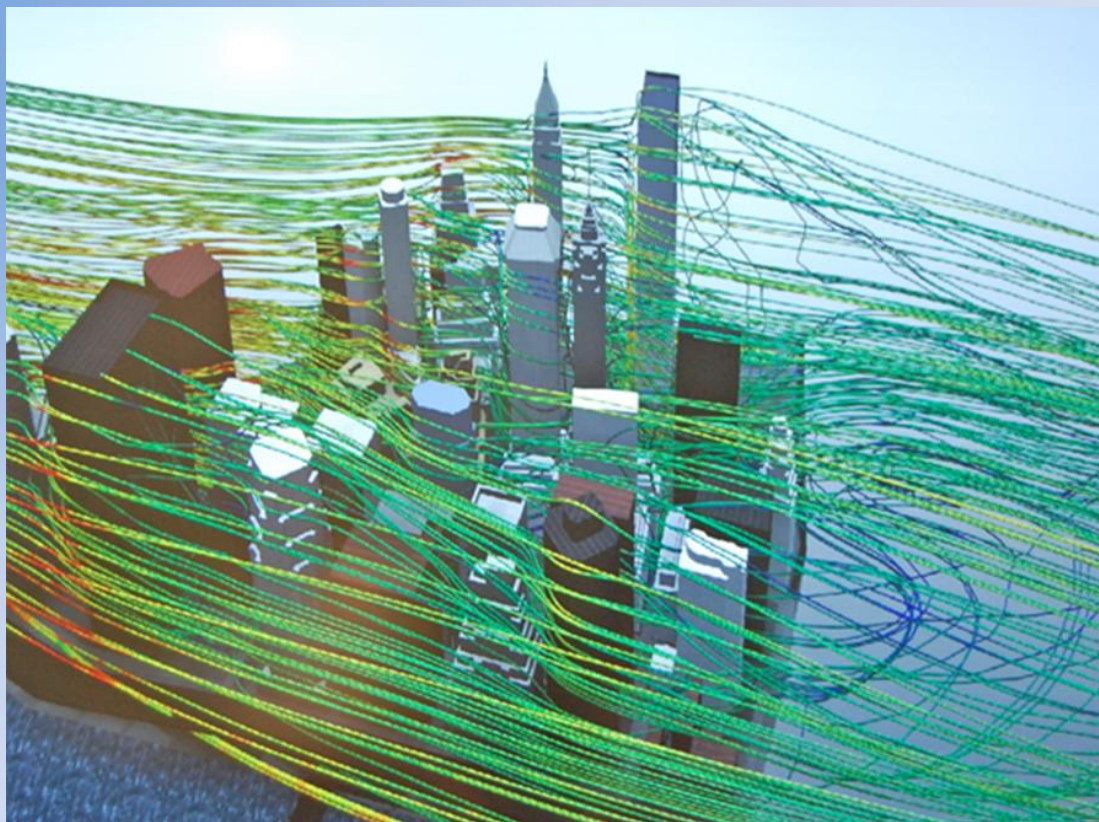


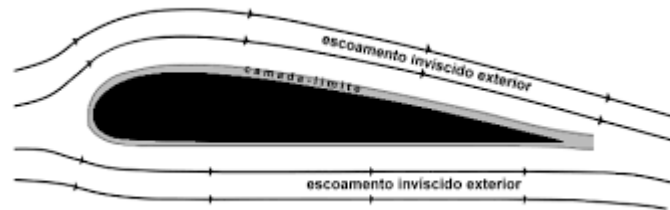


## **PEF 3522 – Ação do Vento das Edificações (Parte II)**

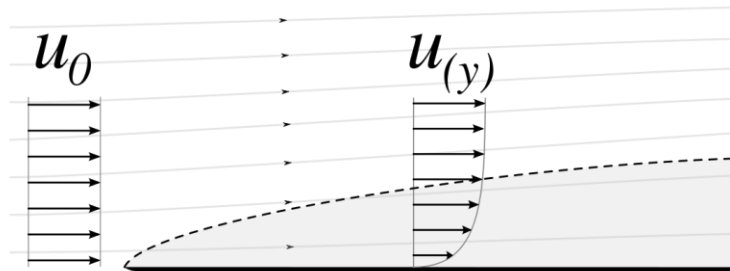
Prof. Henrique Campelo Gomes  
Prof. Ruy Marcelo de Oliveira Pauletti  
2018

## ➤ Camada Limite

Quando o número de Reynolds é alto (forças viscosas desprezíveis frente às forças de inércia), o escoamento pode ser estudado como o de um fluido sem viscosidade em quase todo seu domínio: exceto numa fina camada. Esta é chamada de camada limite.



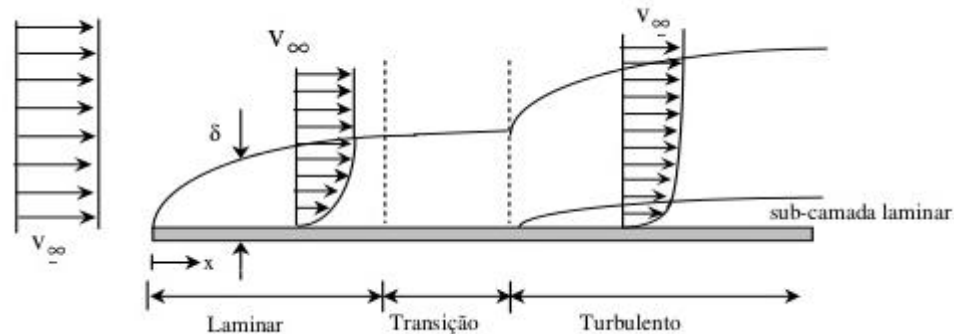
A velocidade na camada limite varia desde zero, na superfície fixa, até o valor da linha de corrente não perturbada.



Na teoria de Prandtl, mostra-se que a pressão estática não varia ao longo da espessura da camada limite. Ensaios experimentais também confirmam este resultado.

