29, Sept. 1957.
- 8 – SHERLOCK, R.H. *Gust factors for the design of buildings*. *Memoires; Association Internationale de Ponts et Charpentes*, Zurich, v.8, p.207-36, 1947.
- 9 – GHASHWALA, S.K. Aerodynamics aspects of civil engineering. *Civil engineering and Public Works Review*, Londo , v.45, n.532, p.647, Oct. 1950.
- 10 – AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Task Committee on Wind Forces, New York. Wind forces on structures, final report. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*. New York, N.Y., v.126, p.1124-98, Oct. 1961.
- 11 – NEWBERRY, C.W., EATON, K.J. & MAYNE, J.R. Wind pressures on the Post Office Tower, London. In: THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Tokyo, 1971. Paper II.7, p.241-51.
- 12 – SFINTESCO, D. & WYATT, T.A. A proposed European code of practice: current work of the ECCS towards specification of the effect of wind on structures. In: FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Heathrow, 1975. p.643-54.

- 13 – SHIOTANI, M. & IWATANI, Y. Correlations of wind velocities in relation to the gust loadings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, 3, Tokyo, 1971. Paper I.6, p.57-68.
- 14 – DAVENPORT, A.G. Discussion of Paper 2. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*. Ottawa, 1967. v.2, p.389-91. Réplica de Davenport a Newberry.
- 15 – DAVENPORT, A.G. Rationale for determining design wind velocities. Proceedings of American Society of Civil Engineers. *Journal of Structural Division*. New York, N.Y., v.86, n.ST5, p.39-67, May 1960.
- 16 – DAVENPORT, A.G. The relationship of wind structure to wind loading. In: NATIONAL PHYSICAL LABORATORY, Symposium, 15, Teddington, 1963. *Proceedings*. London, Her Majesty's Stationery Office, 1965. p.54-102.
- 17 – DAVENPORT, A.G. The buffeting of large superficial structures by atmospheric turbulence. *Annals of the New York Academy of Sciences*, New York, N.Y., v.116, p.135-59, June 1964.
- 18 – DAVENPORT, A.G. The dependence of wind loads on meteorological parameters. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*. Ottawa, 1967. v.1, p.19-82.
- 19 – NEWBERRY, C.W. Discussion of Paper 2. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*. Ottawa, 1967. v.2, p.389-91.
- 20 – NEWBERRY, C.W.; EATON, K.J. & MAYNE, J.R. The nature of gust loading on tall buildings. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*. Ottawa, 1967. v.1, p.399-428.
- 21 – VICKERY, B.J. Discussion of Paper 15. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*. Ottawa, 1967. v.2, p.413-8.
- 22 – SCRUTON, C. & NEWBERRY, C.W. On the estimation of wind loads for buildings and structural design. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, London, v.25, p.97-126, June 1963.
- 23 – DAVENPORT, A.G. Proposal for wind loading standards – Draft. ISO Wind Load Committee, June 1987, e Proposed New International (ISO) Wind Load Standard – Draft, In: CONFERENCE ON WIND LOADS FOR CODES, ASCE, Kansas City, Nov. 1987, 16p.
- 24 – MEHTA, K.C. Wind Load Provisions ANSI A58.1-1982. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. *Journal of Structural Engineering*. New York, N.Y., v.110, n.4, p.769-84, Apr. 1984.
- 25 – COOK, N.J. *The designer's guide to wind loading of building structures – Part 1*. London, Butterworths, 1985.
- 26 – BRITISH STANDARD CODE OF PRACTICE. *Code of basic data for the design of buildings*. Chapter 5. Loading. Part 2. Wind Loads. London, British Standards Institution, 1972.
- 27 – VIEIRA FILHO, J.M.S. *Velocidades máximas do vento no Brasil*. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS. Tese M.Sc., set. 1975.
- 28 – PADARATZ, I.J. *Velocidade básica do vento no Brasil*. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS. Tese M.Sc., maio 1977.
- 29 – BRITISH STANDARD CODE OF PRACTICE. *Code of basic data for the design of buildings*. Chapter 5. Loading. London, British Standards Institution, 1952.
- 30 – SHELLARD, H.C. The estimation of design wind speeds. In: NATIONAL PHYSICAL LABORATORY, SYMPOSIUM, 16, Teddington, 1963. *Proceedings*. London, Her Majesty's Stationery Office, 1965, p.29-51.

