

CARGAS ESTRUTURAIS

ESTRUTURAS

=

**EDIFICAÇÕES, INCLUINDO
EQUIPAMENTOS E DEPENDÊNCIAS
DENTRO
E EM VOLTA DELAS**

PESO ESPECÍFICO

O Peso Específico é definido como o peso por unidade de volume. No SI a unidade é: N/m^3 .

É calculado multiplicando-se a massa vololumétrica do material (kg/m^3) pela aceleração da gravidade (m/s^2).

Descrições:

Peso Específico - Peso (ou Massa) por unidade de volume de um determinado material. Para uma aceleração da gravidade igual a 9.80665 m/s^2 (nível do mar) o Peso Específico é igual à Massa Específica ou Densidade

P - Peso, em kgf

V - Volume, em m^3

- Peso específico (Densidade), em kg/m^3

O que é Peso Específico?

O conceito é definido como o índice que mede o maior peso por unidade de volume de um determinado material.

Vamos dar um exemplo prático:

Se fizermos uma caixa quadrada que tenha 1(um) metro de altura por 1 (um) metro de comprimento por 1(um) metro de profundidade, teremos então uma caixa cujo o volume é 1m^3 (um metro cúbico).

Agora vamos colocar essa caixa em uma balança e encher com algum material sem mistura.

Primeiro vamos encher essa caixa com água até o seu limite máximo, a balança vai registrar 1.000 kg (mil quilogramas), por tanto o peso específico da água é $1000\text{kg}/\text{m}^3$, ou seja, podemos dizer que essa é a densidade da água.

Agora vamos pesar o **concreto armado**:

Mesmo processo de encher a caixa e veremos que a balança vai registrar 2500 kg. Por tanto, podemos afirmar que o peso específico do concreto armado é $2500\text{kg}/\text{m}^3$, ou seja, essa é a sua densidade.

Se quisermos saber a densidade ou peso específico de qualquer material é só repetir o processo. Se você desejar obter mais informações sobre esse assunto pesquise em livros técnico de engenharia lá já existem tabelas que mostram valores de vários materiais.

- O Estudo estrutural começa com a determinação das **CARGAS**, durante o projeto e tem com base os limites das **CARGAS** previstas;
- Inclui ainda a análise das propriedades, aplicações e uso dos materiais envolvidos;
- Na escolha dos materiais considera-se: Tipo, classificação, custo e disponibilidade, associados com resistência, durabilidade, manutenção, aparência e facilidade de limpeza, dentre outros.

Cargas permanentes, acidentais e devido ao vento

- As cargas que agem sobre as edificações rurais são, em geral, de um dos três tipos:
 1. Permanentes,
 2. Acidentais e
 3. Devido ao vento.
 - As cargas permanentes são aquelas correspondentes ao peso próprio dos elementos estruturais e por todas as sobrecargas fixas.
 - As cargas acidentais são aquelas que podem atuar sobre a estrutura de edificações em função do seu uso (produtos, pessoas, veículos, equipamentos, etc.)
 - As cargas devido ao vento dependem do clima.

- Os valores de cargas acidentais considerados para edificações rurais podem diferir daqueles empregados para construções urbanas. Normalmente estes valores são menores por considerar o nível de importância do elemento abrigado - por exemplo, máquinas quando comparadas com alunos em uma escola.
- A atuação das cargas em edificações rurais é complexa.
As cargas impostas pelos ventos dependem do local, altura, forma e inclinação dos telhados.
As cargas acidentais recomendadas variam também com a vida útil e uso da estrutura, além de ter que considerar o risco de vidas humanas.

- Todo elemento estrutural deve ser calculado e projetado para suportar uma das seguintes combinações de cargas:
 - * Permanentes + acidentais,
 - * Permanentes + acidentais + vento, ou
 - * outra combinação necessária.