## ➤ Camada Limite

**Camada Limite numa Placa Plana:** num primeiro trecho, a camada limite é laminar. Depois se torna turbulenta, aumentando sua espessura. O trecho de transição é muito curto, podendo ser desprezado para fins práticos



### Exemplo numérico:

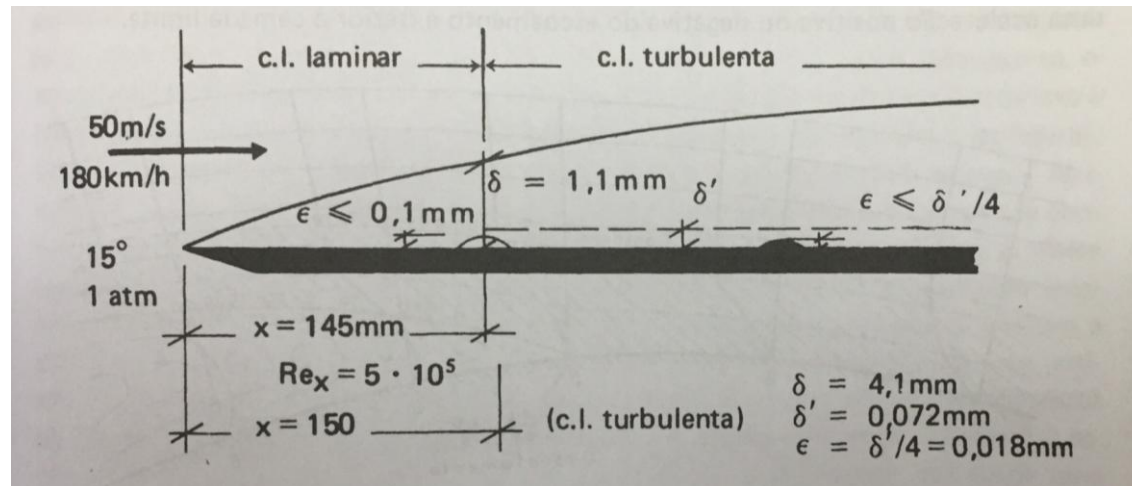
$$V_\infty = 50 \text{ m/s (180 km/h)}$$

$$\nu = 0,145 \text{ cm}^2/\text{s (Ar a } 15^\circ\text{C e 1 atm)}$$

$$\delta = 1,1 \text{ mm (laminar)}$$

$$\delta = 4,1 \text{ mm (turbulenta)}$$

$$\delta' = 0,072 \text{ mm (subcamada laminar)}$$

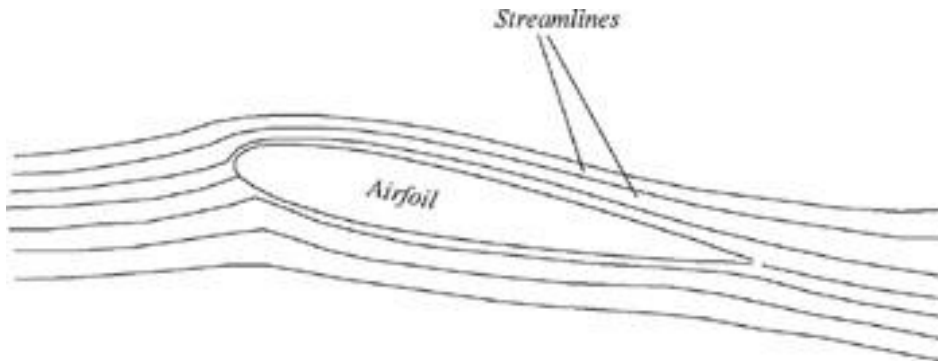


$\epsilon$  = rugosidade superficial. Valor de referência abaixo do qual não se observam alterações do escoamento na camada limite

## ➤ Camada Limite

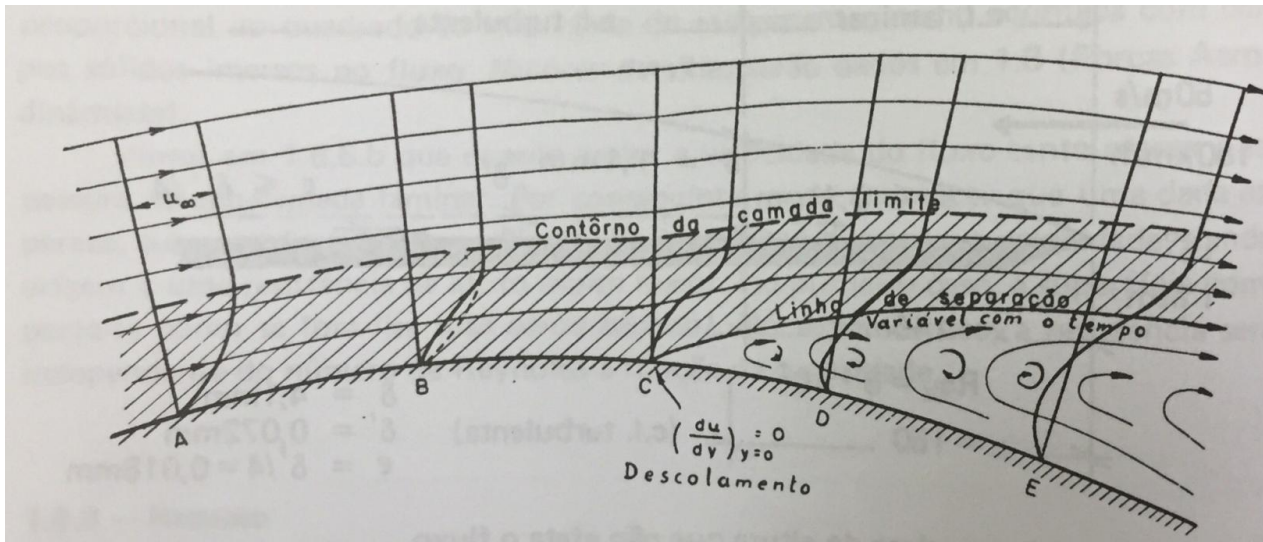
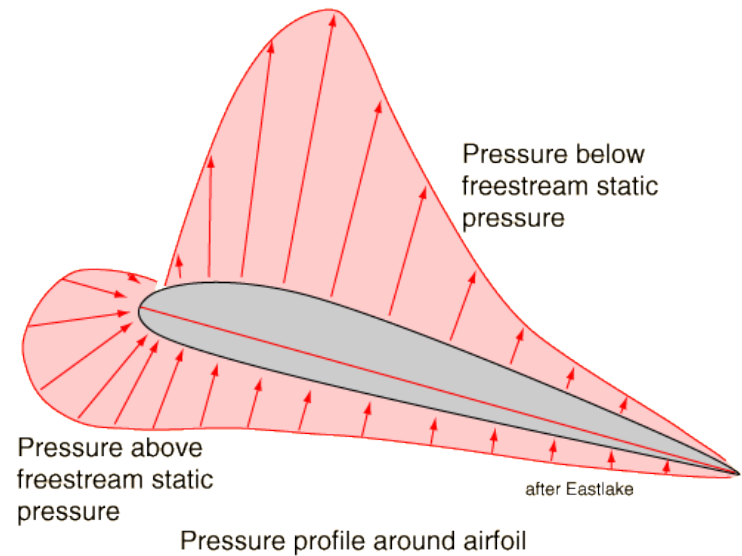
### Características Importantes:

- ✓ Em uma pequena distância a partir da superfície da placa, a velocidade cresce de zero até, praticamente, a velocidade existente no escoamento teórico
- ✓ Na camada limite predominam os efeitos viscosos; fora dela a viscosidade quase não tem efeito sobre o escoamento
- ✓ Quanto maior a velocidade do escoamento, menor a espessura da camada limite
- ✓ A pressão no interior da camada limite é constante e determinada pelo escoamento circundante na seção perpendicular à superfície



(camada limite aderida)

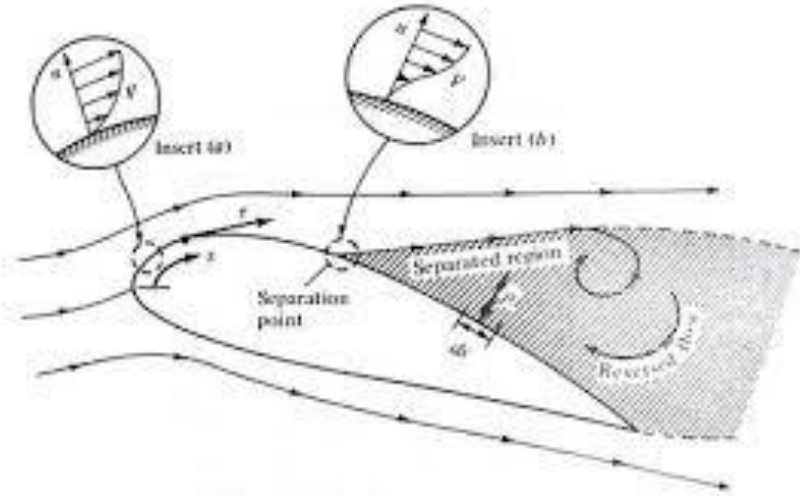
## ➤ Separação da Camada Limite



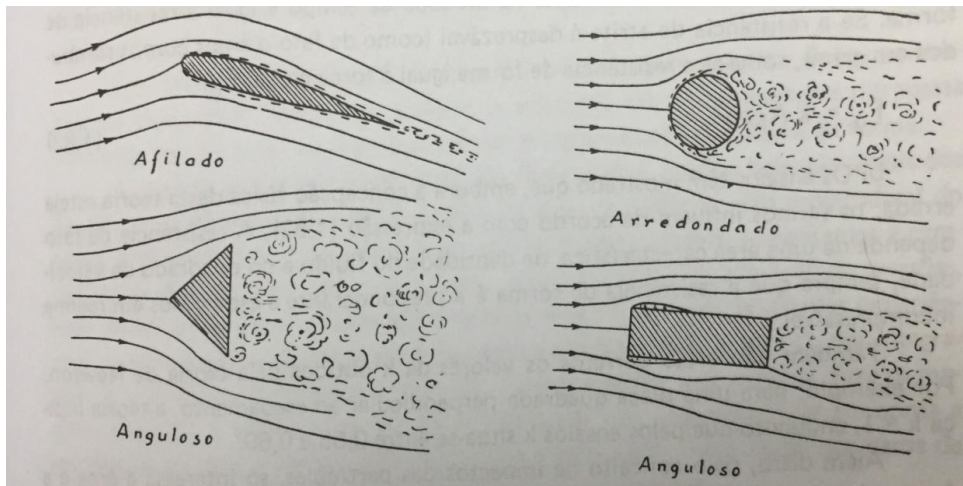
A separação é causada pela combinação das pequenas velocidades existentes na camada limite, próxima à superfície fixa, e de um gradiente adverso de pressão (contrário ao escoamento no contorno da camada limite)



## ➤ Separação da Camada Limite



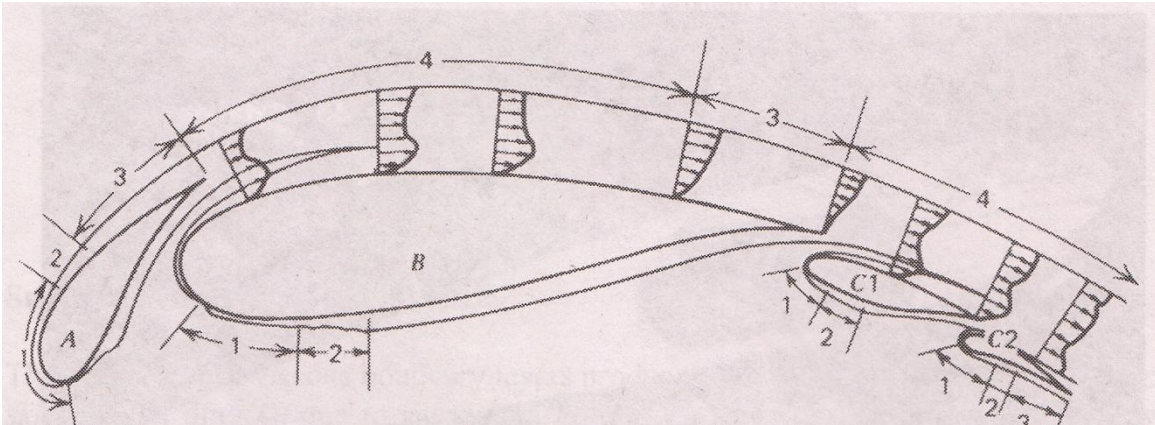
### Corpos Rombudos (arredondados ou angulosos):



À jusante do ponto de separação, observa-se a formação de turbilhões e vórtices. Nesta região, chamada de esteira, a pressão baixa (sucção) aumenta significativamente a força resultante atuante no corpo na direção do escoamento (arrasto).

