

PPPGEC EPUSP

PEF 6007 2023 3

DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

Prof. Dr. Reyolando M.L.R.F. Brasil

Professor Livre Docente

Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica

2023

Referências Bibliográficas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6123/1988 – Forças Devidas ao Vento em Edificações, Rio de Janeiro.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7190/1997 – Projeto de Estruturas de Madeira, Rio de Janeiro.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 8681/1984 – Ações e Segurança nas Estruturas, Rio de Janeiro.

MOLITERNO, A. *Caderno de Projetos de Telhados em Estruturas de Madeira*, Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1980.

PFEIL, W., PFEIL, M.S. *Estruturas de Madeira, 6a Edição*, LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora AS, Rio de Janeiro, 2003.

PPGEC EPUSP

PEF 6007 2023 3

DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

Efeito do Vento sobre Estruturas de Madeira

1. Introdução

O vento nada mais é que o movimento de massas de ar devido às variações de aquecimento delas pelo sol. Certas regiões são mais aquecidas e o ar sobe, sendo substituído por outras massas de ar mais frio que para lá se dirigem a certas velocidades. Como essas massas de ar em movimento sofrem atrito com a superfície da terra, as velocidades também variam com a altura, crescendo até atingirem altitudes em que são mais ou menos constantes.

Quando uma estrutura é colocada no caminho do fluxo de um fluido, muitos fenômenos complexos acontecem. Forças aerodinâmicas de magnitude e direções variáveis atuam sobre a estrutura. Tais fenômenos são considerados os mais complicados problemas de dinâmica dos fluidos ainda em aberto para pesquisa e temos que nos contentar em usar modelos bastante primitivos para análise de seus efeitos.

Quando uma massa é colocada em movimento linear ou em rotação, ela adquire Energia Cinética. Podemos lembrar da Física elementar que a Energia Cinética é a metade do produto da massa pela sua velocidade ao quadrado.

O vento, portanto, também possui energia cinética em virtude da massa de ar que foi posta em movimento. Se um corpo ou estrutura é colocado em seu caminho, toda ou parte de sua energia cinética é transformada em pressão sobre a superfície da estrutura. A intensidade da pressão num ponto dessa superfície é função da FORMA do obstáculo, o ÂNGULO de incidência do vento, a VELOCIDADE do vento.

De uma forma bastante óbvia, a pressão, como a energia cinética, varia com o quadrado da velocidade do vento. Este é o primeiro conceito importante: a pressão NÃO é proporcional à velocidade do vento. Ela cresce muito mais rapidamente que ela.

O segundo conceito é que a massa em movimento pode ser desviada pela estrutura de formas diferentes, conforme o ângulo com que ela atinge a estrutura, resultando em intensidade de pressão diferentes (como no caso sempre comum de coberturas inclinadas). De qualquer forma, a pressão do vento é sempre perpendicular à superfície em que atua.

E, principalmente, a forma da estrutura, sua rugosidade, a presença de outros corpos na imediação e muitos outros fatores afetam a pressão.

Assim, a pressão devida ao vento pode ser estimada por um coeficiente de pressão vezes a massa do ar e a velocidade do vento ao quadrado.

$$p = \frac{1}{2} \rho c_p V^2 \quad \text{Unidades: } p \text{ (N/m}^2\text{)} = \rho \text{ (kg/m}^3\text{)} V^2 \text{ (m}^2\text{/s}^2\text{)}$$

onde, c_p é o coeficiente de pressão, que leva em conta a forma, o ângulo de incidência do vento e outros fatores, ρ é a massa específica do ar (kg/m^3) e V a velocidade do vento.

No estado presente de conhecimento da ciência e da tecnologia, modelos teóricos são inadequados para determinar esse coeficiente de pressão, a não ser para as mais elementares formas simétricas. Tão complexas e assimétricas são as formas das construções e suas orientações com respeito às variáveis direções do vento que soluções matemáticas para a distribuição das pressões sobre elas é ainda completamente fora de questão.

Com vistas a essas dificuldades, temos que nos valer de meios experimentais como ensaios em túnel de vento para determinar os coeficientes de pressão.