QUADRO 1
Peso específico de vários produtos (kg/m³)

Produto	kg/m ³	Produto	kg/m ³
Ácido Carbônico (0° atm)	1.980	Cloro	1.330
Ácido clorídrico (15°, 40°)	1.190	Cobre fundido	8.800
Ácido nítrico (15°)	1.520	Corda	1.160 - 1.950
Ácido sulfuroso (liq.)	1.490	Cortiça	240
Açúcar branco	1.610	Couro seco	860
Água destilada (4°)	1.000	Escória de alto forno	2.500 - 3.000
Alcatrão	1.200	Estanho fundido	7.260
Alcool etílico (15°)	790	Farinha de trigo	430 - 470
Alumínio laminado	2.700 - 2.750	Ferro comum	7.800
Alvenaria	6.700	Gasolina (15°)	800 - 850
Alvenaria de tijolo fresco	1.570 - 1.700	Gelo	880 - 920
Alvenaria de tijolo seco	1.420 - 1.550	Gesso calcinado	1.810
Amianto (asbesto)	2.800	Gesso peneirado	1.250
Amianto papéis	1.200	Gráfico	1.900 - 2.300
Amido	1.530	Granito	2.510 - 3.050
Ângico	960 - 850	Graxa	920 - 940
Antimônio	6.700	Hidroestímulo (0° atm.)	0,089
Ar (0° atm.)	1,29	Inibuta	650
Ardósia	2.630 - 2.670	Ipê	1.030 - 960
Areia fina seca	1.400 - 1.650	Jacarandá	910 - 720
Areia fina úmida	1.900 - 2.050	Jatoba	1.020 - 850
Areia grossa	1.400 - 1.500	Lã de carneiro	1.320
Argemassa	2.100 - 2.500	Leite	8.400 - 8.700
Argila seca	2.000 - 2.250	Manganês	7.150 - 8.300
Argila úmida	2.600	Manteiga	970 - 950
Arosira do sardão	1.210 - 1.160	Mármore comum	2.520 - 2.850
Arroz	770 - 850	Milho em grão	700 - 800
Asfalto	1.100 - 1.330	Neve	125
Aveta	360 - 560	Níquel	8.400 - 8.650
Azeite	840 - 941	Nitrato do Chile	2.260
Berro	1.700 - 2.800	Óleo de algodão (15°)	920
Betata	1.060 - 1.130	Ouro	1.800
Benina (0°)	900	Ouro laminado	19.300 - 19.350
Borracha	920 - 960	Pelica (sem feixe)	60 - 70
Bronze (8 a 14% estanho)	7.400 - 3.900	Papel	700 - 1.150
Cabrita	980 - 870	Parafina	870 - 910
Calcio	1.500	Pareda de pedra	2.030 - 2.450
Cal hidratada	1.150 - 1.250	Pareda de tijolos chatos	1.500 - 1.650
Cal virgem	900 - 1.300	Pareda de tijolos furados	1.050 - 1.100
Carvão de lenha branca	135 - 180	Pedra calcária	2.460 - 2.650
Carvão fósil	1.200 - 1.500	Peroba	870 - 720
Caulim	2.200	Pinho brasileiro	610 - 520
Cedro	580 - 420	Prata laminada	10.500 - 10.600
Castor	680 - 790	Salitre	1.990 - 2.030
Cera	965 - 970	Terra argilosa seca	1.700 - 2.000
Carveja	1.020 - 1.040	Tijolo comum	1.400 - 1.550
Chumbo	11.250 - 11.370	Trigo	700 - 830
Cimento em pó	1.450 - 1.750	Vidro de janela	2.400 - 2.600
Cloreto de cálcio	2.200 - 2.240	Zinco laminado	7.130 - 7.200

QUADRO 2
Cargas e sobrecargas para edificações rurais.

Descrição	Cargas kgf/m ²	Sobrecargas kgf/m ²
Bovinos adultos	500	-
Bezerros	290	-
Caprinos e ovinos	240	-
Suínos com até 90 kg	250	-
Suínos com até 220 kg	340	-
Equínos	500	-
Perus	140	-
Galinhas e frangos de corte	100	-
Estufas	250	-
Residências rurais	200	-
Casas de máquinas	750	-
Cozinhas não residencial	300	-
Escolas rurais	300	-
Escritórios	200	-
Garagens e estacionamentos	300	-
Laboratórios	300	-
Telhado colonial	140	60
Telhado com telhas francesas	125	60
Telhado com telhas de fibrocimento	90	60
Laje de forro	120	100
Laje de piso	180	200 - 600
Revestimento de forro	50	-
Pisos sobre base de concreto	50 - 80	-
Revestimentos de paredes	25	-

AÇÃO DO VENTO NAS EDIFICAÇÕES

A NBR-6123 tem por objetivo fixar condições que se exigem quando da consideração das forças devidas à ação do vento, visando ao cálculo das várias partes que compõem uma edificação.