## ➤ Separação da Camada Limite

Algumas técnicas para evitar a separação da camada limite:



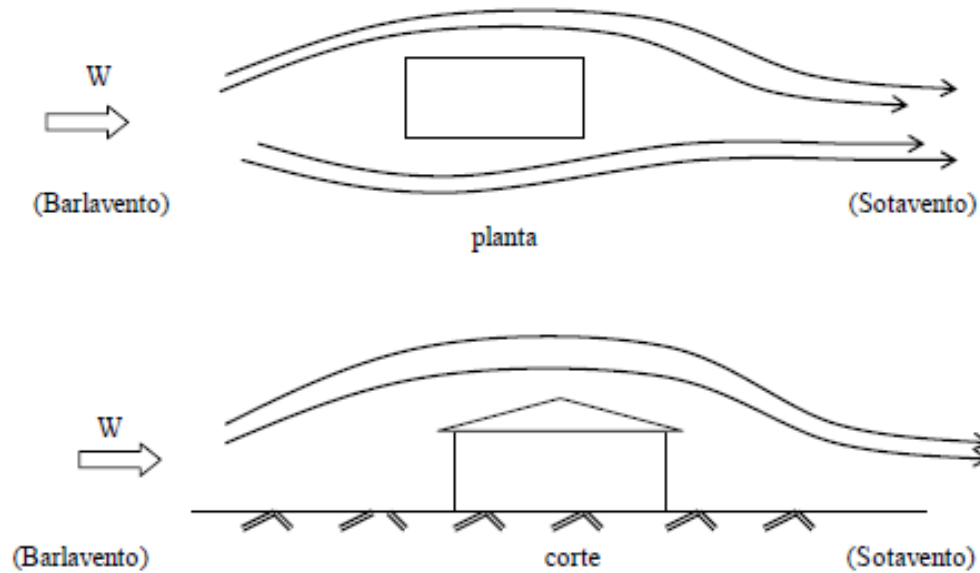
Aceleração (energização)  
da camada limite



Nacelle Strake

## ➤ Ação do vento nas edificações (NBR6123)

### Definições



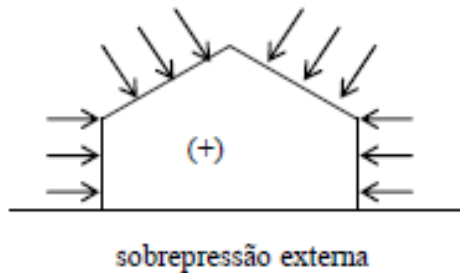
**Barlavento:** região de onde sopra o vento, em relação à edificação analisada

**Sotavento:** região para onde sopra o vento, em relação à edificação analisada

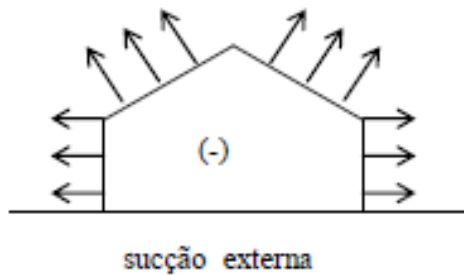


## ➤ Definições

**Sobrepressão:** Pressão efetiva acima da pressão atmosférica de referência (sinal positivo)



**Sucção:** Pressão efetiva abaixo da pressão atmosférica de referência (sinal negativo)



## ➤ Definições

**$V_o$** : velocidade básica do vento (m/s)

velocidade de uma rajada de 3 s, excedida na média uma vez em  
50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano

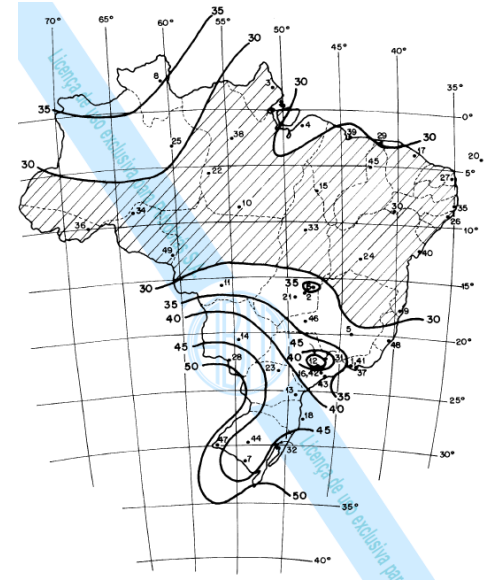
**$V_k$** : velocidade característica do vento (m/s)

$$V_k = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot V_o$$

**$S_1$** : fator topográfico

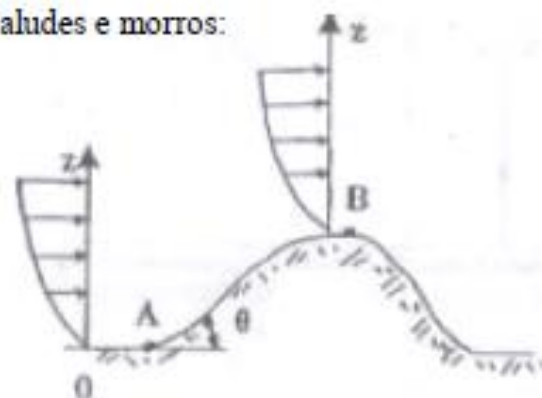
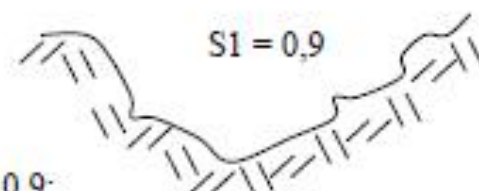
**$S_2$** : fator de rugosidade do terreno, das dimensões da edificação e de sua altura sobre o terreno

**$S_3$** : fator probabilístico

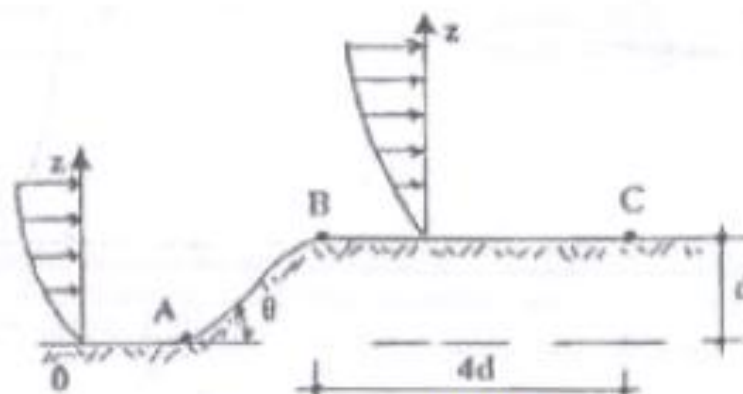


## $S_1$ - Fator topográfico

- a) Terrenos planos:  $S_1 = 1,0$ ;
- b) Vales profundos protegidos dos ventos de qualquer direção:  $S_1 = 0,9$ ;
- c) Taludes e morros:



Morro



Talude

Nos pontos A e C:  $S_1 = 1,0$

No ponto B:  $\theta \leq 3^\circ$ ,  $S_1 = 1,0$

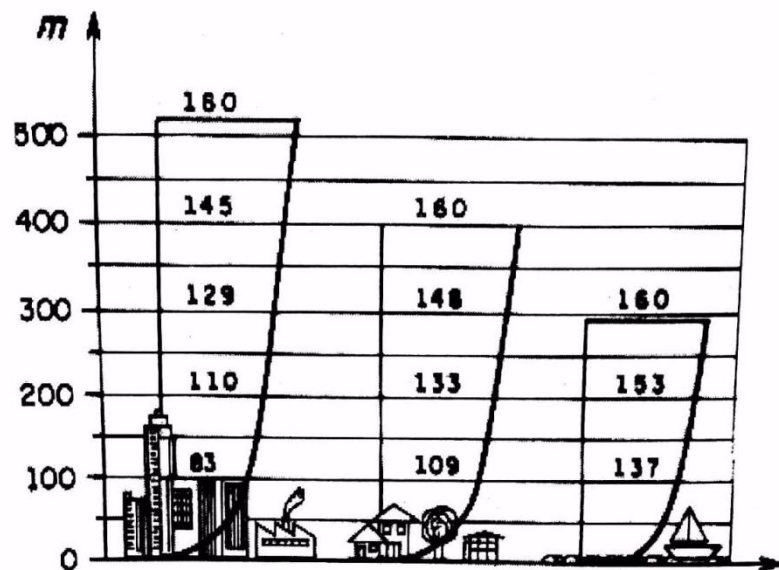
$3^\circ < \theta < 6^\circ$ ,  $S_1$  - Interpolar linearmente

$6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ$ ,  $S_1 = 1,0 + \left( 2,5 - \frac{z}{d} \right) \text{tg} (\theta - 3^\circ) \geq 1,0$

$17^\circ < \theta < 45^\circ$ ,  $S_1$  - Interpolar linearmente

$\theta \geq 45^\circ$ ,  $S_1 = 1,0 + \left( 2,5 - \frac{z}{d} \right) 0,31 \geq 1,0$

**S<sub>2</sub>**: fator de rugosidade do terreno, das dimensões da edificação e de sua altura sobre o terreno



A rugosidade do terreno influencia diretamente a velocidade de escoamento do vento. Quanto maior a rugosidade (número e tamanho dos obstáculos), maior o abrandamento do perfil vertical de velocidade. Em terrenos planos o vento apresentará velocidade média superior se comparada à velocidade do vento em um centro urbano densamente ocupado

**Rugosidade do Terreno:**

|                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------|
| Categoria I : superfícies lisas de água com mais de 5 km de extensão. |
| Categoria II : obstáculos com $h \leq 1,0$ m                          |
| Categoria III : obstáculos com $1,0 \text{ m} < h \leq 3,0$ m         |
| Categoria IV : obstáculos com $3,0 \text{ m} < h \leq 10,0$ m         |
| Categoria V : obstáculos com $h_{\text{médio}} \geq 25,0$ m           |

**CATEGORIA I:** superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5km de extensão que é medida na direção e sentido do vento incidente. Como exemplos podem ser citados o mar calmo, lagos e rios, pântanos sem vegetação



**CATEGORIA II:** terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados como árvores e edificações baixas com cota média inferior ou igual a 1m. Ex: zonas costeiras planas, pântanos com vegetação rala, campos de aviação, pradarias e charnecas, fazendas sem muros.





**CATEGORIA III:** terrenos planos ou ondulados com obstáculos, como sebes ou muros, quebra ventos de árvores, edificações esparsas e baixa, em que a cota média dos obstáculos seja de 3m.



**CATEGORIA IV:** terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados cuja cota média é considerada igual a 10m, tais como cidades pequenas e seus arredores, zonas de parques e bosques com muitas árvores, subúrbios densamente construídos de grandes cidades e áreas industriais.



**CATEGORIA V:** terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados tais como florestas com árvores altas, centros de grandes cidades, complexos industriais bem desenvolvidos



Classes de edificações.

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

Fonte: NBR6123/1988

## Fator $S_2$

| z<br>(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 |

Ex: Categoria do terreno: III; Classe Edificação: C; Altura: 60m ➡  $S_2 = 1,09$



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.<br>Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.                                                                                                                    | 1,00  |
| 3     | Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação.<br>(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  |

(Tabela 3: transcrita da NBR 6123:88)