Felizmente, para os tipos mais usuais de construções, esses coeficientes já foram determinados e estão disponíveis nas Normas. No Brasil, a NBR 6123.

2. Cargas estáticas equivalentes da Norma

A norma NBR6123 (1988) fornece diretrizes para se determinar forças estáticas equivalentes devidas ao vento em edificações dentro de um contexto mais geral. Pretende-se, portanto, discriminar os principais pontos relacionados fornecidos pela norma brasileira, completando com as sugestões deste curso. Não se pretende esgotar o assunto dado à sua complexidade, mas fornecer subsídios para trabalhos futuros na área.

Esta seção traz um procedimento de projeto para o cálculo das forças estáticas equivalentes do vento e seus efeitos em estruturas. A seção é separada em duas partes: a primeira parte refere-se aos parâmetros meteorológicos como a velocidade do vento, rugosidade do terreno e topografia; a segunda parte refere-se à determinação dos coeficientes de pressão.

Para isso, seguem-se as recomendações da norma NBR6123. Não é objetivo estudar o mérito de todos os coeficientes da norma referenciadas, apenas são usados no procedimento de cálculo, admitindo-se sua valia.



ABNT-Associação
Brasileira de
Normas Técnicas

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
CEP 20003 - Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: FAEK (021) 210-3122
Telex: (021) 34333 ABNT - BR
Endereço Telegráfico:
NORMATECNICA

Copyright © 1988,
ABNT-Associação Brasileira de
Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

JUN 1988

NBR 6123

Forças devidas ao vento em edificações

Procedimento

Origem: Projeto NB-599/1987
CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil
CE-02:003.16 - Comissão de Estudo de Forças Devidas ao Vento em Edificações
NBR 6123 - Building construction - Bases for design of structures - Wind loads -
Procedure
Descriptors: Wind, Edification
Incorpora a Errata nº 1 de DEZ 1990
Reimpressão da NB-599 de DEZ 1987

Palavras-chave: Vento, Edificação

66 páginas

SUMÁRIO

- 1 Objetivo
- 2 Convenções literais
- 3 Definições
- 4 Procedimento para o cálculo das forças devidas ao vento nas edificações
- 5 Velocidade característica do vento
- 6 Coeficientes aerodinâmicos para edificações correntes
- 7 Coeficientes de forças para barras prismáticas e reticulados
- 8 Coeficientes de forças para muros, placas e coberturas isoladas
- 9 Efeitos dinâmicos devidos à turbulência atmosférica
- ANEXO A - Velocidade normalizada S_z e intervalos de tempo
- ANEXO B - Fator estatístico S_p para a probabilidade P_m e vida útil de edificação de m anos
- ANEXO C - Localização e altitude das estações meteorológicas
- ANEXO D - Determinação do coeficiente de pressão interna
- ANEXO E - Coeficientes aerodinâmicos para coberturas curvas
- ANEXO F - Informações adicionais
- ANEXO G - Efeitos de vizinhança
- ANEXO H - Efeitos dinâmicos em edificações esbeltas e flexíveis
- ANEXO I - Determinação da resposta dinâmica devida à turbulência atmosférica
- Índice

1 Objetivo

1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações.

1.2 Esta Norma não se aplica a edificações de formas, dimensões ou localização fora do comum, casos estes em que estudos especiais devem ser feitos para determinar as forças atuantes do vento e seus efeitos. Resultados experimentais obtidos em túnel de vento, com simulação das principais características do vento natural, podem ser usados em substituição do recurso aos coeficientes constantes nesta Norma.

2 Convenções literais

Para os efeitos desta Norma são adotadas as convenções literais de 2.1 a 2.3.

2.1 Letras romanas maiúsculas

- A - Área de uma superfície plana sobre a qual é calculada a força exercida pelo vento, a partir dos coeficientes de forma C_e e C_s (força perpendicular à superfície) e do coeficiente de atrito C_r (força tangente à superfície)

Área de referência para cálculo dos coeficientes de força

- A_e - Área frontal efetiva: área da projeção ortogonal da edificação, estrutura ou elemento estrutural sobre um plano perpendicular à direção do vento ("área de sombra"); usada no cálculo do coeficiente de arrasto

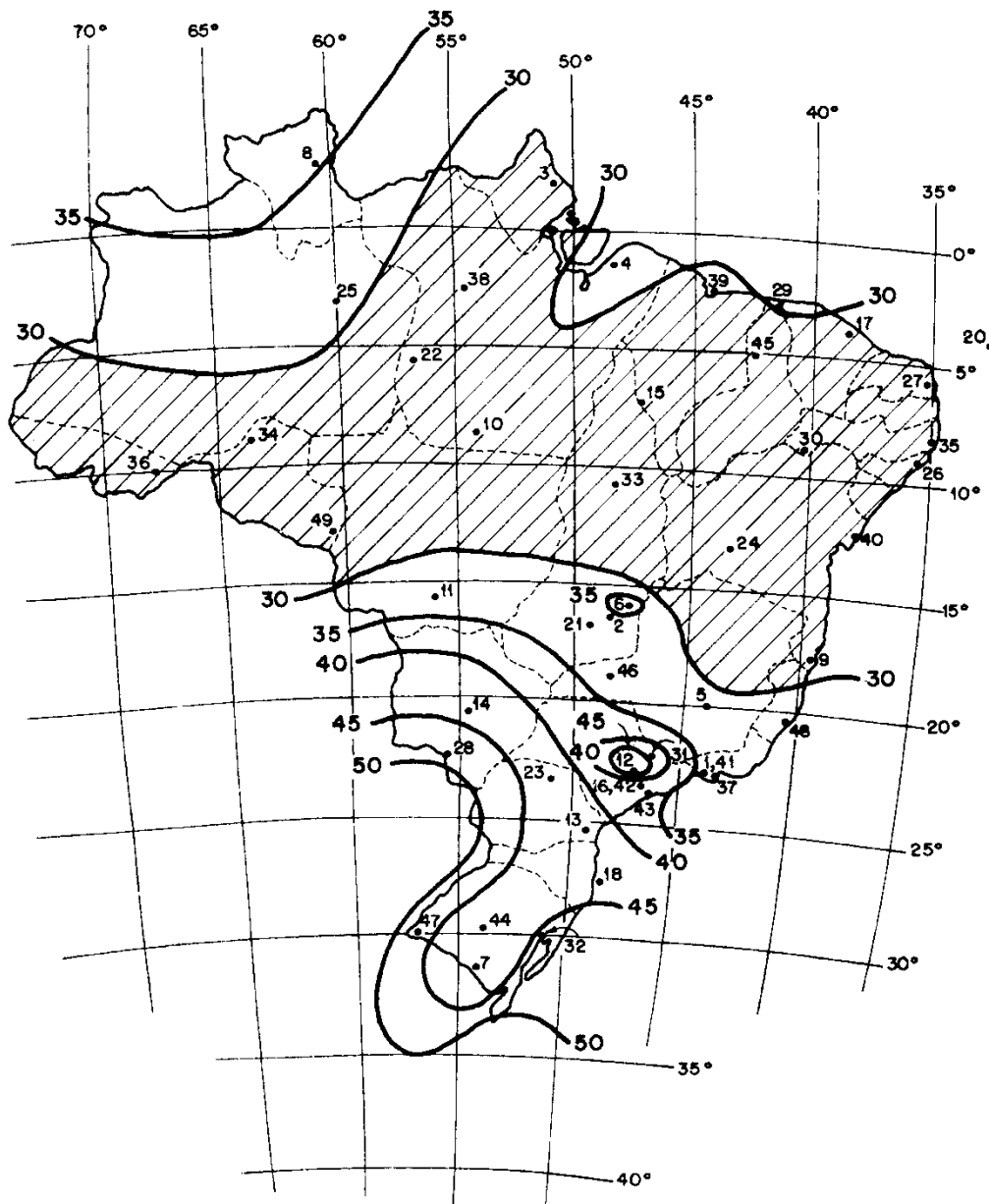


Figura 1 - Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s) (NBR 6123/1988)

V_0 : máxima velocidade média sobre 3 s, que pode ser excedida em média uma vez em 50 anos, a 10m sobre o nível do terreno em lugar aberto e plano.

2.1. Fatores que afetam a velocidade característica

Os fatores meteorológicos são determinados a partir da norma NBR6123/1988. Nesse assunto, muito há ainda por fazer para aprimorar os dados existentes, como uma atualização das medidas da velocidade básica do vento no território nacional. Ela é definida como a velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do solo em campo aberto e plano. As isopletas de velocidade básica, Figura 1, retirada da NBR6123/88, permitem sua determinação.

A velocidade característica é determinada por:

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3$$

onde S_1 é o fator topográfico; S_2 depende da rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno; e S_3 é o fator estatístico. Esses fatores são determinados a partir das recomendações da NBR6123/1988.

O fator topográfico S_1 leva em consideração o aumento da velocidade do vento na presença de morros e taludes, mas não considera a diminuição da turbulência com o aumento da velocidade do vento. A turbulência é importante para a determinação da resposta dinâmica de estruturas esbeltas. São necessários novos estudos experimentais e numéricos para determinar essa diminuição da intensidade de turbulência causada pela presença de aclives. Este coeficiente vale 1,0 para terreno plano ou fracamente acidentado, 0,9 para vales profundos, protegidos pelo vento, e sofre uma variação para construções à beira de taludes e morros, segundo **Figura 2** da Norma.

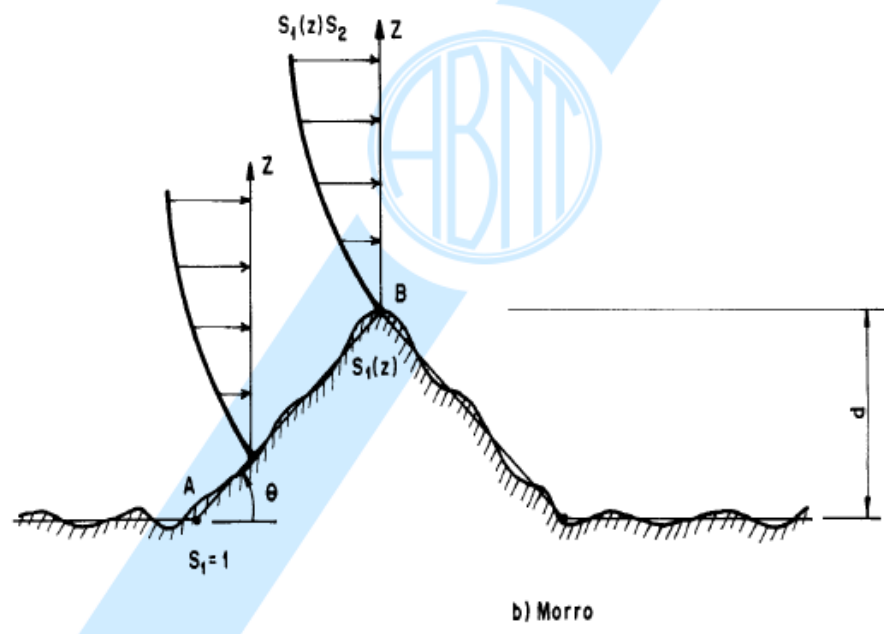
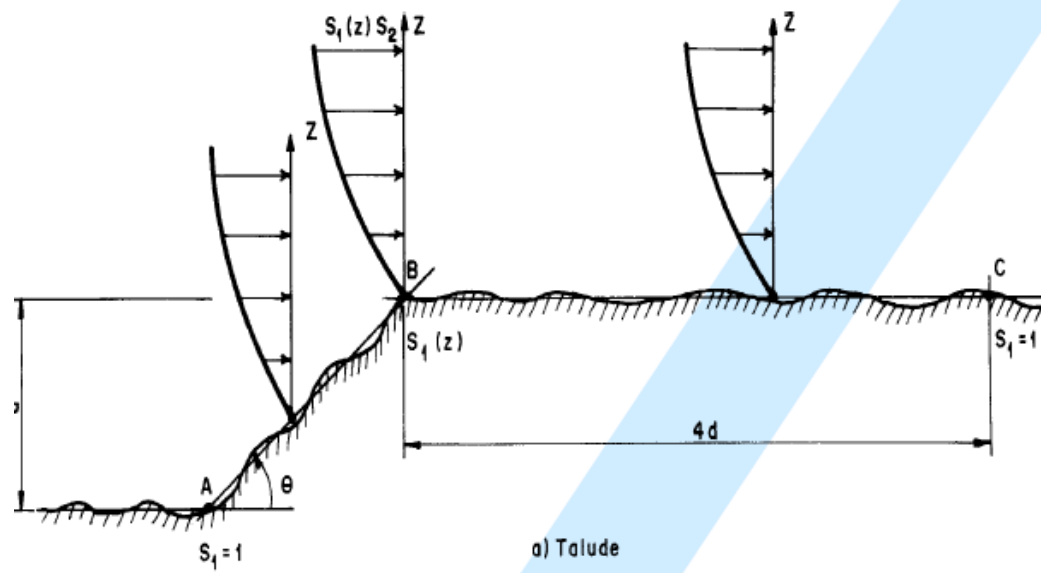


Figura 2 - Fator topográfico $S_1(z)$

O fator S_2 leva em consideração o perfil de velocidade do vento na atmosfera conforme a altura da construção e do tipo de terreno. A norma brasileira separa rugosidade do terreno em 4 categorias: categoria I, superfícies lisas de grandes dimensões; categoria II, terrenos abertos com poucos obstáculos; categoria III, terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros; categoria IV, terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados; e categoria V, terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. O fator S_2 também considera a duração da rajada para que o vento englobe toda a estrutura. Nesse caso a norma brasileira fornece três tipos de edificações: classe A - edificações menores que 20 metros, ou unidades de vedação (duração da rajada de 3 segundos); classe B - edificações entre 20 e 50 metros (duração da rajada de 5 segundos); e classe C – Dimensões da edificação maiores que 50 metros (rajadas de 10 segundos). A variação da pressão do vento ao longo da altura se deve à variação do fator S_2 obtida pela expressão

$$S_2 = b.F_r \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (11)$$

onde:

- b , p : parâmetros meteorológicos obtidos na Tabela 21 do Anexo A;
- F_r : fator de rajada referente à Categoria II de terreno, Tabela 21, Anexo A;

Tabela 21 –Parâmetros b, p, F_r , Π

Cat.	t(s)	3	5	10	15	20	30	45	60	120	300	600	3600
I	b	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25
	p	0,06	0,065	0,07	0,075	0,075	0,08	0,085	0,085	0,09	0,095	0,095	0,10
II	b	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	p	0,085	0,09	0,10	0,105	0,11	0,115	0,12	0,125	0,135	0,145	0,15	0,16
	F_r	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,87	0,84	0,82	0,77	0,72	0,69	0,65
III	b	0,94	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85
	p	0,10	0,105	0,115	0,125	0,13	0,14	0,145	0,15	0,16	0,175	0,185	0,20
IV	b	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,80	0,79	0,76	0,73	0,71	0,68
	p	0,12	0,125	0,135	0,145	0,15	0,16	0,17	0,175	0,195	0,215	0,23	0,25
V	b	0,74	0,73	0,71	0,70	0,69	0,67	0,64	0,62	0,58	0,53	0,50	0,44
	p	0,15	0,16	0,175	0,185	0,19	0,205	0,22	0,23	0,255	0,285	0,31	0,35

A Tabela 2 da Norma dá uma idéia dos valores da NBR 6123, para velocidade média medida em 3 segundos. A Tabela 22, Anexo A, é mais completa, considerando várias durações de rajadas. Nota-se nessas Tabelas que S_2 é considerado constante para z entre 0 e 5,0 m, nas Categorias I a IV e entre 0 a 10,0 m na Categoria V. Nas quatro primeiras porque a turbulência causada pela rugosidade do terreno e as trocas térmicas em certos tipos de ventos violentos fazem com que a velocidade do vento seja aumentada junto ao terreno. Na Categoria V, a estas causas deve ser adicionada a deflexão do vento para baixo, causada por obstáculos de grande altura, originando altas velocidades médias próximo ao terreno.

S_3 é o fator estatístico que considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. A Tabela 3 da Norma dá uma idéia dos valores.

Tabela 2 - Fator S_2

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

Tabela 3 - Valores mínimos do fator estatístico S_3

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

Dispondo da velocidade característica, a pressão dinâmica é calculada, a partir da energia cinética, pela expressão:

$$q = 0,613 V_k^2$$

em unidades do SI, isto é, q em N/m^2 e V_k em m/s .

A seguir, calcula-se a força devida ao vento multiplicando essa pressão pela área em que atua e por um coeficiente de pressão (ou força, ou arrasto) adequado:

$$F = c_p q A$$

2.2. Coeficientes de pressão, de forma e de arrasto

Chegamos, agora, à parte mais empírica deste tema do efeito do vento sobre estruturas. A Norma é bastante falha no que diz respeito a coeficientes de pressão, forma ou arrasto para estruturas mais complexas. Ela remete ao óbvio, que seria a obtenção dos mesmos em ensaios de modelos em túneis de vento. Caso isso não seja economicamente viável temos que fazer adaptações mais ou menos confiáveis de tabelas que constam da Norma para outros fins ou de artigos publicados sobre ensaios feitos em outras estruturas semelhantes.

De qualquer forma, os coeficientes de pressão referem-se ao cálculo de pressões sobre superfícies quaisquer de estruturas tem a seguinte regra de sinais:

- 2 valores positivos dos coeficientes de pressão externa c_e ou interna c_i correspondem a sobrepressões, e valores negativos correspondem a sucções;
- 3 o coeficiente de pressão efetiva atuando sobre uma superfície é a diferença entre os coeficientes de pressão externa e a interna, isto é $c = c_e - c_i$;
- 4 um valor positivo para o coeficiente de pressão efetiva total indica uma pressão efetiva com o sentido de uma sobrepressão externa, e um valor negativo indica uma pressão efetiva com o sentido de uma sucção externa.


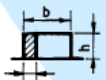

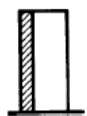
Os coeficientes de forma externos e internos permitem a determinação da força do vento em um elemento plano de edificação de área A atuando perpendicularmente a ela, com regras de sinais idênticas.

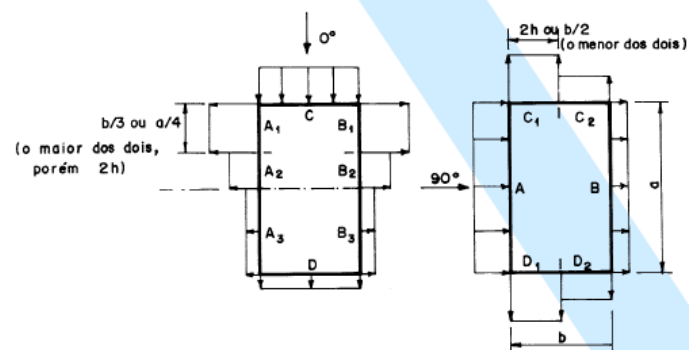
Já os coeficientes de arrasto, referem-se à força global do vento sobre uma edificação na direção do vento.

Esses coeficientes estão disponíveis nas Tabelas 4 a 17 e anexos D, E e F da Norma.

Coeficientes de forma e de pressão p/ paredes

Tabela 4 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular

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



Notas: a) Para a/b entre 3/2 e 2, interpolar linearmente.

b) Para vento a 0°, nas partes A_1 e B_1 , o coeficiente de forma C_e tem os seguintes valores:

- para a/b = 1: mesmo valor das partes A_2 e B_2 ;
- para a/b \geq 2: $C_e = -0,2$;
- para $1 < a/b < 2$: interpolar linearmente.

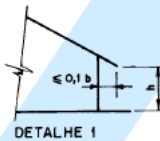
c) Para cada uma das duas incidências do vento (0° ou 90°), o coeficiente de pressão médio externo c_{pe} médio, é aplicado à parte de barlavento das paredes paralelas ao vento, em uma distância igual a 0,2 b ou h, considerando-se o menor destes dois valores.

d) Para determinar o coeficiente de arrasto, C_d , deve ser usado o gráfico da Figura 4 (vento de baixa turbulência) ou da Figura 5 (vento de alta turbulência - ver 6.5.3).

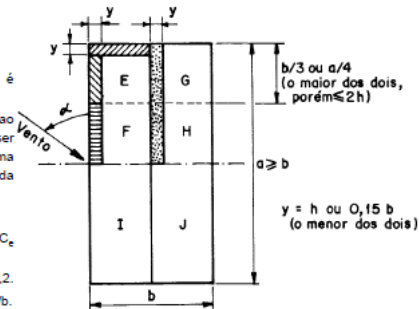
Coeficientes de forma e de pressão p/ telhado de 2 águas

Tabela 5 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular

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



- Notas: a) O coeficiente de forma C_e na face inferior do beiral é igual ao da parede correspondente.
 b) Nas zonas em torno de partes de edificações salientes ao telhado (chaminés, reservatórios, torres, etc.), deve ser considerado um coeficiente de forma $C_e = 1,2$, até uma distância igual à metade da dimensão da diagonal da saliência vista em planta.
 c) Na cobertura de lanternins, c_{pe} médio = - 2,0.
 d) Para vento a 0° , nas partes I e J o coeficiente de forma C_e tem os seguintes valores:
 $a/b = 1$: mesmo valor das partes F e H; $a/b \geq 2$: $C_e = - 0,2$.
 Interpolarmos linearmente para valores intermediários de a/b .



Coeficientes internos

6.2 Coeficientes de pressão interna

6.2.1 Se a edificação for totalmente impermeável ao ar, a pressão no seu interior será invariável no tempo e independente da velocidade da corrente de ar externa. Porém, usualmente as paredes e/ou a cobertura de edificações consideradas como fechadas, em condições normais de serviço ou como consequência de acidentes, permitem a passagem do ar, modificando-se as condições ideais supostas nos ensaios. Enquanto a permeabilidade não ultrapassar os limites indicados em 6.2.3, pode ser admitido que a pressão externa não é modificada pela permeabilidade, devendo a pressão interna ser calculada de acordo com as especificações dadas a seguir.

6.2.2 Para os fins desta Norma, são considerados impermeáveis os seguintes elementos construtivos e vedações: lajes e cortinas de concreto armado ou protendido; paredes de alvenaria, de pedra, de tijolos, de blocos de concreto e afins, sem portas, janelas ou quaisquer outras aberturas. Os demais elementos construtivos e vedações são considerados permeáveis. A permeabilidade deve-se à presença de aberturas, tais como juntas entre painéis de vedação e entre telhas, frestas em portas e janelas, ventilações em telhas e telhados, vãos abertos de portas e janelas, chaminés, lanternins, etc.

6.2.3 O índice de permeabilidade de uma parte da edificação é definido pela relação entre a área das aberturas e a área total desta parte. Este índice deve ser determinado com toda a precisão possível. Como indicação geral, o índice de permeabilidade típico de uma edificação para moradia ou escritório, com todas as janelas e portas fechadas, está compreendido entre 0,01% e 0,05%. Para aplicação dos itens de 6.2, excetuando-se o caso de abertura dominante, o índice de permeabilidade de nenhuma parede ou água de cobertura pode ultrapassar 30%. A determinação deste índice deve ser feita com prudência, tendo em vista que alterações na permeabilidade, durante a vida útil da edificação, podem conduzir a valores mais nocivos de carregamento.

6.2.4 Para os fins desta Norma, a abertura dominante é uma abertura cuja área é igual ou superior à área total das outras aberturas que constituem a permeabilidade considerada sobre toda a superfície externa da edificação (incluindo a cobertura, se houver forro permeável ao ar ou na ausência de forro). Esta abertura dominante pode ocorrer por acidente, como a ruptura de vidros fixos causada pela pressão do vento (sobrepessão ou sucção), por objetos lançados pelo vento ou por outras causas.

6.2.5 Para edificações com paredes internas permeáveis, a pressão interna pode ser considerada uniforme. Neste caso, devem ser adotados os seguintes valores para o coeficiente de pressão interna c_{pi} :

a) duas faces opostas igualmente permeáveis; as outras faces impermeáveis:

- vento perpendicular a uma face permeável:
 $c_{pi} = + 0,2$;

- vento perpendicular a uma face impermeável:
 $c_{pi} = - 0,3$;

b) quatro faces igualmente permeáveis: $c_{pi} = - 0,3$ ou 0 (considerar o valor mais nocivo);

c) abertura dominante em uma face; as outras faces de igual permeabilidade:

- abertura dominante na face de barlavento.

Proporção entre a área de todas as aberturas na face de barlavento e a área total das aberturas em todas as faces (paredes e cobertura, nas condições de 6.2.4) submetidas a sucções externas:

1 $c_{pi} = + 0,1$

1,5 $c_{pi} = + 0,3$

2 $c_{pi} = + 0,5$

3 $c_{pi} = + 0,6$

6 ou mais $c_{pi} = + 0,8$

- abertura dominante na face de sotavento.

Adotar o valor do coeficiente de forma externo, C_{fe} , correspondente a esta face (ver Tabela 4).

- abertura dominante em uma face paralela ao vento.

- abertura dominante não situada em zona de alta sucção externa.

Adotar o valor do coeficiente de forma externo, C_{fe} , correspondente ao local da abertura nesta face (ver Tabela 4).

- abertura dominante situada em zona de alta sucção externa.

Proporção entre a área da abertura dominante (ou área das aberturas situadas nesta zona) e a área total das outras aberturas situadas em todas as faces submetidas a sucções externas:

0,25 $c_{pi} = - 0,4$

0,50 $c_{pi} = - 0,5$

0,75 $c_{pi} = - 0,6$

1,0 $c_{pi} = - 0,7$

1,5 $c_{pi} = - 0,8$

3 ou mais $c_{pi} = - 0,9$

Zonas de alta sucção externa são as zonas hachuradas nas tabelas 4 e 5 (C_{pe} médio).

6.2.6 Para edificações efetivamente estanques e com janelas fixas que tenham uma probabilidade desprezável de serem rompidas por acidente, considerar o mais nocivo dos seguintes valores:

$$c_{pi} = - 0,2 \text{ ou } 0$$

6.2.7 Quando não for considerado necessário ou quando não for possível determinar com exatidão razoável a relação de permeabilidade de 6.2.5-c), deve ser adotado para valor do coeficiente de pressão interna o mesmo valor do coeficiente de forma externo, C_{fe} (para incidência do vento de 0° e de 90°), indicado nesta Norma para a zona em que se situa a abertura dominante, tanto em paredes como em coberturas.

6.2.8 Aberturas na cobertura influirão nos esforços sobre as paredes nos casos de forro permeável (porosidade natural, alçapões, caixas de luz não-estanques, etc.) ou inexistente. Caso contrário, estas aberturas vão interessar somente ao estudo da estrutura do telhado, seus suportes e sua cobertura, bem como ao estudo do próprio forro.

6.2.9 O valor de c_{pi} pode ser limitado ou controlado vantajosamente por distribuição deliberada de permeabilidade nas paredes e cobertura, ou por dispositivo de ventilação que atue como abertura dominante em uma posição com valor adequado de pressão externa. Exemplos de tais dispositivos são:

- cumeeiras com ventilação em telhados submetidos a sucções para todas as orientações do vento, causando redução da força ascensional sobre o telhado;

- aberturas permanentes nas paredes paralelas à direção do vento e situadas próximas às bordas de barlavento (zonas de altas sucções externas), causando redução considerável da força ascensional sobre o telhado.

6.2.10 No campo de aplicação da Tabela 9, para o cálculo das forças devidas ao vento na parede de uma edificação cilíndrica, quando esta for de topo(s) aberto(s), devem ser adotados os seguintes valores para c_{pi} :

$$h/d \geq 0,3 \dots\dots\dots c_{pi} = - 0,8$$

$$h/d < 0,3 \dots\dots\dots c_{pi} = - 0,5$$

6.2.11 Para casos não considerados de 6.2.5 a 6.2.7, o coeficiente de pressão interna pode ser determinado de acordo com as indicações contidas no Anexo D.