Convém relembrar que para o estudo das forças do vento é necessário, fundamentalmente, o conhecimento de três parâmetros:

- 1- Pressão de obstrução: depende essencialmente da velocidade do vento (V), numericamente igual a:
- 2- Coeficiente de pressão: depende da geometria do edifício
- 3- Coeficiente de forma: se refere a um certo ponto. Fornece os valores médios em superfícies planas.

1- Pressão de obstrução:

Depende essencialmente da velocidade do vento (V), numericamente igual a:

$$q = \frac{(V_k)^2}{16}$$

Fórmula 1: q em kgf/m², quando V_k em m/s

2- Coeficiente de Pressão:

Depende da geometria do edifício

Algebricamente igual a:

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

(fornece a pressão num certo ponto, quando multiplicado
pela **Pressão de Obstrução**)

2- Coeficiente de Forma:

Se refere a um certo ponto

Algebricamente igual a:

$$**C = C_e - C_i**$$

2 - Procedimentos para cálculo

O item 3 da NBR-6123 diz textualmente: As forças devidas ao vento sobre uma edificação devem ser calculadas separadamente para:

- a) elementos de vedação e suas fixações (telhas, vidros, esquadrias, painéis de vedação, etc.);
- b) partes de estrutura (telhados, paredes, etc.);
- c) a estrutura como um todo.

As forças devidas ao vento são determinadas a partir dos seguintes parâmetros:

- velocidade básica do vento (V_0), adequada ao local onde a estrutura será construída.

Essa velocidade básica (V_0) deve ser multiplicada pelos fatores S_1 , S_2 e S_3 para ser obtida a velocidade característica do vento (V_k).

- Assim tem-se simbolicamente:
- $S1$ = fator topográfico
- $S2$ = fator de rugosidade do terreno
- $S3$ = fator estatístico

- **Pressão de obstrução (q)**, determinada a partir da velocidade característica (V_k), pela fórmula (1) indicada no item anterior, onde:

$$V_k = V_o \cdot S1 \cdot S2 \cdot S3$$

- **Coeficiente de pressão e de forma**, determinados experimentalmente e disponíveis na literatura. Desta forma, o esforço imposto pelo vento na estrutura ou parte dela é dado por:

$$q_{final} = C_p \cdot q$$

3 - Velocidade básica do vento: V_0

De acordo com a NBR-6123, a velocidade básica do vento V_0 (em m/s) pode ser obtida no mapa do Brasil, onde se encontram as isopletas correspondentes (veja próxima figura).

Definimo-la como sendo “a velocidade de uma rajada de 3 segundos, exercida, em média, uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano”.

Poder-se-ia dizer também que período médio de retorno dessa velocidade é de 50 anos, significando que em 100 períodos de 50 anos (5.000 anos) 63 dos períodos apresentarão uma velocidade máxima média anual superior ao valor fixado.

4 - Fatores Intervenientes

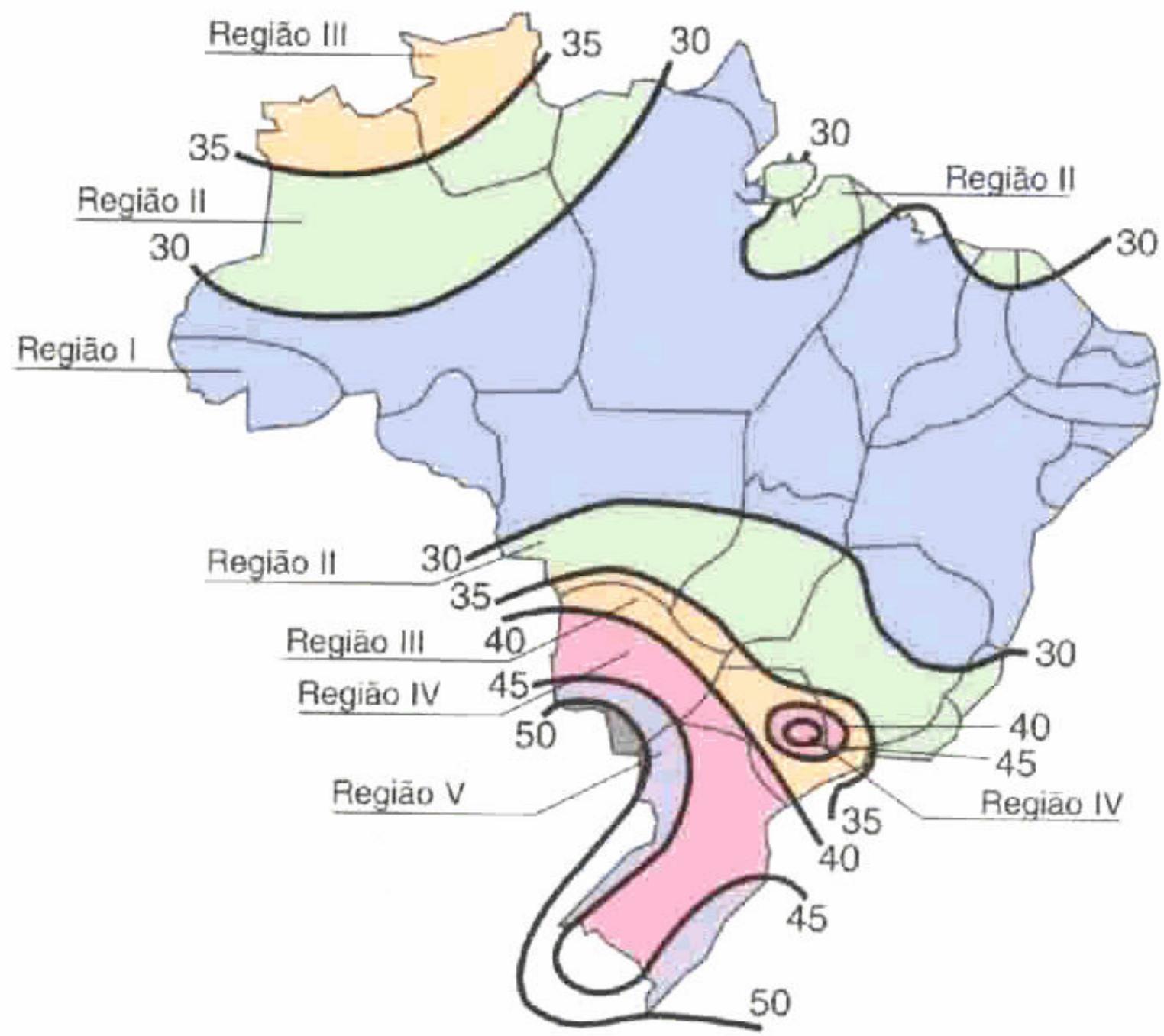
4.1 - Fator Topográfico S1

Este fator leva em consideração as grandes variações locais na superfície do terreno, ou seja, acelerações encontradas perto de colinas, proteções conferidas por vales profundos, bem como os efeitos de afunilamento em vales. Lembramos que esses efeitos não foram levados em conta quanto da leitura do mapa das isopletas.

A tabela I nos dá os valores a serem usados.

Tabela I
Fator topográfico, "S"

Caso	Topografia	S ₁
a	Todos os casos, exceto os seguintes:	1,0
b	Encostas e cristais de morros em que ocorre aceleração do vento. Vales com efeito de afunilamento	1,1
c	Vales profundos, protegidos de todo os ventos	0,9



4.2 - Fator de rugosidade S2

Este fator considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com altura acima do terreno (lembrar que V_0 está relacionado com a altura do anemômetro a 10m) e das dimensões da edificação. Para edifícios muito grandes, o intervalo de duração das rajadas deve ser maior.

A NBR-6123 classifica os terrenos em quatro categorias, no que diz respeito à rugosidade. A fim de levar em conta - como dissemos anteriormente - o tamanho das edificações, como consequência, o intervalo de duração das rajadas necessárias para perturbar todo o campo aerodinâmico do edifício, a NBR-6123 escolheu três classes de edificações e de seus elementos:

- **Classe A:** duração das rajadas 3 segundos; aplicável a todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação;
- **Classe B:** duração das rajadas 5 segundos, todas as edificações nas quais a maior dimensão não exceda 50 m;
- **Classe C:** duração das rajadas 15 segundos, todas as edificações nas quais a maior dimensão exceda 50 m.

A Tabela II nos dá, de uma forma agrupada, as classificações anteriores com a altura do edifício sobre o terreno.

Tabela II
Fator "S₂"

Categorias de rugosidade do terreno												
Altura acima do terreno	Terreno aberto, sem obstruções, zonas costeiras, pradarias			Terreno aberto, com poucas obstruções, granjas, casas de campo			Terreno com muitas obstruções, pequenas cidades, subúrbios de grandes cidades			Terreno com grandes e freqüentes obstruções, centros de grandes cidades		
H (m)	Rugosidade 1			Rugosidade 2			Rugosidade 3			Rugosidade 4		
Classe												
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
3	0,83	0,78	0,73	0,72	0,67	0,63	0,64	0,60	0,55	0,56	0,52	0,47
5	0,88	0,83	0,78	0,79	0,74	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55	0,50
10	1,00	0,95	0,90	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74	0,69	0,67	0,62	0,58
15	1,03	0,99	0,94	1,00	0,95	0,91	0,88	0,83	0,78	0,74	0,69	0,64
20	1,06	1,01	0,96	1,03	0,98	0,94	0,95	0,90	0,85	0,79	0,75	0,70
30	1,09	1,05	1,00	1,07	1,03	0,98	1,01	0,97	0,92	0,90	0,85	0,79
40	1,12	1,08	1,03	1,10	1,03	1,01	1,05	1,01	0,96	0,97	0,93	0,89
50	1,14	1,10	1,05	1,12	1,08	1,04	1,08	1,04	1,00	1,02	0,98	0,94
60	1,15	1,12	1,08	1,14	1,10	1,06	1,10	1,06	1,02	1,05	1,02	0,98
80	1,18	1,15	1,11	1,17	1,13	1,09	1,13	1,10	1,06	1,10	1,07	1,03
100	1,20	1,17	1,13	1,19	1,16	1,12	1,16	1,12	1,09	1,13	1,10	1,07

4.3 - Fator estatístico S_3

Pelo menos teoricamente existiriam diversas maneiras de se calcular a probabilidade de um determinado vento ser excedido durante um determinado período.

Para tanto, são usadas as distribuições denominadas de extremos, sendo que a NBR-6123 adota a de Fishet-Tippett II ou de Frechet, matematicamente:

$$F_V(V) = \text{Prob}[V < V] = e^{-\left(\frac{V}{\beta}\right)^{-\delta}} \quad 3$$

onde o parâmetro β denomina-se fator de velocidade característica, dependendo então da região, e o parâmetro δ denomina-se fator único de forma e igual a 6,369.

Todavia, cumpre salientar que é impossível afirmar, categoricamente, que um dado valor da velocidade não será excedido. A Tabela III indica os mínimos valores do fator S_3 que podem ser usados.

A NBR-6123 também permite lançar mão de coeficientes de correção do fator S_3 quando se deseja alterar o período médio de recorrência ou adotar níveis de probabilidades diferentes de ocorrência, que podem variar de 10% a 90%.

Tabela III
Fator "S₃"

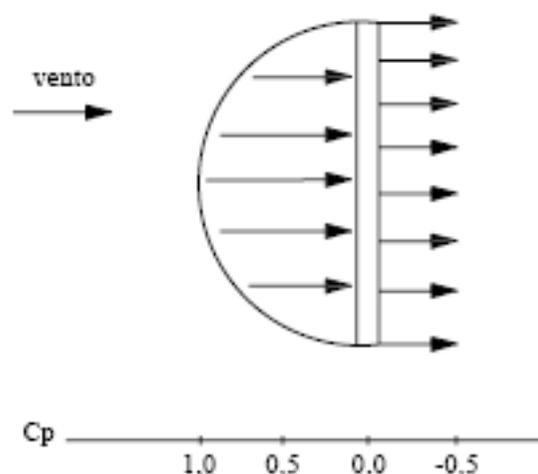
Grupo	Descrição	S₃
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicações, etc.).	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações 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 e estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção.	0,83

5 - Coeficientes aerodinâmicos

A incidência do vento sobre uma edificação, devido a sua natureza, provoca pressões ou sucções nos elementos da mesma, sendo que a intensidade destes esforços depende da forma e proporção da construção, bem como da localização das aberturas.

O exemplo mais simples é aquele do vento atingindo perpendicularmente uma placa plana, conforme figura 2, na qual na face a barlavento o coeficiente de pressão na zona central chega a +1,0, decrescendo até as bordas, e é constante, e igual a 0,5, na face a sotavento. Assim sendo, esta placa estaria sujeita a uma pressão total, na zona central, de $c_p = 1,5 = + 1,0 - (-0,5)$.

Assim sendo, as normas nada mais fazem do que apresentar tabelas e gráficos dessas pressões ou sucções, mediante os denominados coeficientes de pressão, tanto externos, C_{pe} , quanto internos, C_{pi} ; e de coeficientes de forma, C_e e C_i , externos e internos, respectivamente, existindo então diversas tabelas.

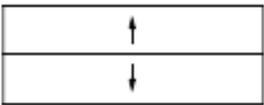
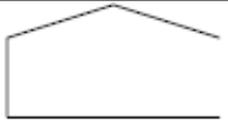
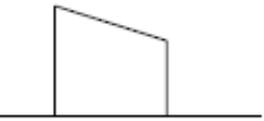
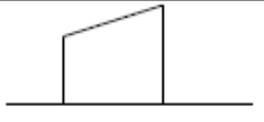
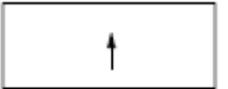


Em valores numéricos a pressão normal que age na placa é obtida por:

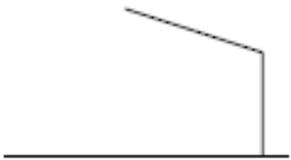
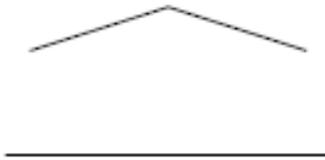
$$q_t = q \cdot C_p = 1,5q$$

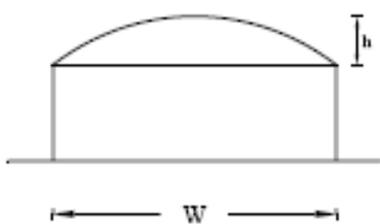
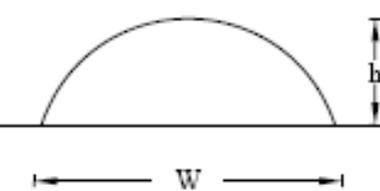
A tabela a seguir apresenta valores de C_p para diversas edificações rurais.

Tabela IV
Coefficiente de pressão, C_p , para edificações rurais

Sentido do vento →	Barlavento		Sotavento		Fundo ou paredes laterais
	Parede	Telhado	Telhado	Parede	
<i>Duas águas</i>					
	+0,7	de +0,2(30°) a -0,7(10°)	-0,7	-0,5	-0,7
	+0,7	-0,7	-0,7	-0,5	-0,5
<i>Duas águas com uma lateral aberta</i>					
	-	-0,9	-1,2	-1,1	-1,4
	+1,3	+0,2	-0,2	-	-0,3
<i>Uma água</i>					
	+0,7	-	-0,7	-0,7	-0,8
	+0,6	0	-	-0,6	-0,9
	+0,7	-0,7	-	-0,4	-0,6

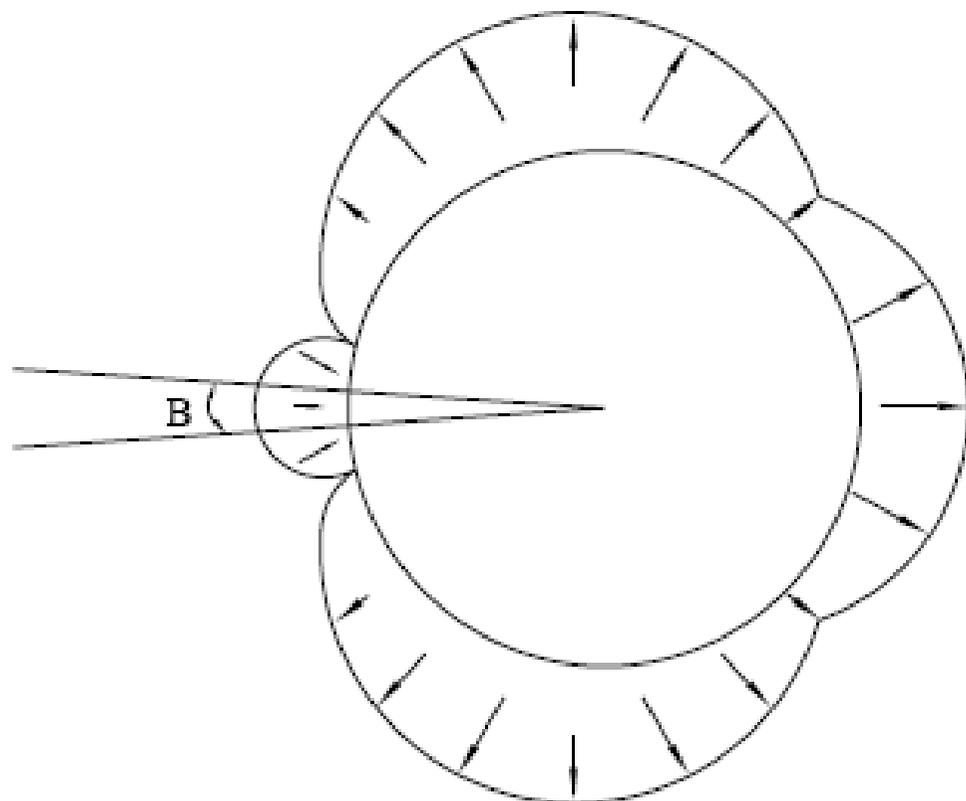
continuação...

Sentido do vento →	Barlavento		Sotavento		Fundo ou paredes laterais
	Parede	Telhado	Telhado	Parede	
<i>Uma água com uma abertura lateral</i>					
	-	-	-1,3	-1,3	-1,3
	+1,1	+0,5	-	-	-0,4
<i>Coberta</i>					
	-	+0,6	-0,6	-	-
	-	-1,0	-1,1	-	-

<i>Cobertura em arco</i>	Parede a barlavento	Primeiro quarto da cobertura a barlavento	Centro da cobertura e primeiro quarto da cobertura a sotavento	Parede a sotavento	Paredes laterais
	+0,8	$+2^{h/w} - 0,4$	-0,7	-0,5	-0,7
	-	$+1,2^{h/w}$	-0,7	-	-0,7

* Os coeficientes listados são a soma vetorial da pressão externa e interna. Coeficientes positivos correspondem à pressão propriamente dita, e negativos, à sucção.

A tabela a seguir apresenta valores de c_p , ao redor de um silo ou tanque vertical (altura/diâmetro < 5). Considerando a direção do vento, da esquerda para a direita, e o ângulo formado entre esta direção e a do ponto ao redor do silo ou tanque em que se deseja saber, pode-se verificar se há pressão ou sucção e a intensidade deste esforço.



Ângulo B	Cp local
0°	+1,0
15°	+0,8
30°	+0,1
45°	-0,8
60°	-1,5
75°	-1,9
90°	-1,9
105°	-1,5
120°	-0,8
135°	-0,6
150°	-0,5
165°	-0,5
180°	-0,5

Tabela V
Coeficientes de pressão, C_p , para elementos estruturais isolados e beirais.

Localização dos elementos	Edificações fechadas	Edificações abertas
Parede	+0,9 e -1,0	+0,9 e -1,5
Telhado	-1,0	-1,5
Beirais e Cumeeira	-2,2	-2,2

A tabela a seguir apresenta os coeficientes de pressão, C_p , para construções de vários tipos.

Tabela VI
Coeficiente de pressão, C_p , para construções de vários tipos.

Estrutura ou parte dela	Descrição	C_p
Silos, tanques e chaminés	quadrados	1,3 em qualquer direção
	circulares	0,6 em qualquer direção
Postes de luz, de sinalização e mastros para bandeiras	qualquer forma	1,4 em qualquer direção
Cercas, muros e outras divisórias	elementos planos	1,7 em qualquer direção
	elementos circulares	0,9 em qualquer direção

Aplicação:

Determine as pressões, devidas ao vento, que agem em um armazém de pé direito de 5m, inclinação do telhado de 30° e beirais de 0,8m, localizado em um vale da região de Viçosa, MG.

$$q = \frac{(V_k)^2}{16} \quad V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

$V_o = 30\text{m/s}$ (gráfico das isopletas),

$S_1 = 0,90$ (fator topográfico)

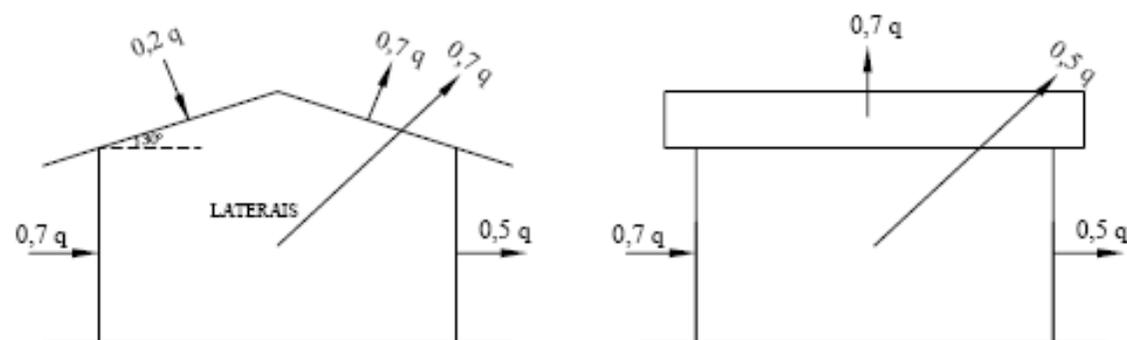
$S_2 = 0,88$ (fator de rugosidade para $h = 7,0\text{m}$, terreno aberto com poucas obstruções, classe B) e

$S_3 = 0,95$ (fator estatístico, grupo 3).

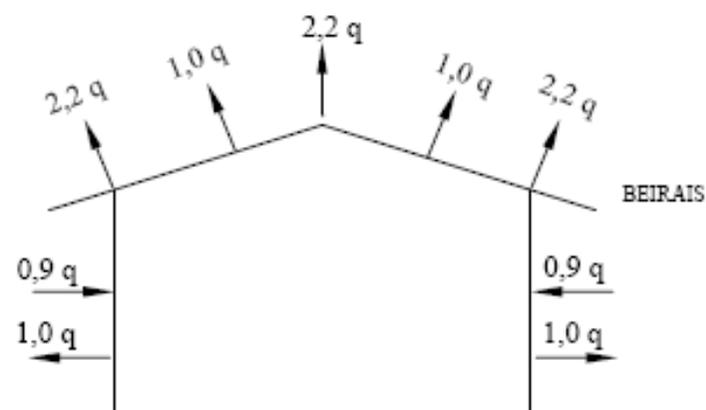
Então:

$$q = \frac{(30 \cdot 0,9 \cdot 0,88 \cdot 0,95)^2}{16} = 31,8 \text{Kgf} / \text{m}^2$$

Coefficientes de pressão a serem utilizados em cálculos estruturais que envolvem a construção com um todo:



Coefficientes de pressão a serem utilizados em cálculos de elementos estruturais específicos (pilares, travessas, terças, cumeeiras, etc.).



Obs: Em qualquer dimensionamento, o vento deve ser considerado atuando em todos os sentidos, e considerado o C_p de maior influência tanto para pressão como sucção.