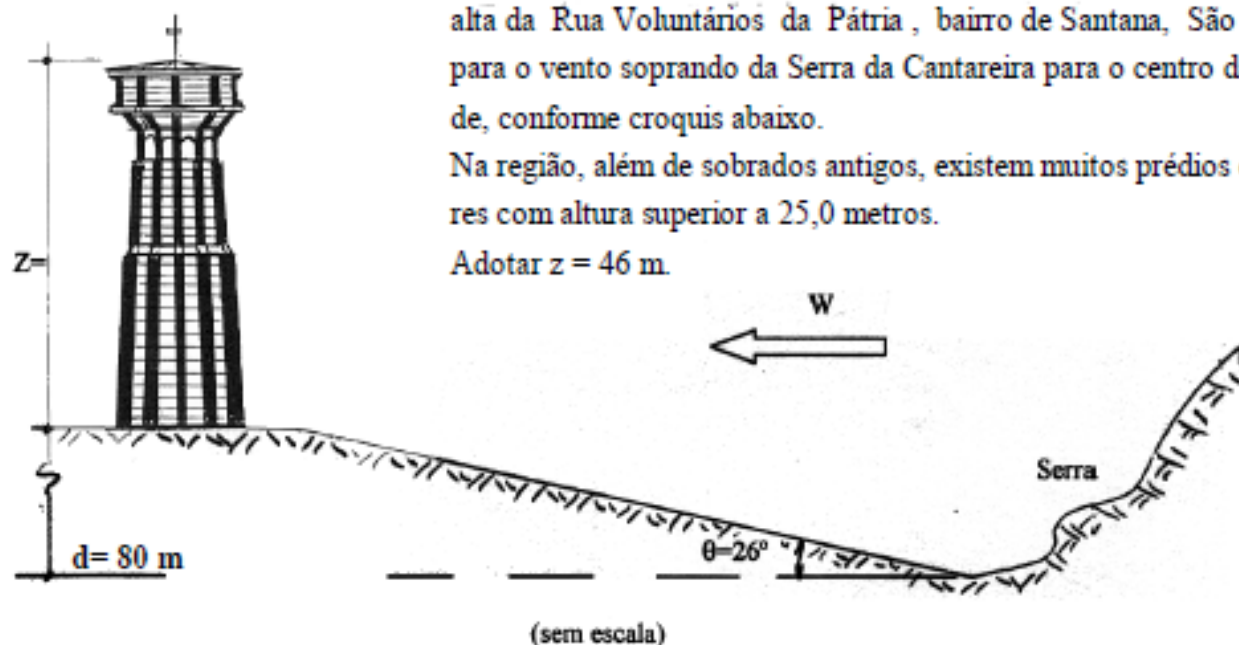
## 6.1. Exercícios resolvidos:

Assunto: Cálculo da pressão dinâmica do vento e determinação do fator topográfico em taludes.

Ex 1: Determinar a pressão dinâmica do vento no topo da caixa d'água da SABESP, localizada na parte alta da Rua Voluntários da Pátria, bairro de Santana, São Paulo, para o vento soprando da Serra da Cantareira para o centro da cidade, conforme croquis abaixo.

Na região, além de sobrados antigos, existem muitos prédios e árvores com altura superior a 25,0 metros.

Adotar  $z = 46$  m.





**Solução:** São Paulo – Capital:  $V_0 = 40 \text{ m/s}$

**Fator  $S_1$ :** edificação no alto de um talude com inclinação  $\theta=26^\circ$ . Portanto necessita interpolação.

$$P/\theta = 17^\circ, \text{ vem: } S_1 = 1 + \left( 2,5 - \frac{46}{80} \right) \text{tg}(17^\circ - 3^\circ) = 1,48$$

$$P/\theta = 45^\circ, \text{ vem: } S_1 = 1 + \left( 2,5 - \frac{46}{80} \right) 0,31 = 1,60$$

| $\theta$   | $S_1$ | $\frac{45^\circ - 17^\circ}{26^\circ - 17^\circ} = \frac{1,60 - 1,48}{S_1 - 1,48}$ |                         |
|------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| $17^\circ$ | 1,48  |                                                                                    |                         |
| $26^\circ$ | $S_1$ | $28S_1 - 41,44 = 1,08$                                                             | $\therefore S_1 = 1,52$ |
| $45^\circ$ | 1,60  |                                                                                    |                         |

**Fator  $S_2$ :**  $20\text{m} < 46\text{m} < 50\text{m}$   $\therefore$  classe B

Vizinhança: obstáculos com altura média 25 m,  $\therefore$  categoria V

$z=46 \text{ m}$ ,  $\therefore$  interpolar na tabela 2 da NBR 6123/88.

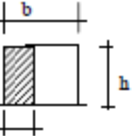
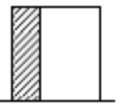
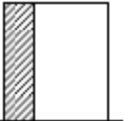
| $z \text{ (m)}$ | $S_2$ | $\frac{50 - 40}{46 - 40} = \frac{0,93 - 0,89}{S_2 - 0,89}$ |                         |
|-----------------|-------|------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 40m             | 0,89  |                                                            |                         |
| 46              | $S_2$ | $1,667S_2 - 1,483 = 0,04$                                  | $\therefore S_2 = 0,91$ |
| 50              | 0,93  |                                                            |                         |

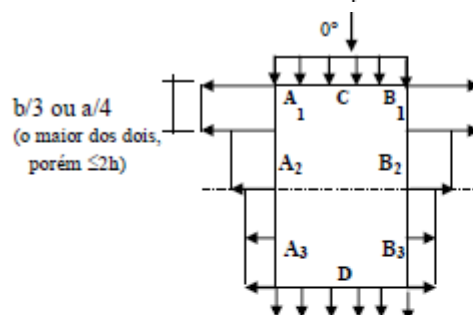
**Fator  $S_3$ :** Embora não conste, caixa d'água de bairro ou cidade tem a mesma importância que as edificações constantes no grupo 1 da tabela 3 da NBR 6123/88.  $\therefore S_3 = 1,1$

**Velocidade característica:**  $V_K = V_0.S_1.S_2.S_3 = 40 \times 1,52 \times 0,91 \times 1,1 = 60,86 \text{ m/s}$ .

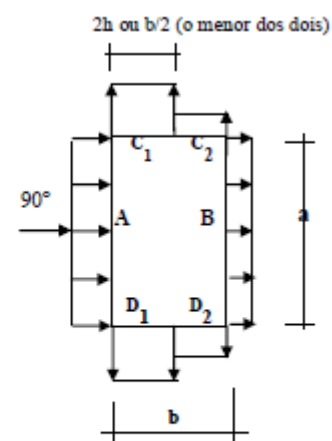
**Pressão dinâmica do vento:**  $q = 0,613 V_K^2 = 0,613 \cdot 60,86^2 = 2271 \text{ N/m}^2$

**Tabela 4: Coeficientes de pressão e de forma externos, para paredes de planta retangular**  
(Tabela 4 - transcrita da NBR 6123:88 com finalidade didática)

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



- a) Para  $a/b$  entre  $3/2$  e  $2$  interpolar linearmente.  
 b) Para vento a  $0^\circ$ , nas partes  $A_3$  e  $B_3$ , 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 incidências do vento ( $0^\circ$  ou  $90^\circ$ ), 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  $0,2b$  ou  $h$ , considerando-se o menor destes dois valores