- 31 – CREASY, L.C.; ADAMS, H.C. & LAMPITT, N. Museum Radio Tower, London. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. London, v.30, p.33-78, Jan. 1965.
- 32 – BLESSMANN, J. Estudo aerodinâmico da cúpula do Hotel Tropical de Manaus. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 14, Buenos Aires, 1970. *Anal.* Buenos Aires, 1970, v.2, p.273-304.
- 33 – RIJKOORT, P.J. & WIERINGA, J. Tower projects for meteorological boundary layer research in the Netherlands. In: CONFERENCE ON TOWER SHAPED STRUCTURES, Hague, 1969. *Proceedings*. Hague, 1969. p.21-32.
- 34 – SHELLARD, H.C. Results of some recent special measurements in the United Kingdom relevant to wind loading problems. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*, Ottawa, 1967, v.1, p.515-33.
- 35 – BUILDING RESEARCH STATION, Garston. *Wind loading on buildings – 1*. Garston, 1968. (Digest, 99).
- 36 – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. *Norma Brasileira NBR-6123*. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1978.
- 37 – SIMIU, E. Equivalent static wind loads for tall buildings design. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, 4, Heathrow, 1976, p.721-33.
- 38 – SIMIU, E. Estimation of extreme wind speeds – Application to the Philippines. In: *Building to resist the effect of wind*, 1977, v.2, p.1-12 (NBS Building Science Series 100).
- 39 – GREENWAY, M.E. An analytical approach to wind velocity gust factors. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Amsterdam, v.5, n.1-3, p.61-91, Oct. 1979.
- 40 – BUREAU DE CONTROLE POUR LA SÉCURITÉ DE LA CONSTRUCTION, Bruxelles. Étude de synthèse préparatoire à la révision des normes belges NBN 460, 01, 02 et 03. *L'action du vent sur les constructions*. Bruxelles, 1973.
- 41 – SACHS, P. *Wind forces in engineering*. 2.ed. Oxford, Pergamon Press, 1978.
- 42 – VELLOZZI, J. & COHEN, E. *Dynamic response of tall flexible structures to wind loading*. Washington, National Bureau of Standards, 1970. (Building Science Series 30), p.115-28.
- 43 – HOLLISTER, S.C. *The engineering interpretation of Weather Bureau records for wind loading on structures*. Washington, National Bureau of Standards, 1970. (Building Science Series 30), p.151-64.
- 44 – SCHUELLER, G.I. & PANGGABEAN, H. Probabilistic determination of design wind velocity in Germany. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, London, v.61, p.673-83, Dec. 1976.
- 45 – CHOI, C.C.E. Estimation of design wind speeds in Hong Kong – A probabilistic approach. In: REGIONAL CONFERENCE ON TALL BUILDINGS, Hong Kong, 1976, p.133-48.
- 46 – BLESSMANN, J. Determinação do intervalo de tempo e do perfil de velocidades médias do vento. *Revista Brasileira de Engenharia*, Caderno de Engenharia Estrutural, Rio de Janeiro, v.2, n.2, p.19-47, nov. 1984.
- 47 – BLESSMANN, J. Perfil de velocidades médias do vento. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 23, Buenos Aires, 1985, v.2, p.423-41.
- 48 – BLESSMANN, J. Proposta para uma lei geral do perfil vertical de velocidades médias do vento. *Caderno Técnico CT-64*, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, Porto Alegre, 1984.
- 49 – NEWBERRY, C.V.; EATON, K.J. & MAYNE, J.R. *Wind pressures on the Post Office Tower*. London. Garston, Building Research Station, 1971. (Current Paper CP 37/71.)

- 50 — NEWBERRY, C.V.; EATON, K.J. & MAYNE, J.R. *Wind loading on tall buildings*
— *Further results from Royex House*. Garston, Building Research Station, 1973.
(Current Paper CP 29/73.)
- 51 — NEWBERRY, C.V.; EATON, K.J. & MAYNE, J.R. *Wind pressure and strain measurements*
at the Post Office Tower, Garston, Building Research Station, 1973. (Current
Paper CP30/73.)

A Nova Série Livro-Texto, da Editora da Universidade, traz de volta a idéia de que os professores não dispõem, muitas vezes, de obras condizentes com suas necessidades específicas de sala de aula. A ausência de bibliografia especializada, soma-se a pequena quantidade de textos específicos para uso pedagógico. O objetivo desta série é preencher um vazio editorial, enriquecendo o processo de aprendizagem com livros que atendam as carências das múltiplas áreas de conhecimento.

BASIC para jovens: introdução à informática / 1

Magda Bercht e Newton Braga Rosa

Este livro está escrito de forma coloquial, direta e simples, visando facilitar o auto-aprendizado da linguagem BASIC pelos não-iniciados. *BASIC para jovens* foi projetado para ser usado junto com um microcomputador. Conforme a experiência dos autores, o estudante pode progredir no seu próprio ritmo, dispensando a presença constante do professor; em 12 horas de trabalho, em média, vencerá todo o conteúdo, se sentirá seguro para elaborar pequenos programas e motivado para estudos mais avançados.

Dance aprendendo, aprenda dançando / 2

Morgada Cunha

A dança criativa possui características, valores e finalidades eminentemente educativas, por isso ela deveria integrar currículos escolares desde a pré-escola até a universidade. Seus conteúdos típicos são perfeitamente adaptáveis a qualquer nível de ensino, o que viria a complementar as atividades ginásticas, lúdicas, esportivas e recreativas, que via de regra integram a disciplina de Educação Física ministrada em nossas escolas.

Introdução à lógica elementar (com o símbolo de Hilbert) / 3

Rejane Carrion e Newton C.A. da Costa

A teoria dos operadores que formam termos ligando variáveis de fórmulas tem sido muito desenvolvida e encontrado aplicações diversas. O caráter não trivial das técnicas para se estudar o símbolo de Hilbert torna patente o significado profundo das noções da lógica hodierna. Acharmos então que uma introdução à lógica fundada no símbolo de Hilbert associado à lógica elementar afigura-se conveniente.

PRÓXIMO LANÇAMENTO

Manual LOGO

Lucila Maria Costi Santarosa (coord.), Maria Eunice Garrido Barbieri, Rosângela Kisiolar Machado e Renato Albano Petersen Filho

Trabalho desenvolvido pela equipe de pesquisadores, professores e monitores do Projeto EDUCOM, da Faculdade de Educação da UFRGS. Tem como propósito suprir a falta de um manual que facilite a aprendizagem pela criança da linguagem LOGO.



A publicação desta obra conta com o patrocínio da Secretaria de Ensino Superior, através do Programa de Estímulo do Trabalho Intelectual das IES-Federais



IMPRESSO NA
GRÁFICA E EDITORA NBS Ltda.
Baronesa do Gravataí, 123
Fones: 26-5925 e 28-1001
90.050 Porto Alegre - RS

Composição:
K&M - Composição, Arte e Revisão Ltda.
Av. Vicente Monteggia, 1505 - Fone: 49-7071
Porto Alegre-RS

Série ENGENHARIA ESTRUTURAL

Joaquim Blessmann

1. Ação do vento em cúpulas

*Ensaios em outros países;
ensaios no Brasil;
normas e comparação de resultados;
conclusões.*

2. Acidentes causados pelo vento

*Causas aerodinâmicas
e estruturais dos acidentes;
exemplos de acidentes;
torres e linhas de transmissão;
conclusões e recomendações.*

3. Intervalo de tempo para cálculo da velocidade básica do vento

*Fatores a considerar;
intervalo de tempo;
mudança de intervalo de tempo;
exemplos;
conclusões e recomendações.*

4. Considerações sobre alguns tópicos para uma norma de vento

Ações locais;

*inclinação do telhado;
forma e proporções da construção;
interação e proteção;
resumo.*

5. Pressão interna

*Ensaios: permeabilidade das paredes e lanternins;
cálculo da pressão interna;
normas;
conclusões e recomendações.*

6. Tópicos de normas de vento

*Pressão dinâmica;
forças devidas ao vento;
reticulados;
coberturas planas isoladas;
anexo (NBR-6123).*

7. Ação do vento em edifícios

*Aerodinâmica: ação estática do vento;
efeitos nocivos do vento;
aplicações da NBR-6123.*

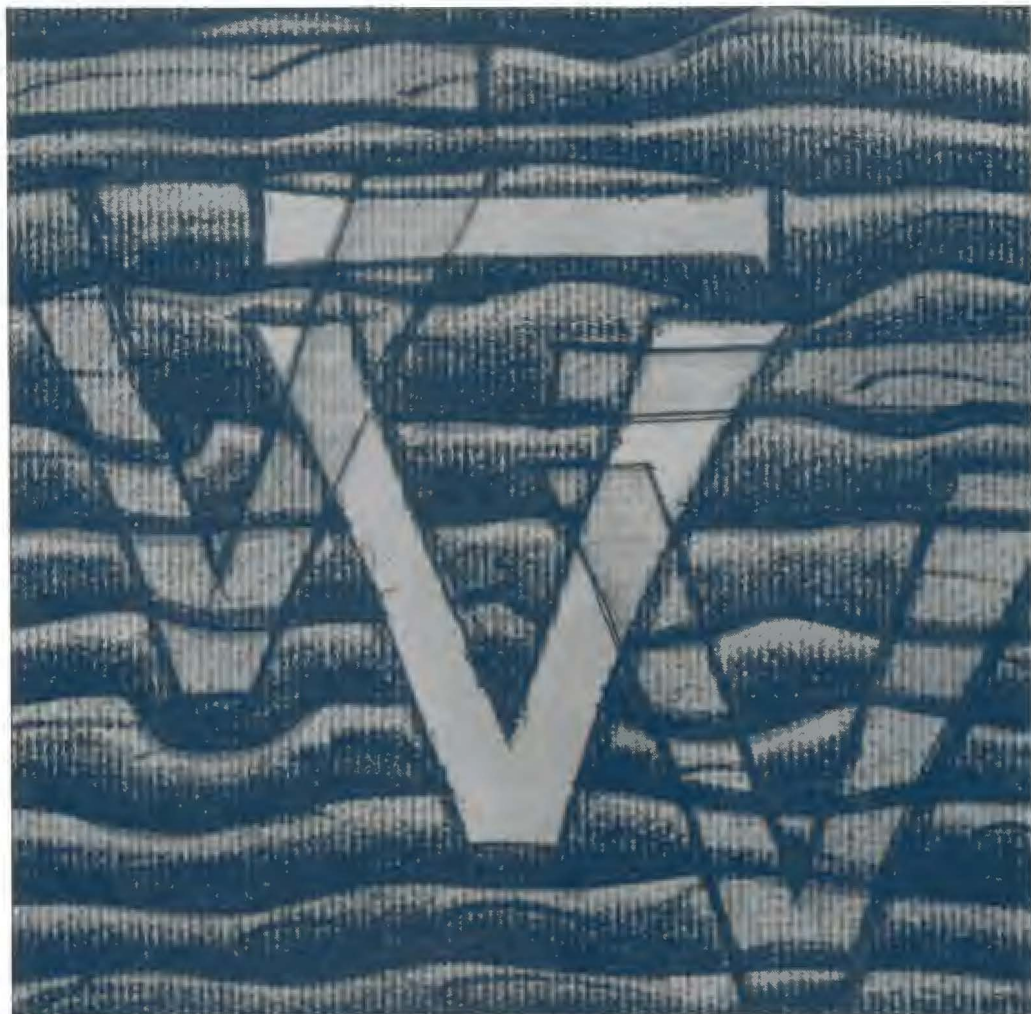
8. Aerodinâmica das construções

*Noções de aerodinâmica aplicáveis à engenharia civil;
efeitos estáticos do vento em sólidos simples.*

Série Engenharia Estrutural

Joaquim Blessmann

1. Ação do vento em cúpulas
2. Acidentes causados pelo vento
3. Intervalo de tempo para cálculo da velocidade básica do vento
4. Considerações sobre alguns tópicos para uma norma de vento
5. Pressão interna
6. Tópicos de normas de vento
7. Ação do vento em edifícios
8. Aerodinâmica das construções



Editora
da Universidade

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

ISBN 85-7025-169-6