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

# Telhados em duas águas :

Tabela 5: Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular (Tabela 5 - transcrita da NBR 6123:88)

| Altura relativa                                  | $\theta$ | Valores de $C_e$ para |      |                  |      | $C_{pe}$ médio |      |      |      |
|--------------------------------------------------|----------|-----------------------|------|------------------|------|----------------|------|------|------|
|                                                  |          | $\alpha=90^\circ$     |      | $\alpha=0^\circ$ |      |                |      |      |      |
|                                                  |          | EF                    | GH   | EG               | FH   |                |      |      |      |
| $\frac{h}{b} \leq 1$<br>                         | 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 |
|                                                  | 15°      | -1,0                  | -0,4 | -0,8             | -0,6 | -1,4           | -1,2 |      | -1,2 |
|                                                  | 20°      | -0,4                  | -0,4 | -0,7             | -0,6 | -1,0           |      |      | -1,2 |
|                                                  | 30°      | 0                     | -0,4 | -0,7             | -0,6 | -0,8           |      |      | -1,1 |
|                                                  | 45°      | +0,3                  | -0,5 | -0,7             | -0,6 |                |      |      | -1,1 |
|                                                  | 60°      | +0,7                  | -0,6 | -0,7             | -0,6 |                |      |      | -1,1 |
| $\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$<br> | 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           |      |      | -1,0 |
|                                                  | 45°      | +0,2                  | -0,5 | -0,8             | -0,8 |                |      |      |      |
|                                                  | 60°      | +0,6                  | -0,5 | -0,8             | -0,8 |                |      |      |      |
| $\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$<br>           | 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           |      |      |      |
|                                                  | 45°      | -0,2                  | -0,5 | -0,8             | -0,7 | -1,0           |      |      |      |
|                                                  | 50°      | +0,2                  | -0,5 | -0,8             | -0,7 |                |      |      |      |
|                                                  | 60°      | +0,5                  | -0,5 | -0,8             | -0,7 |                |      |      |      |

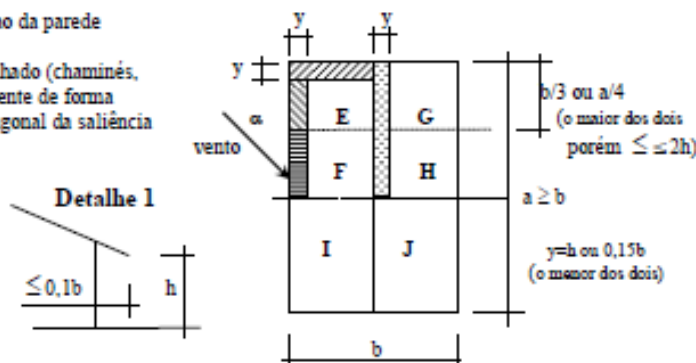
Notas:

- O coeficiente de forma  $C_e$  na face inferior do beiral é igual ao da parede correspondente;
- Nas zonas em torno de partes da edificações salientes ao telhado (chaminés, reservatórios, torres, etc...), deve ser considerado um coeficiente de forma  $C_e=1,2$ , até uma distância igual a metade da dimensão da diagonal da saliência vista em planta;
- Na cobertura de lanternins,  $C_{pe}$  médio = - 2,0, tem os seguintes valores:
- Para vento a  $0^\circ$ , nas partes I e J o coeficiente de forma  $C_e$  tem os seguintes valores:

$\frac{a}{b} = 1$  : mesmo valor das partes F e H;

$\frac{a}{b} \geq 2$  :  $C_e = -0,2$ ;

Interpol linearmente para valores intermediários de  $a/b$ .



## ➤ Coeficientes de Pressão Interna

### NBR6123:

#### 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.

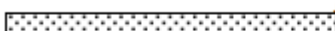
6.2.2 Para os fins desta Norma, são considerados impermeáveis os seguintes elementos construtivos e vedações: lajes e cortinas de concreto armado ou protendido; paredes de alvenaria, de pedra, de tijolos, de blocos de concreto e afins, sem portas, janelas ou quaisquer outras aberturas. Os demais elementos 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.

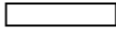
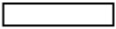
## ➤ Coeficientes de pressão e de forma internos

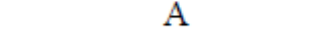
### Convenções:

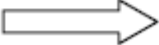
 faces com a mesma permeabilidade

 face permeável

 face impermeável

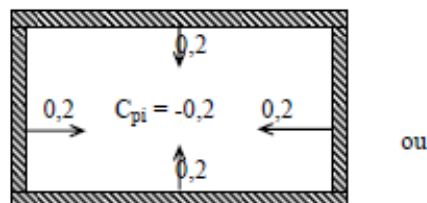
 AD     abertura dominante (AD)

 A  
abertura qualquer (A)

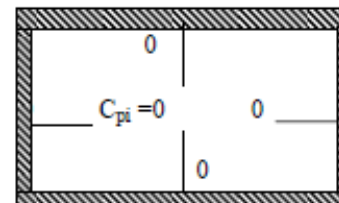
W  sentido do vento

**Caso 1: edificações efetivamente estanques e com janelas fixas que tenham probabilidade desprezível de serem rompidas por acidente**

$C_{pi} = -0,2$  ou  $C_{pi} = 0$ , adotar o mais nocivo dos valores.



ou

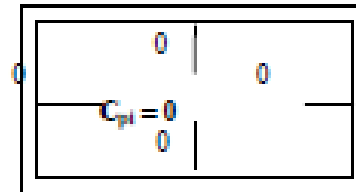
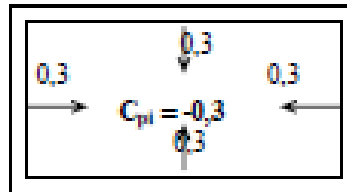




## ➤ Coeficientes de pressão e de forma internos

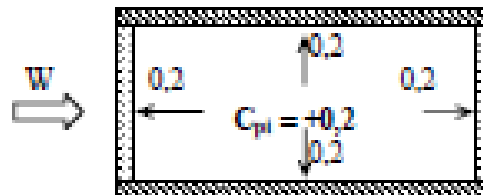
### Caso 2: quatro faces igualmente permeáveis

$C_{pi} = -0,3$  ou  $C_{pi} = 0$ , adotar o mais nocivo dos valores.

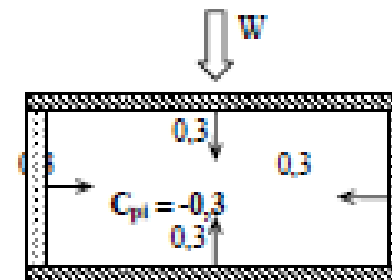


### Caso 3: duas faces opostas igualmente permeáveis, as outras duas impermeáveis

a) Vento perpendicular a uma face permeável:  
 $C_{pi} = +0,2$



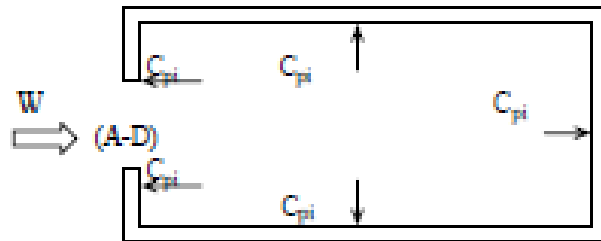
b) Vento perpendicular a uma face impermeável:  
 $C_{pi} = -0,3$



## ➤ Coeficientes de pressão e de forma internos

### Caso 4: abertura dominante em uma face, as outras faces de igual permeabilidade

a) Abertura dominante na face de barlavento:



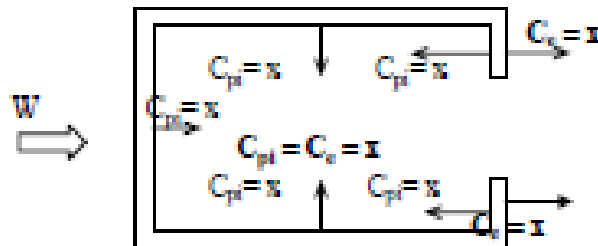
Neste caso, o valor do coeficiente  $C_{pi}$  é positivo (sobrepessão interna) e depende da relação de permeabilidade " $R_i$ ", definida por:

$$R_i = \frac{\Sigma \text{ das áreas das aberturas dominantes e das áreas de todas as aberturas na face de barlavento}}{\Sigma \text{ das áreas de todas as aberturas situadas nas faces submetidas a sucções externas (paredes ou cobertura)}}$$

| $R_i$    | $C_{pi}$ |
|----------|----------|
| 1,0      | +0,1     |
| 1,5      | +0,3     |
| 2,0      | +0,5     |
| 3,0      | +0,6     |
| $\geq 6$ | +0,8     |

b) Abertura dominante na face de sotavento:

- adotar valor do coeficiente de forma externo ( $C_e$ ) correspondente a esta face.



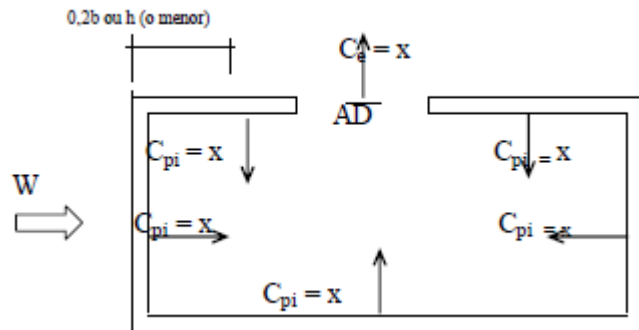
## ➤ Coeficientes de pressão e de forma internos

### Caso 4: abertura dominante em uma face, as outras faces de igual permeabilidade

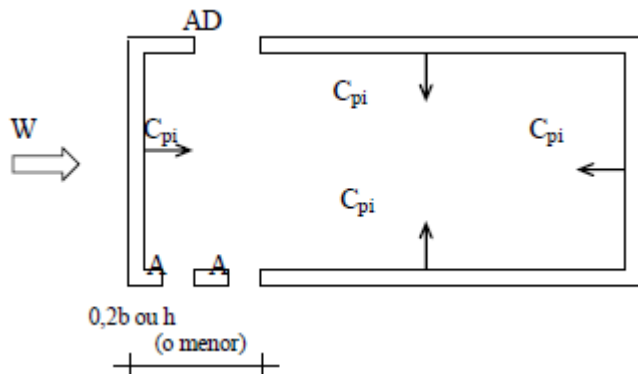
c) Abertura dominante em uma face paralela ao vento

i) Abertura dominante NÃO situada em zona de alta sucção externa

- Adotar valor do coef. de forma externo ( $C_e$ ) correspondente ao local da abertura nesta face



ii) Abertura dominante situada em zona de alta sucção externa



$C_{pi}$  depende da relação de permeabilidade  $R$ :

$$R_2 = \frac{\sum \text{da(s) área(s) da(s) abertura(s) dominante(s)} \\ \text{e das demais áreas situadas nesta zona}}{\sum \text{das áreas das outras aberturas situadas em} \\ \text{todas as faces submetidas a sucções externas}}$$

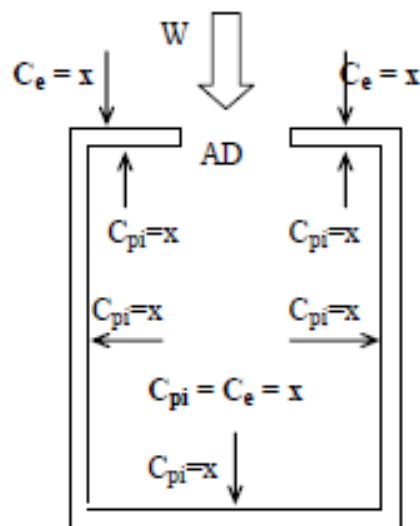
| $R_2$       | $C_{pi}$ |
|-------------|----------|
| 0,25        | -0,4     |
| 0,50        | -0,5     |
| 0,75        | -0,6     |
| 1,00        | -0,7     |
| 1,50        | -0,8     |
| $\geq 3,00$ | -0,9     |

## ➤ Coeficientes de pressão e de forma internos

### Caso 4: abertura dominante em uma face, as outras faces de igual permeabilidade

**SIMPLIFICAÇÃO:** Quando não for considerado necessário ou quando não for possível determinar com exatidão razoável a relação de permeabilidade ( $R$ ), deve ser adotado para o coeficiente de pressão interna, o mesmo valor do coeficiente de forma externo ( $C_e$ ), para as incidências de vento de  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , para a zona em que se situa a abertura dominante, tanto em paredes como em coberturas:

a) Para abertura dominante na face de barlavento:



b) Para abertura dominante situada em zona de alta sucção externa:

