

*J. Blessmann*

# Considerações sobre Alguns Tópicos para uma Norma de Vento

SÉRIE ENGENHARIA ESTRUTURAL/4



edições urgs



edições urgs

**Série Engenharia Estrutural**

EE-1 — *Efeitos do Vento em Edifícios e Cúpulas*

J. Blessmann

EE-2 — *Acidentes Causados pelo Vento*

J. Blessmann

EE-3 — *Intervalo de Tempo para Cálculo da Velocidade Básica do Vento*

J. Blessmann

EE-4 — *Considerações sobre Alguns Tópicos para uma Norma de Vento*

J. Blessmann

a seguir:

● *Estudo Aerodinâmico do Hotel Tropical de Manaus*

J. Blessmann

● *Vento em Cúpulas*

J. Blessmann

● *Comentários de Alguns Tópicos de Normas de Vento*

J. Blessmann

● *Vento em Construção. Um Estudo Experimental*

J. Blessmann

---

Pedidos à Editora Vozes Ltda.

Rua Riachuelo, 1280

90000 Porto Alegre, RS - Brasil

S CONS  
C755

CONSIDERAÇÕES SOBRE ALGUNS TÓPICOS  
PARA UMA NORMA DE VENTO

RESERVA TÉCNICA  
Editora da UFRGS



# Considerações sobre Alguns Tópicos para uma Norma de Vento

(Trabalho apresentado no Simpósio sobre  
Acciones en Estructuras – Tucumán, Argentina,  
13 a 17 de julho de 1970)

*Joaquim Blessmann*

- Engenheiro Civil
- Mestre e Doutor em Ciências pela Divisão de  
Engenharia Aeronáutica do  
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
- Professor Adjunto da  
Escola de Engenharia da UFRGS
- Pesquisador-Conferencista do  
Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq)

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Série Engenharia Estrutural / 4

---



EDITORA DA UFRGS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PORTO ALEGRE / 1974

RESERVA TÉCNICA  
Editora da UFRGS

Prof. IVO WOLFF, Reitor  
Prof. HOMERO SÓ JOBIM, Vice-Reitor  
Prof. WALTER OTTO CYBIS, Superintendente Acadêmico  
Prof. MANOEL MARQUES LEITE, Superintendente Administrativo

*Editora da URG*

BLASIO HUGO HICKMANN, Coordenador

*Conselho Editorial*

ANA IRIS DO AMARAL  
FLÁVIO LOUREIRO CHAVES  
FRANCISCO RIOPARDENSE DE MACEDO  
LOTHAR FRANCISCO HESSEL

Blessmann, Joaquim

Considerações sobre alguns tópicos para uma norma de vento.  
Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1974.

31p. ilust. 29,7cm (Série Engenharia Estrutural, 4)

Bibliografia: p.30-1

I. Título. II. Série.

CDU 624.042

CDD 624.175

© de Joaquim Blessmann, 1974

Nº de registro: 642

Nº de obra: 235

Data: 16/11/2009

## SUMÁRIO

Apresentação / 7

1 – Ações locais / 7

2 – Inclinação do telhado / 12

3 – Forma e proporções da construção / 17

4 – Interação e proteção / 22

5 – Resumo / 27

Bibliografia / 30



## APRESENTAÇÃO

No presente trabalho apresentamos resultados de ensaios, indicações e comentários sobre alguns dos tópicos que devem ser considerados em uma norma de efeitos do vento, em construções: sucções (ações locais, inclinação do telhado, forma e proporções da construção), interação e proteção.

### 1 – AÇÕES LOCAIS

a) A experiência mostra que apenas em circunstâncias excepcionais e ocasionais há o colapso total da estrutura. E mesmo nestes casos, em geral, a falha inicial foi local. Portanto, tanto do ponto de vista econômico como do estrutural é importante estudar com cuidado os altos esforços locais do vento, a fim de evitar estas falhas locais; não será necessário superdimensionar toda a estrutura.

Estas ações locais são constituídas por sucções de alto valor em zonas mais ou menos restritas. Aparecem em arestas e quinas de paredes e coberturas, principalmente para o vento incidindo obliquamente a uma fachada. Além da direção do vento, influi também a inclinação do telhado, a forma e as proporções da construção.

Também elementos que sobressaem da construção (chaminés, torres, cornijas, etc.) produzem turbilhonamento e uma esteira com sucções bastante elevadas.

No telhado, fortes sucções devem-se à formação dos 2 vórtices de topo, quando o vento incide obliquamente. Estes vórtices iniciam-se no canto mais a barlavento, desenvolvendo-se em forma cônica ao longo das 2 arestas do telhado.

São estas sucções, acima especificadas, só ou aliadas a uma sobrepressão interna, as responsáveis pelos casos cada vez mais freqüentes de arrancamentos parciais ou totais de coberturas planas ou de pequena inclinação, e constituídas de materiais leves. O arrancamento começa no canto mais solicitado; iniciado este, à sucção externa alia-se a sobrepressão interna, provocando o colapso parcial ou total do telhado.

Scruton e Newberry<sup>24</sup> observaram centenas de danos em telhados, na zona situada na esteira de chaminés, durante os temporais do inverno 1962-63, na Grã-Bretanha.

As sucções que aparecem na parte superior das arestas verticais devem ser devidamente consideradas. Os painéis de vedação de edifícios, cada vez mais leves, têm probabilidade crescente de serem arrancados. Foi o que aconteceu em um arranha-céu

de Nova Iorque, em março de 1966, onde o vento arrancou um painel entre 2 janelas, bem como os vidros de janelas do 18º e 21º pisos, nas proximidades da aresta vertical do edifício.<sup>10</sup>

b) Vários pesquisadores têm medido, em ensaios em túneis aerodinâmicos, valores destas sucções locais, tanto em construções altas como baixas, em vento de velocidade uniforme ou não. Os picos de sucção aparecem próximos à quina mais a barlavento. As coberturas dos modelos eram horizontais ou de pequena inclinação.

Salter,<sup>21</sup> modelo com telhado de uma água, dimensões  $l \times b \times h = 4 \times 1 \times 0,8$  (altura  $h$  medida na parede mais baixa), inclinação do telhado de  $6^\circ$ , encontrou  $c_p$  superior a  $-6$ , com vento incidindo a  $40^\circ$  com a fachada mais alta, e  $c_p$  superior a  $-4$  (para ambos entende-se superior em valor absoluto), vento a  $50^\circ$  com a fachada mais baixa.

Irminger e Nokkentved,<sup>14</sup> prisma de base quadrada, dimensões  $1 \times 1 \times 2,5$ , encontram na aresta vertical da parede e próximo ao topo, com vento a cerca de  $15^\circ$  com a fachada, uma sucção  $-1,6$ .

Nos ensaios de Iowa,<sup>7</sup> também em paredes, modelo  $4 \times 1 \times 0,5$ , telhado de 2 águas e  $15^\circ$  de inclinação, vento paralelo às fachadas menores: sucções de  $-1,4$  nestas fachadas, na parte superior de barlavento.

Nas Tabelas 1 a 4 são dados valores obtidos em diversos ensaios para picos de sucção em telhados. Chamamos a atenção para os elevados picos obtidos em certos ensaios, bem como para a influência nociva dos beirais (Tabela 4).

Em resumo, todos os ensaios citados mostram que há superfícies relativamente grandes com sucções acima de  $-1,5$ . Estas superfícies situam-se ao longo das arestas de paredes e telhados. Um exemplo típico de distribuição de pressões para vento oblíquo é dado na Fig. 1. No caso de beirais, às sucções, já aumentadas pela presença do beiral, se há de adicionar a sobrepressão porventura existente na superfície inferior.

TABELA 1  
Valores máximos de sucções locais; ensaios de Iowa<sup>7</sup>

Proporções $l \times b \times h$	$\theta$	$c_p$	Proporções $l \times b \times h$	$\theta$	$c_p$
2 x 1 x 0,5	$0^\circ$	-5,0	1 x 1 x 1,5	$15^\circ$	-3,4
2 x 1 x 1	$0^\circ$	-5,8	2 x 1 x 1	$15^\circ$	-3,3
2 x 1 x 1,5	$0^\circ$	-5,9	2 x 1 x 1,5	$15^\circ$	-4,0
4 x 1 x 1	$0^\circ$	-6,4	4 x 1 x 1	$15^\circ$	-3,2
4 x 1 x 1,5	$0^\circ$	-7,4	4 x 1 x 1,5	$15^\circ$	-3,9

Observações: 1 - Vento oblíquo, em torno de  $45^\circ$ .

2 - Com telhado a  $30^\circ$  ( $\theta$ ), os picos de sucção situaram-se entre  $-1,6$  e  $-1,0$ .

c) Solução para evitar as altas sucções locais: por detalhes arquitetônicos favoráveis. Por exemplo: platibandas. A existência de platibandas de altura suficiente, como mostraram os ensaios sistemáticos de Nacy<sup>18</sup> e Leutheusser,<sup>17</sup> evitam o aparecimento destas altas sucções locais nas coberturas. Isto pode ser constatado na Tabela 4, onde estão dados os maiores valores de sucção em cobertura plana, sem e com beiral ou platibanda, ensaios de Leutheusser.<sup>16,17</sup>

Nacy também verificou que o efeito máximo da platibanda aparece com vento a  $45^\circ$ . As máximas sucções médias em uma secção transversal também sofreram grande

redução: nos modelos de secção quadrada e  $h/b = 0,5, 1,0$  e  $1,5$ , baixaram de cerca de  $-1,6$  para valores em torno de  $-0,75$  (altura da platibanda entre  $0,05h$  e  $0,4h$ ; incidência do vento a  $45^\circ$ ). No modelo com  $l \times b \times h = 4 \times 1 \times 1$ , a redução foi de  $-2,02$  para  $-1,18$  (vide Tabela 5).

Quanto às sucções locais máximas, nos modelos de secção quadrada e  $h/b = 0,5, 1,0$  e  $1,5$ , elas baixaram de valores em torno de  $-3,8$  para  $-0,8$ , e isto mesmo com a menor das platibandas usadas ( $0,067$ ), para o modelo mais alto. Para o modelo de altura média ( $h/b = 1$ ),  $-0,8$  foi atingido com  $p = 0,1h$  e para o mais baixo ( $h/b = 0,5$ ), com  $p = 0,2h$ . Em outras palavras: quanto mais alta a construção, menor a altura relativa para se obter o máximo de efeito benéfico. Observe-se que as alturas absolutas das platibandas são iguais nos 3 casos. Para o modelo com  $l \times b \times h = 4 \times 1 \times 1$ , a sucção máxima baixou de  $-6,5$  para:

- 3,2 com platibanda  $0,05h$
- 1,9 com platibanda  $0,1h$
- 1,3 com platibanda  $0,2h$

TABELA 2  
Sucções locais máximas no telhado; ensaios de Jensen<sup>15</sup>

Proporções $l \times b \times h$	Inclinação do telhado $\theta$	Incidência do vento $\alpha$	$c_p$	Observações
2 x 1 x 0,5 telhado 1 água	0°	45°	-2,56	turbulência pequena
		45°	-3,60	turbulência pequena; vento incide parede + alta
	10°	45°	-4,36	idem
		45°	-4,16	idem
2 x 1 x 1 telhado 1 água	0°	45°	-3,70	turbulência pequena
		45°	-2,65	turbulência média
		45°	-1,64	turbulência grande
	6°	45°	-2,24	turbulência pequena; vento incide parede + baixa
		45°	-4,20	turbulência pequena; vento incide parede + alta
		45°	-2,54	turbulência grande; vento incide + alta
	10°	45°	-3,64	turbulência pequena; vento incide parede + alta
		45°	-2,83	turbulência grande; vento incide parede + alta
	15°	45°	-3,54	turbulência grande; vento incide parede + alta
	2 x 1 x 1 telhado 2 águas	5,7°	45°	-2,84
4 x 1 x 2	5,7°	45°	-2,86	turbulência pequena; vento incide parede + baixa
		40°	-3,66	turbulência pequena; vento incide parede + alta
		45°	-2,64	idem
4 x 1 x 2 telhado 2 águas	5,7°	45°	-3,08	turbulência pequena

**TABELA 3**  
Sucções locais máximas em cobertura plana<sup>3</sup>

Proporções l x b x h	$\alpha$	$c_p$	Proporções l x b x h	$\alpha$	$c_p$
2,5 x 1 x 10	45°	-3,31	16 x 6,4 x 32	45°	-3,60
16 x 3,2 x 32	45°	-3,14	32 x 3,2 x 16	30°	-2,25
16 x 3,2 x 10	30°	-2,37	32 x 6,4 x 16	30°	-3,01
Camada limite: 2,3cm			32 x 3,2 x 32	30°	-2,23

**TABELA 4**  
Valores máximos de sucção em telhados. Cobertura plana. Vento a 45°; ensaios de Leutheusser<sup>16,17</sup>

Proporções l x b x h	Detalhes	$c_p$
1 x 1 x 0,5	sem beiral e sem platibanda	-2,18
	com platibanda de altura = h/24	-2,24
	h/12	-1,00
	h/6	-0,7
	com beiral de largura = h/12	-3,70
1 x 1 x 1	sem beiral e sem platibanda	-2,05
	com platibanda de altura = h/48	-0,7
	h/24 e h/12	-0,6
	h/6	-0,5
com beiral de largura = h/24	-4,70	
1 x 1 x 2	sem beiral e sem platibanda	-1,20
	com platibanda de altura = h/48, h/24 e h/12	-0,7
	com beiral de largura = h/24	-4,40
2 x 1 x 0,5	sem beiral e sem platibanda	-3,33
	com platibanda de altura = h/24	-3,60
	h/12	-2,22
	h/6	-1,23
com beiral de largura = h/6	-4,50	
2 x 1 x 1	sem beiral e sem platibanda	-3,82
	com platibanda de altura = h/48	-3,50
	h/24	-1,43
	h/12	-1,03
	h/6	-0,77
com beiral de largura = h/12	-5,50	
2 x 1 x 2	sem beiral e sem platibanda	-3,80
	com platibanda de altura = h/48	-0,9
	h/24	-0,89
	h/12	-0,83
com beiral de largura = h/24	-6,20	

TABELA 5

Valores máximos de sucção média em uma secção de telhado. Com e sem platibanda. Cobertura plana. Vento a 45°, ensaios de Nancy.<sup>18</sup>

p/h	h/b	Valores de $c_p$ médio para:	
		l/b = 1	l/b = 4
0	0,5	-1,55	.....
0	1,0	-1,58	-2,02
0	1,5	-1,57	.....
0,1	0,5	-1,07	.....
0,05	1,0	.....	-1,90
0,2	0,5	-0,80	.....
0,1	1,0	-0,18	-1,55
0,067	1,5	-0,75	.....
0,4	0,5	-0,69	.....
0,2	1,0	-0,75	-1,18
0,133	1,5	-0,70	.....

p: altura da platibanda; h: altura do modelo  
l e b: dimensões em planta do modelo

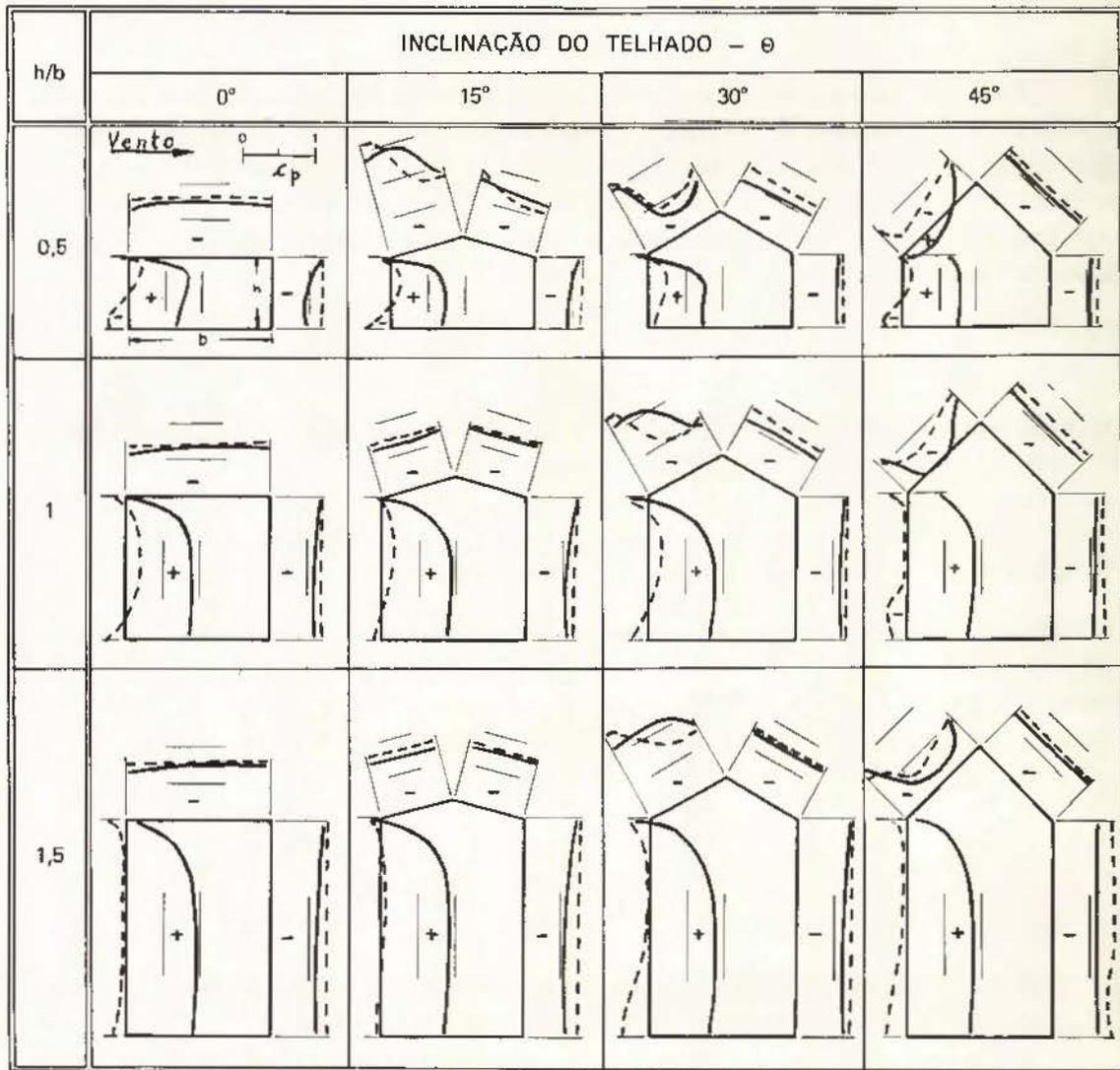
Whitbread e Packer, estudando uma cobertura em forma de parabolóide hiperbólico, constataram 2 vórtices de topo que ocasionavam sucções de até -5,50. Este pico de sucção foi diminuído para -0,7 pela introdução de uma pequena platibanda que deslocou o núcleo dos vórtices para longe da superfície do telhado.<sup>22</sup>

Newberry, Eaton e Mayne<sup>19</sup> estudaram os efeitos do vento em um edifício paralelepípedo, 18 x 42m em planta, de 18 pisos. Recomendam, para edifícios com proporções semelhantes, tomar  $c_p$  entre -1,0 e -1,5 para cargas nos revestimentos; valores extremos de até -2,50 próximo às arestas das faces. Velocidade do vento a considerar: a da rajada de 3 segundos, no topo do edifício.



da borda a barlavento. Também com o vento incidindo obliquamente, para telhados não muito inclinados, teremos sucção em todo o telhado. Os ensaios de Iowa, já citados, indicam sucções em todo o telhado, com o vento incidindo a 45° e para os modelos com telhado até 30° de inclinação (Fig. 1). Estas sucções com vento oblíquo (em torno de 45°) são bem superiores às obtidas com vento normal ou paralelo à fachada maior.

Geralmente as sucções no telhado, principalmente com pequenas inclinações de telhado, constituem os maiores esforços do vento sobre a construção. Há casos em que a força de sustentação é bastante superior ao peso próprio do telhado, causando o levantamento de todo o telhado ou inversão dos esforços em sua estrutura. Hangares leves devem estar ancorados em fundações com peso suficiente para absorver a força de



Seção média: — (1)

Seções próximas às bordas: - - - (2)

Escala única de  $C_p$ :

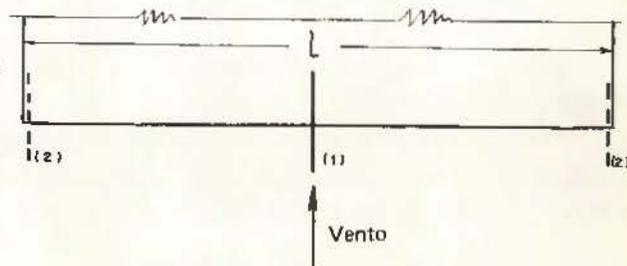


Fig. 2 - Pressões em modelos de construções. Vento a 90°  
Relação  $l/b = 4$

sustentação. Por outro lado, deve-se verificar o fenómeno de flambagem nas barras das treliças que passaram a ser comprimidas. Também os apoios devem estar aptos para absorver o empuxo com sentido invertido.

b) São clássicos os ensaios de Iowa,<sup>7</sup> a partir dos quais foi organizada a Figura 2, que apresenta os perfis de pressão, em termos de  $c_p$ , para diversas relações  $h/b$ , sendo  $l/b = 4$ . Verifica-se que as sucções com  $\theta = 15^\circ$  e mesmo  $30^\circ$  chegam a ser maiores que a  $0^\circ$ . Os ensaios de Iowa incluíram também as relações  $l/b = 2$  e  $1$ . A forma destes perfis é análoga aos correspondentes da Figura 2, com os seguintes valores máximos de sucções:

$$\begin{aligned} l/b = 2 & \dots\dots\dots c_p = -1,7 \\ l/b = 4 & \dots\dots\dots c_p = -1,4 \end{aligned}$$

Para facilitar uma estimativa visual, na figura estão marcadas as meias unidades de  $c_p$  junto aos perfis.

Quanto a valores médios em secções transversais da água de barlavento (coeficiente de forma  $C_e$ ), em linhas gerais  $C_e$  aumentou à medida que a construção tornou-se mais alargada e mais alteada. Máximo de  $C_e$  em vários casos apareceu com telhado com inclinação em torno de  $15^\circ$  (isto na curva contínua do gráfico, traçada a partir dos dados experimentais, com inclinações variando de  $15$  em  $15^\circ$ ). Alguns dos valores obtidos estão dados na Tabela 6.

TABELA 6

Máximas sucções médias em uma secção transversal a barlavento. Incidência oblíqua do vento; ensaios de Iowa.<sup>7</sup>

l x b x h	Valores de $C_e$ para	
	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 15^\circ$
4 x 1 x 1,5	-2,36	-2,60
4 x 1 x 1	-2,02	-1,76
4 x 1 x 0,5	-1,95	-1,71
1 x 1 x 1,5	-1,56	-2,06
1 x 1 x 1	-1,58	-1,70
1 x 1 x 0,5	-1,55	-1,40

A incidência do vento era oblíqua. Para vento normal à fachada temos os valores de  $C_e$ , calculados com as pressões na secção média, dados na Tabela 7.

Entre os valores obtidos por Jensen,<sup>15</sup> alguns estão dados na Tabela 8; a Tabela indica os limites entre os quais variaram os  $c_p$  na água de barlavento, vento normal à fachada.

Ensaio efetuados nos Laboratórios Eiffel,<sup>20</sup> em 1959, têm seus resultados apresentados na Tabela 9.

Pela norma francesa,<sup>8</sup> os valores de  $C_e$  na água de barlavento podem chegar a  $-1,65$ . Os maiores valores aparecem para ângulos entre  $8^\circ$  e  $12^\circ$ . Os ensaios de Pris,<sup>20</sup> que serviram de base para estas normas, alcançaram valores um pouco maiores:

$$\begin{array}{cccc} \theta = 0^\circ & 10^\circ & 20^\circ & 30^\circ \\ C_e = & -1,75 & -1,72 & -1,60 & -1,32 \end{array}$$

TABELA 7

Coefficiente de pressão média ( $C_e$ ) na secção central. Vento normal à parede. Água de barlavento; ensaios de Iowa.<sup>7</sup>

l x b x h	Inclinação do telhado $\theta$			
	0°	15°	30°	45°
4 x 1 x 1,5	-0,57	-0,81	-1,10	-0,35
4 x 1 x 1	-0,62	-0,62	-0,84	-0,18
4 x 1 x 0,5	-0,70	-1,30	-0,48	+0,08
2 x 1 x 1,5	-0,68	-0,68	-0,96	-0,11
2 x 1 x 1	-0,72	-0,70	-0,79	+0,05
2 x 1 x 0,5	-0,80	-1,35	-0,30	+0,13
1 x 1 x 1,5	-0,82	-1,08	-0,62	-0,04
1 x 1 x 1	-0,73	-0,94	-0,54	+0,04
1 x 1 x 0,5	-0,77	-1,05	-0,22	+0,20

TABELA 8

Coefficiente de pressão  $c_p$ . Vento normal à parede; ensaios de Jensen.<sup>15</sup> Água de barlavento.

l x b x h	$\theta$	Valores limites de $c_p$ (aprox)	Observações
4 x 1 x 2	5,7°	-1,14 a -0,27	uma água, vento de turbulência grande, incidindo do lado mais baixo
4 x 1 x 2	5,7°	-1,32 a -0,8	2 águas, vento de turbulência grande
2 x 1 x 1	5,7°	-1,1 a -0,6	2 águas, vento de turbulência média
2 x 1 x 0,5	5,7°	-1,25 a -0,5	2 águas, vento de turbulência pequena
4 x 1 x 1	20°	-1,25 a -0,45	2 águas, vento de turbulência pequena

c) Em resumo: o valor -0,5 dado por diversas normas como maior valor médio da sucção em cobertura plana ( $\theta = 0^\circ$ ) e horizontal é muito baixo, principalmente quando se consideram somente zonas do telhado. Com o vento normal à fachada, podemos chegar a valores de  $C_e$  em torno de -1,75, e com vento oblíquo, a valores tão altos como -2,60 (válidos não para o telhado todo, mas para parte dele). Além disso, os maiores valores podem surgir, não com cobertura plana e horizontal, mas sim com telhado inclinado. Examinando-se as curvas de variação dos coeficientes, curvas estas traçadas a partir dos ensaios, chega-se à conclusão de que os valores máximos aparecem entre 8° e 12° de inclinação do telhado, para certas proporções da construção e certas incidências do vento. Exatamente as inclinações muito em uso na arquitetura moderna, que, para agravar mais a situação, utiliza materiais de cobertura muito leves.

TABELA 9

Coeficiente de forma  $C_e$  em telhados. Vento normal à fachada maior (e à cumeeira), ensaios nos Laboratórios Eiffel,<sup>2º</sup> em 1959.

Proporções l x b x h	Ângulo telhado $\theta$	$C_e$ na água de barlavento   sotavento	
2 x 2 x 1	0°	-0,537	
2 x 4 x 1	0°	-0,337	
2 x 2 x 1	10°	-0,830	-0,330
2 x 2 x 1	20°	-0,470	-0,375
2 x 4 x 1	20°	-0,055	-0,360
1 x 5 x 5	20°	-1,030	-0,730
1 x 10 x 10	20°	-1,560	-1,330
1 x 20 x 20	20°	-1,560	-1,450

h medido até a cumeeira

### 3 – FORMA E PROPORÇÕES DA CONSTRUÇÃO

a) Certas formas e proporções conduzem a sucções muito elevadas, não só em telhados (em parte já estudado no item anterior), mas também em paredes. Citaremos alguns exemplos.

O vento, incidindo axial ou quase axialmente em uma construção alongada, provoca sucções elevadas na zona mais a barlavento das paredes e do telhado; estas sucções decaem rapidamente para valores baixos na zona de sotavento. Praticamente independem do ângulo do telhado; este pode mesmo ser curvo.

A Figura 3 apresenta a distribuição das pressões em um corte horizontal a meia altura das paredes, e em um corte vertical no eixo longitudinal da cobertura plana, conforme ensaios de Iowa.<sup>7</sup> Na figura estão dadas as proporções  $l \times b \times h$ ; para facilitar uma estimativa visual estão dadas as meias unidades de  $c_p$  junto aos perfis.

O autor<sup>3</sup> constatou estas mesmas sucções elevadas a barlavento das paredes laterais, com queda súbita na zona de sotavento, em modelos de maior alteamento (vide Fig. 4, para  $0^\circ$ ). As maiores sucções laterais foram obtidas em modelo de proporções  $10 \times 1 \times 10$ :  $c_p = -0,99$  para  $0^\circ$ , próximo ao topo, e  $-1,16$  para  $5^\circ$ , na mesma tomada de pressão.

b) Também com o vento incidindo obliquamente aparecem sucções elevadas em grandes zonas tanto da parede de sotavento como da água do telhado de sotavento. Em Iowa<sup>7</sup> grandes sucções foram encontradas com vento a  $45^\circ$  (vide Fig. 1), em construções baixas.

Certos edifícios de pouca profundidade funcionam como verdadeiras asas, para vento incidindo pouco obliquamente em relação à fachada maior (pequeno *ângulo de ataque*). Na Figura 4 vemos um modelo em que isto aconteceu para vento a  $30^\circ$  (sucção local máxima de  $-1,19$ ). Também a  $15^\circ$  as sucções a sotavento foram elevadas. As proporções do modelo eram  $10 \times 1 \times 5$ .<sup>3</sup>

Em prismas de secção quadrada de grande alteamento (torres, edifícios, etc.) aparecem sucções altas no topo e também nas paredes, em sua parte superior.

Em ensaios que realizamos, com modelo de proporções  $1 \times 1 \times 10$ , formou-se um *bulbo* de sucções no topo plano do modelo e na zona superior das paredes laterais e de sotavento, com valores entre  $-1,20$  e  $-1,61$ . Vento normal à fachada. Com vento a  $45^\circ$  os maiores valores foram  $-1,59$  no topo e  $-0,82$  nas paredes.<sup>3</sup>

Baines,<sup>15</sup> ensaiando modelo  $1 \times 1 \times 8$ , encontrou  $-1,0$  no topo e nas paredes, próximo ao topo, para vento normal à parede, uniforme. Para vento não uniforme (perfil de velocidade),  $-0,6$  em ambas as regiões. Para  $45^\circ$  estas sucções foram menores:

-0,7 no topo e entre -0,6 e -0,7 na parte superior das paredes, com vento uniforme. Para vento não uniforme baixaram para -0,45 e -0,4, respectivamente.

Jensen<sup>15</sup> encontrou os seguintes valores máximos de sucção, em modelo 1 x 1 x 2,4:

Topo, turbulência pequena, vento a 45° : -2,40

Topo, turbulência grande, vento a 45° : -1,80

Topo, turbulência pequena, vento a 90° : -0,73

Topo, turbulência grande, vento a 90° : -0,94

É de assinalar que com turbulência pequena, vento a 90°, as sucções no topo foram praticamente uniformes:  $-0,70 \pm 0,03$ . Enquanto que, para turbulência grande, variaram de -0,94 a -0,16.

Parede, turbulência pequena, vento a 11° : -1,18.

(sucções de -1,00 apareceram na parte mais de barlavento próximo ao topo e próximo à base)

c) Edifício Pirelli, Milão, constituído por faces planas (Fig. 5). Alcançou-se, próximo ao terreno, uma sucção de -2,86, para vento a 15°, com o eixo horizontal maior do edifício. Observem-se as elevadas sucções que aparecem em várias zonas superiores em muito aos valores de normas. O momento de torção é bastante elevado.

d) No estudo do modelo da cúpula do Hotel Tropical de Manaus (Hemisfera de 300 metros de diâmetro), na face superior do lanternim obtivemos picos de sucção que atingiram um máximo de -2,73, próximo à borda de ataque<sup>4</sup> (vento não uniforme turbulento).

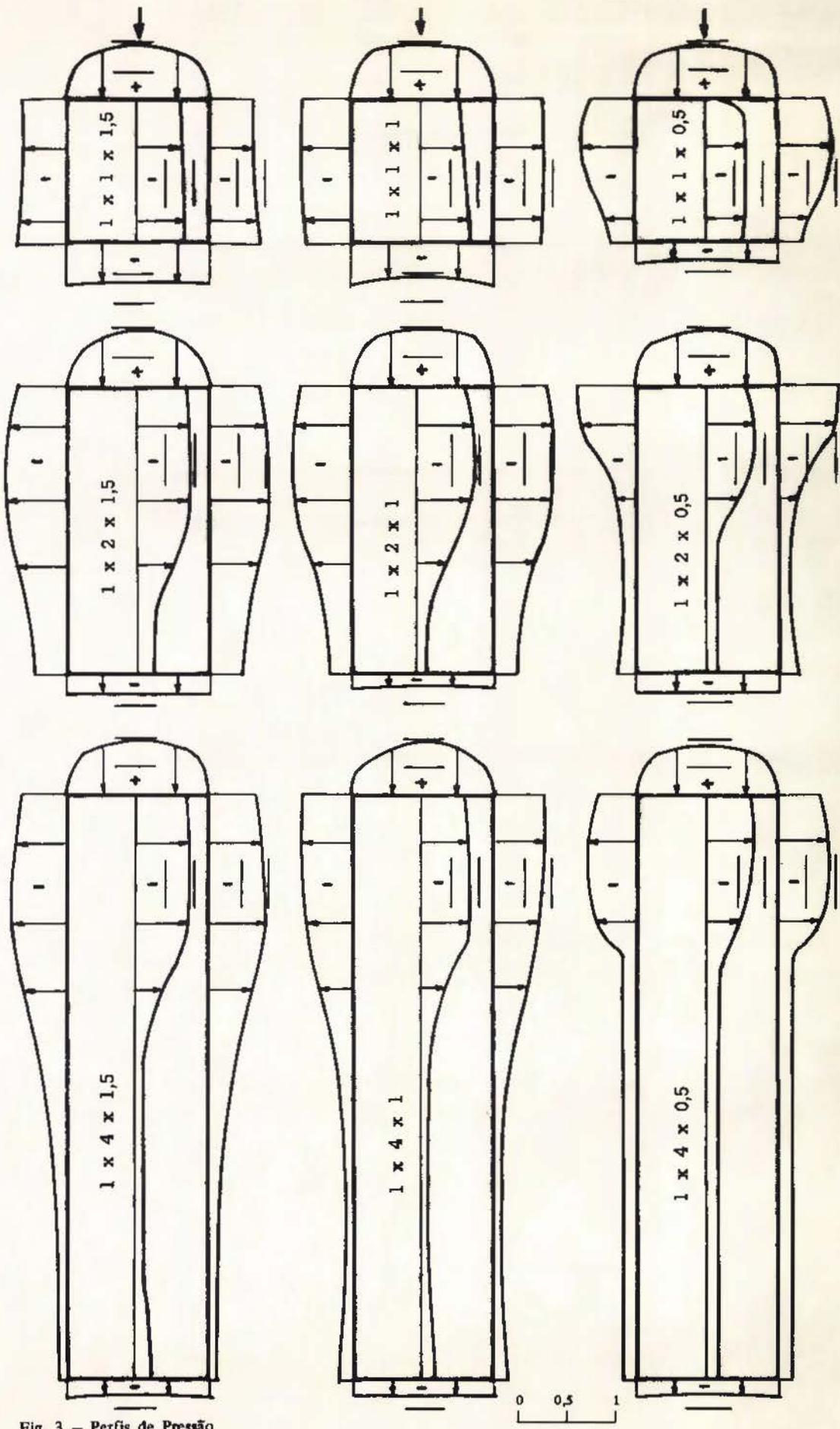
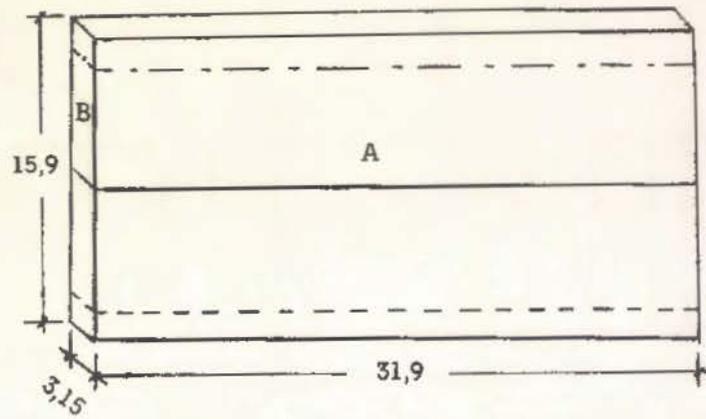


Fig. 3 - Perfis de Pressão



Localização das Secções

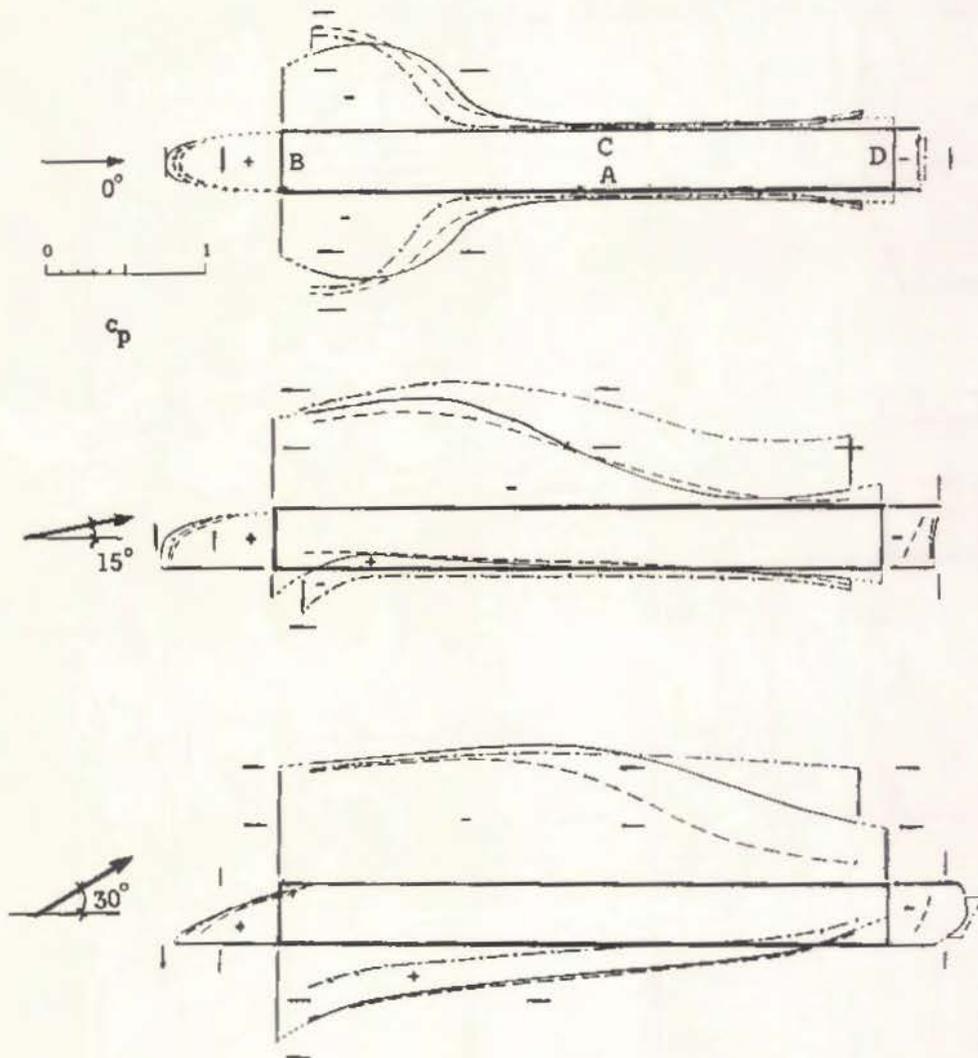


Fig. 4 - Perfis horizontais de pressão

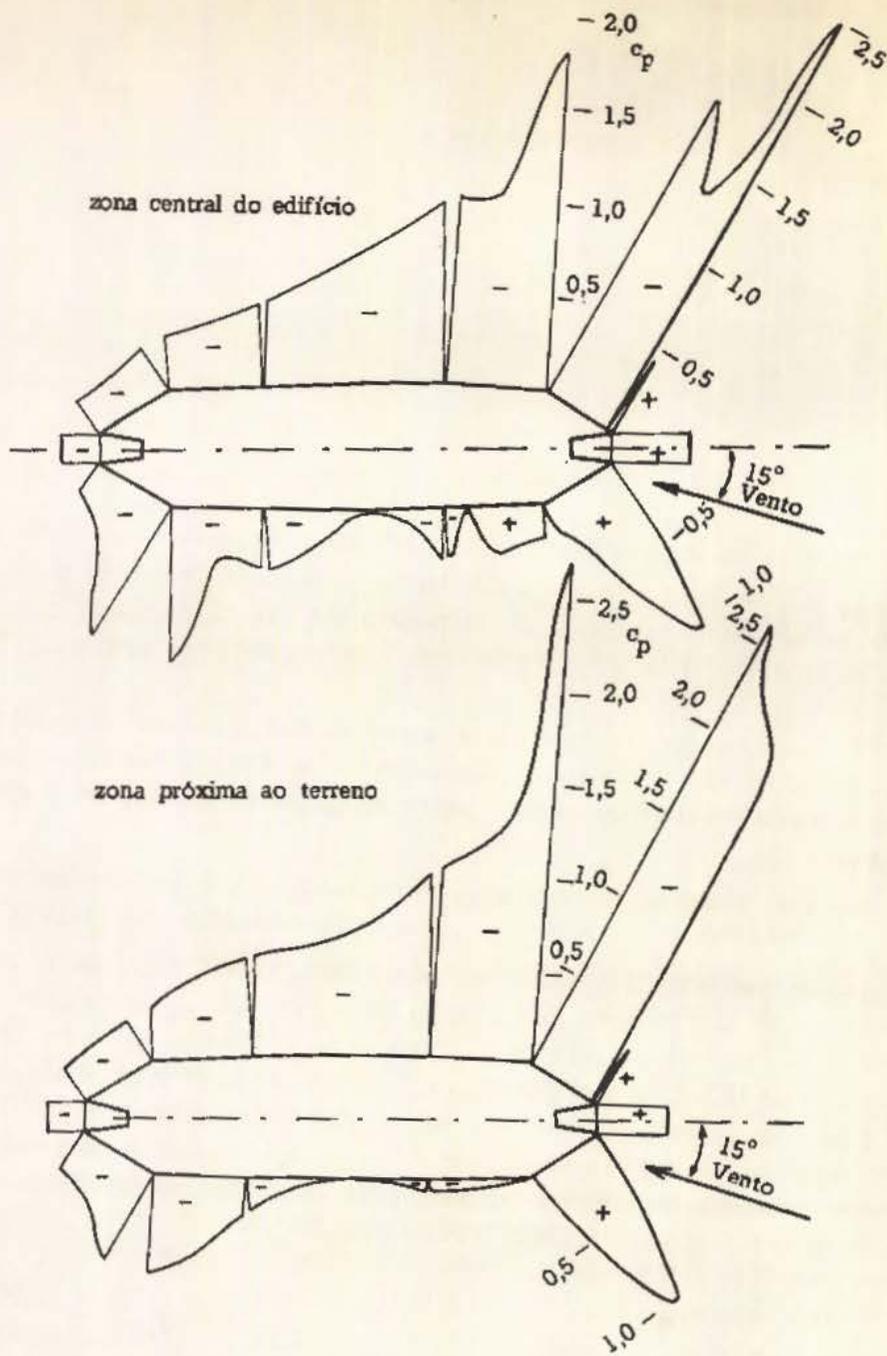


Fig. 5 - Edifício Pirelli, Milão

#### 4 – INTERAÇÃO E PROTEÇÃO

a) Neste item estudam-se as alterações no fluxo e nas pressões em torno de uma construção pela existência de uma outra construção ou obstáculo qualquer nas proximidades. Estas perturbações no fluxo tanto podem ser favoráveis como prejudiciais. Um caso típico já vimos no item 1, "Ações locais": altas sucções na esteira de chaminés e torres.

Harris<sup>13</sup> verificou, em ensaio em túnel aerodinâmico, que 2 edifícios que estavam projetados para serem construídos nas proximidades do Empire State Building, Nova Iorque, praticamente duplicariam os esforços de torção neste último, até a altura dos 2 projetados edifícios.

b) Bailey e Vincent<sup>1</sup> constataram, entre outras alterações, um aumento das sucções nos telhados e das sobrepressões nas paredes de construções situadas próximas.

c) Ensaios realizados em Iowa<sup>7</sup> em construções baixas e alongadas indicaram um grande aumento das sucções nas paredes adjacentes de 2 construções vizinhas colocadas próximas e paralelas, para certos ângulos de incidência do vento. Se o afastamento  $a$  é cerca de 10% da largura da construção (dimensão na direção do afastamento), as sucções locais nas paredes frontantes são praticamente o dobro (e às vezes mais) das sucções existentes na construção isolada. Citemos alguns valores máximos das sucções nas faces frontantes, vento a  $60^\circ$  com estas faces; afastamento das construções de 6,25% da largura  $b$ , i. é,  $a/b = 0,0625$ . Valores de  $c_p$ :

$l/b$	:	$\frac{1}{2}$	1	2	4
construção isolada	:	-0,70	-0,91	-1,08	-0,98
2 construções	:	-2,00	-2,54	-2,65	-2,34

Estes valores apareceram próximos à base e à aresta de barlavento. Para outros afastamentos os valores máximos são menores, e apareceram com o vento incidindo normalmente nas faces frontantes, também próximo à aresta de barlavento, porém a meia altura ou próximo ao topo.

Quanto às sucções médias ( $C_e$ ) nas faces frontantes, também há um aumento em relação à sucção média na parede de sotavento da construção isolada, vento normal às faces frontantes. Os maiores valores foram:

$l/b$	:	$\frac{1}{2}$	1	2	4
$C_e$ para construção isolada	:	-0,68	-0,83	-0,70	-0,43
2 construções	afastamento $a/b$ :	0,500	0,500	1,00	0,250 e 0,500
	$C_e$ :	-1,13	-1,08	-0,84	-0,58

Se o afastamento é grande, o aumento das sucções nas faces confrontantes é pequeno. Este aumento vai crescendo à medida que os dois modelos se aproximam, até atingir um valor máximo. Para as sucções locais este máximo é atingido com um afastamento em torno de 10%; para as sucções médias ( $C_p$ ), com um afastamento de cerca de 50%. Aproximando-se mais ainda os modelos, as sucções vão diminuindo cada vez mais, pois a passagem do fluxo é cada vez mais dificultada.

d) Este fenômeno, estudado em Iowa para construções baixas, foi constatado também em construções alteadas.<sup>5</sup> Valores bastante elevados de sucção apareceram nas faces confrontantes, nas proximidades da aresta de barlavento. O maior de todos foi -3,6 para 0° de incidência do vento (vento paralelo às faces confrontantes) e um afastamento  $a = 0,25 b$ . Os maiores valores locais obtidos foram:

afastamento relat. a/b :	0,075	0,125	0,25	0,50	1,00	2,00
$c_p$ :	-3,2	-2,8	-3,6	-3,4	-3,1	-2,4
$\alpha$ :	30°	60°	0°	0°	0°	0°

$\alpha$  é o ângulo entre a direção das faces confrontantes e o vento.

Quanto às sucções médias nas faces confrontantes, em alguns modelos o aumento foi de 60% em relação ao modelo isolado.

O esforço global do vento sobre os 2 modelos, em certas condições de afastamento e de incidência do vento, foi menor do que sobre um modelo isolado.

Devido à grande obstrução no túnel, estes resultados têm apenas valor de ordem de grandeza. São de esperar valores reais menores. Porém a marcha do fenômeno é análoga, como o confirmam resultados obtidos por outros pesquisadores.

e) D'Havé,<sup>9</sup> na Bélgica, estudando 2 edifícios vizinhos e em fluxo bidimensional, mostrou que a força global em um edifício era diminuída pela presença de outro nas proximidades. Os resultados obtidos foram:

#### Valores de $C_g$

Modelos bidimensionais. Proporção das dimensões em planta:  $l \times b = 2 \times 1$ , ensaios de D'Havé.

$\alpha$	Modelo isolado	2 modelos com afastamento			
		0	$\frac{1}{2}b$	b	2b
0°	2,10	1,90	1,25	1,30	1,40
90°	1,50	1,90	1,60	1,50	1,40

f) Scruton e Newberry<sup>24</sup> também chamam a atenção de que em conjuntos de edifícios altos podem aparecer altas sucções nas faces confrontantes para certas orientações do vento. Além disso, "em edifícios sobre pilares o vento passa por baixo como por um orifício; parte do vento que incide na fachada é afunilado e passa acelerado sob o edifício, dando origem a altas sucções, que devem ser consideradas no projeto do teto da parte aberta".

g) Este fato observamos também em nossos ensaios.<sup>3</sup>

Modelo de proporções:  $l \times b \times h = 8 \times 1,6 \times 5$

Altura acima do solo: 0,4 b

$\alpha$ :	90°	75°	60°	45°	30°
$c_p$ :	-1,58	-1,62	-1,59	-1,48	-1,37

Modelo de proporções:  $l \times b \times h = 8 \times 1,6 \times 4$

Altura acima do solo: 0,4 b

$\alpha$	: 90°	75°	60°	45°	30°
$c_p$	: -1,38	-1,59	-2,17	-1,59	-0,93

O ângulo  $\alpha$  medido a partir da aresta  $b$ .

O valor máximo de sucção, -2,17, em uma tomada próxima à quina de barlavento.

O mesmo fenômeno de concentração e correspondente aceleração das linhas de fluxo ocorre quando só parte do andar térreo é livre (passagem de veículos, *play-ground*, etc). Em Porto Alegre, em uma passagem de veículos no andar térreo de um edifício de 15 pisos, as placas de revestimento do forro foram arrancadas pela sucção.

h) Estes fenômenos estão muito bem assinalados nas normas de vento do Building Research Station, Grã-Bretanha:

"Quanto maior o aumento da velocidade do vento, maior será a sucção. Assim, o afunilamento do vento entre dois edifícios pode produzir severas sucções nas faces confrontantes. Passagens abertas através e sob grandes blocos em forma de placas (*slab-like blocks*, os chamados *muros habitáveis*) estão usualmente sujeitas a altas velocidades do vento através delas, devido à diferença de pressão entre as faces dianteira e traseira do edifício; as superfícies de tais passagens são particularmente propensas a altas sucções, que podem danificar as vidraças e revestimentos".<sup>a</sup>

i) Alguns problemas causados por uma falsa *proteção* são relacionados por Esquillan:

"Na Inglaterra um anemômetro situado 30m atrás de uma fileira de casas acusou acréscimos locais de velocidade do vento de 9m/s a 22m/s. Na Suíça a cobertura de uma piscina que se comportava bem há vários anos sofreu danos após a construção de um edifício alto (*immeuble-tour*) em sua vizinhança.

Na Bélgica, cortinas metálicas foram deformadas; vitrines e os objetos que elas continham foram aspirados para a rua por um vento canalizado entre 2 fileiras de casas, porque esta disposição causa velocidades particularmente fortes".

Também em Porto Alegre, em 1969, uma cortina metálica de portão de garagem foi deformada e parcialmente deslocada pela força do vento, em pleno centro da cidade (edifício sede do Banco do Estado do Rio Grande do Sul).

"Na Inglaterra, em Ferrybridge, 2 filas de 4 torres de refrigeração hiperbólicas, de 115m de altura e 92m de diâmetro na base, sofreram o efeito de um vento de 23,6m/s (85km/h) de velocidade média horária, com pontas de rajadas de 43,2m/s (155km/h). A direção do vento estava orientada a 45° em relação ao eixo horizontal das filas de torres. Três das torres da segunda fila, na esteira da primeira, ruíram. Uma das causas deste acidente foi a aceleração da velocidade do vento, por um efeito Venturi".<sup>b</sup>

j) Baines,<sup>2</sup> estudando modelo em forma de torre (1 x 1 x 8), chama a atenção para a existência de um fluxo com componente para baixo, a partir da parte anterior do modelo. Com isto a velocidade do fluxo a sotavento tende mais para a uniformidade do que na frente do modelo (foi usado um perfil de vento semelhante ao natural). A conclusão a que chega Baines é que uma construção pequena, a sotavento da grande, estará submetida a velocidades maiores do vento.

k) Haddon<sup>12</sup> estudou modelo com telhado a 1 água (B) e a influência nas pressões neste modelo pela existência de 1 ou 2 outros modelos iguais e situados nas

a - BUILDING RESEARCH STATION, Garston. *Wind loading on buildings-I*, Garston, 1968. (Digest, 99).

b - ESQUILLAN, N. Les effets de la neige et du vent sur les constructions et les règles N65. *Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics*, Paris, (25):1484, oct. 1968.

proximidades: modelo A a barlavento e modelo C a sotavento do modelo B. Dimensão dos modelos na direção do vento: 2" (5,1cm).

**1ª Posição:**

Distâncias entre A e B: 4" (10,2cm); entre B e C: 6" (15,2).

Modelo B com parede mais alta a barlavento; modelos A e C com parede mais alta a sotavento.

Sucções médias no telhado do modelo B:

Modelo B isolado.....	-0,6
Modelos A, B e C .....	-0,32
Modelos A e B ..... em torno de .....	-0,4
Modelos B e C ..... em torno de .....	-0,7

Ou seja: o modelo a barlavento ou 1 modelo a barlavento e 1 a sotavento de fato protegem. Porém só um modelo a sotavento aumenta a sucção no telhado do modelo B. Isto para o caso do vento incidindo do lado da parede mais alta do modelo B.

**2ª Posição:**

Distâncias entre A e B: 6" (15,2cm), exceto quando indicada outra distância; entre B e C: 4" (10,2cm).

Modelo B com parede mais alta a sotavento; modelos A e C com parede mais alta a barlavento;

Modelo B isolado: maior sucção média e maior pico de sucção, que atingiu -1,1;

Modelos A, B e C: sucção média baixa para -0,15;

Modelo B (afastamento 4"): sucção média aproximada -0,2;

A influência do modelo C foi neste caso muito pequena.

Portanto, com o vento incidindo contra a parede mais baixa do modelo B, sempre tivemos proteção ou só uma pequena alteração.

1) Hamilton<sup>23</sup> estudou o caso de 2 edifícios de secção quadrada, com um pequeno afastamento entre eles, ficando as faces confrontantes paralelas ( $\beta = 0^\circ$ ), ou convergindo para barlavento (Fig. 6). O vento incidia diretamente contra a fresta existente entre os edifícios. Também neste caso foi constatado um grande aumento de sucções, em relação ao modelo isolado. O maior valor apareceu com  $\beta = 5^\circ$ . Velocidade do vento variável com altura.

Eis alguns dos resultados:

$\beta$	$0^\circ$	$5^\circ$	$5^\circ$
Afastamento a/b	0,17	0,075	0,42
$c_p$ max	-1,26	-1,78	-1,20

$c_p$  max no modelo isolado: -0,8.

Os efeitos foram ainda maiores no caso de vento uniforme.

Na Figura 6b aparece uma configuração recentemente ensaiada no National Physical Laboratory, Grã-Bretanha. A distribuição de pressões foi alterada, mas a máxima sucção foi inferior a do modelo isolado.

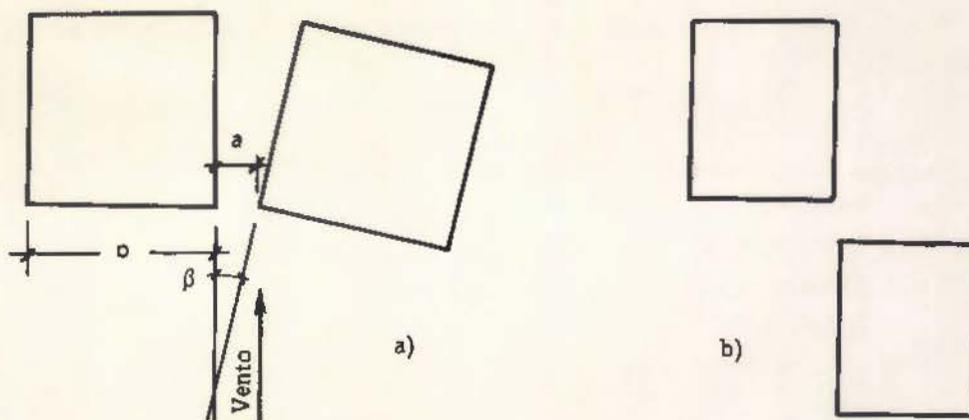


Fig. 6

m) Newberry, Eaton e Mayne<sup>22</sup> verificaram marcante efeito de proteção no edifício em que estudaram a ação do vento natural. Para o vento soprando de um lado, sem obstruções importantes, o coeficiente de forma foi  $C_e = +0,83$ . Para o vento soprando do lado oposto, com edifícios (embora nem muito próximos nem densamente situados),  $C_e$  baixou para  $+0,24$ . Como se vê, um efeito notável de proteção.

## 5 - RESUMO

a) A primeira conclusão é a de que o problema aerodinâmico do vento é demasiadamente complexo para ser reduzido a umas poucas tabelas e fórmulas. Uma norma, para ser razoavelmente completa, perde em simplicidade de aplicação.

Obras excepcionais e ou de formas diferentes deverão sempre ser ensaiadas em túnel aerodinâmico, procurando-se reproduzir o perfil do vento existente no local da construção e também a ordem de grandeza da turbulência (intensidade e escala).

### b) *Ações locais*

Fortes valores de sucções aparecem junto às arestas de paredes, coberturas e elementos salientes da construção (chaminés, por exemplo). Os vórtices de topo, com vento incidindo obliquamente, originam picos violentos de sucção junto aos cantos dos telhados. Os beirais agravam a situação, enquanto que platibandas, desde que não sejam demasiadamente baixas, diminuem muito estas sucções elevadas. Picos de sucção acima de -5,0 já foram obtidos em diversos ensaios.

### c) *Inclinação do telhado*

Com o vento normal à fachada principal nem sempre as maiores sucções aparecem com cobertura plana, como indicam algumas normas. Para certas proporções o ângulo mais nocivo situa-se entre 8° e 12°. Sobrepressões aparecem para telhados com inclinações maiores que 35°, aproximadamente (depende de diversos fatores: altura da parede, rugosidade do solo, existência de muros, árvores, turbulência do vento, etc).

A água de sotavento está sempre em sucção.

Com o vento soprando axialmente (paralelo à cumeeira), todo o telhado está em sucção. Esta sucção é maior nas proximidades da borda de barlavento, podendo chegar a valores em torno de -1,0.

Em construções leves a força ascensional pode ser superior ao peso próprio do telhado, obrigando a uma cuidadosa ancoragem.

Com o vento normal à fachada pode-se chegar a valores de  $C_e$  em torno de -1,75, para a água de barlavento. Na água de sotavento os valores são bem menores. Com o vento oblíquo  $C_e$  pode atingir, para partes do telhado, -2,60.

### d) *Forma e proporções da construção*

Há formas e proporções particularmente sujeitas a altos esforços do vento. Edifícios muito altos e de pequena profundidade apresentam um *efeito de asa*, com 27

elevadas sucções sobre toda a parede de sotavento, vento oblíquo. Mediu-se um máximo de sucção em torno de  $-1,20$ , e valores médios sobre mais da metade da parede, ultrapassando  $-1,0$ .

Torres de secção quadrada (ou aproximadamente quadrada) e de grande altura apresentam sucções elevadas em toda a parte superior das paredes situadas na esteira, e na cobertura. Os valores medidos chegaram a  $-2,40$ .

Edifícios com formas não paralelepípedicas podem conduzir a sucções (e torções) mais elevadas:  $-2,86$  no modelo do Edifício Pirelli, Milão.

No lanternim da cúpula do Hotel Tropical de Manaus:  $-2,73$ .

#### *e) Interação e proteção*

Muitas vezes a proteção oferecida por um obstáculo é negativa; agrava a situação. Nas paredes confrontantes de edifícios vizinhos surgem fortes sucções, tanto para o vento incidindo normalmente a uma fachada, como obliquamente. As sucções locais medidas atingiram  $-2,65$  em edifícios baixos e  $-3,6$  em edifícios altos.

O esforço global em 2 edifícios vizinhos pode ser menor do que em um edifício isolado.

Também o vento que passa sob um edifício pode causar sucções altas no teto do pavimento aberto.

Construções situadas na esteira de outras podem ter sua situação agravada e mesmo vibrar e entrar em colapso (chaminés metálicas, torres de refrigeração, por exemplo).

f) A Figura 7 procura sintetizar parte do que foi exposto.

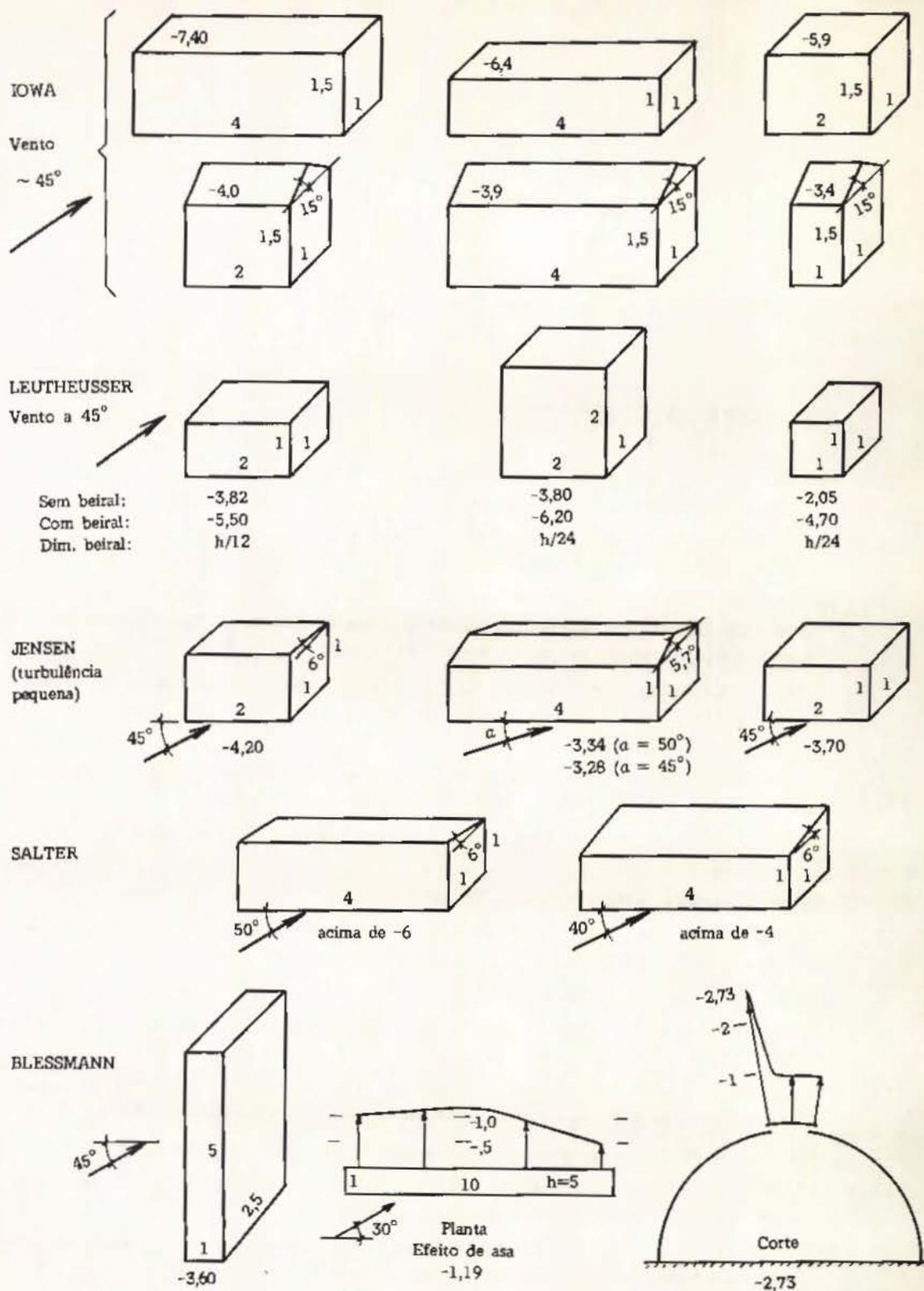


Fig. 7 - Altas sucções locais e "efeito de asa"

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. - BAILEY, A. & VINCENT, N. D. G. Wind pressure on building including effects of adjacent buildings. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, London, Excerpt, Oct. 1943. Paper 5367.
2. - BAINES, W. *Effect of velocity distribution on wind loads on a tall building*. Toronto, University of Toronto, Department of Mechanical Engineering, 1962. p.1-19 (Technical Publication Series, 6203)
3. - BLESSMANN, J. *Efeitos do Vento em Construções Cíveis*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Setor de Biblioteca e Documentação, 1964. Tese apresentada para obtenção do grau de Mestre em Ciências.
4. - — "Estudo Aerodinâmico da Cúpula do Hotel Tropical de Manaus". In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 14., Buenos Aires, 1970. *Anais*. Buenos Aires, C.E.I., 1971. v.2, p.273-304.
5. - — "Um Estudo Qualitativo do Fenômeno de Interferência". In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 11., São Paulo, 1966. São Paulo, Edanee, 1968. p.585-600.
6. - BUILDING RESEARCH STATION, Garston. *Wind loading on buildings -1*. Garston, 1968. (Digest, 99)
7. - CHIEN, N.; FENG, Y.; WANG, H.; SIAO, T. *Wind-tunnel studies of distribution on elementary building forma*. Iowa, Iowa Institute of Hydraulic Research, 1951.
8. - COMMISSION DES RÈGLES NEIGE ET VENT, Paris. *Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions; Règles N.V.65*. Paris. 1965.
9. - D'HAVÉ, R. Informação epistolar, set. 1968.
10. - ENGINEERING approach to designing glass for wind. *Architectural Record*, New York, N. Y., 77:163-6, Feb. 1967.
11. - ESQUILLAN, N. Les effets de la neige et du vent sur les constructions et les règles N.V. 65. *Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics*, Paris, (25):1484-520, oct. 1968.
12. - HADDON, J. D. Suction on single slope roofs. *Engineering*, London, 184:732-3, Dec. 6, 1957.
13. - HARRIS, C. L. Influence of neighboring structures on the wind pressure on tall buildings. *Bureau of Standards Journal of Research*, Washington, D. C., v.12, Jan. 1934.
14. - IRMINGER, J. O. & NÖKKENTVED, C. *Wind-pressure on buildings. Experimental researches, second series*. Copenhagen, Danmarks, Naturvidenskabelige Samfund, 1936.
15. - JENSEN, M. & FRANCK, Niels. *Model scale testes in turbulent wind; part II*. Copenhagen, Danish Technical Press, 1965.
16. - LEUTHEUSSER, H. J. *The effects of eaves on the roof pressure-coefficients of block-type and cylindrical structures*. Toronto, University of Toronto, Department of Mechanical Engineering, 1965. (Technical Publication Series, 6503)
17. - —. *The effects of wall parapets on the roof pressure-coefficients of block-type and cylindrical structures*. Toronto, University of Toronto, Department of Mechanical Engineering, 1964. (Technical Publication Series, 6404)

18. - NACY, P. S. *Modification on pressure distribution around buildings due to parapets*. Iowa, State University of Iowa, 1951. M. S. Thesis.
19. - NEWBERRY, C. W.; EATON, K. J.; MAYNE, J. R. "The nature of gust loading on tall buildings". In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDING AND STRUCTURES, Ottawa, 1957. *Proceedings*. Ottawa, 1957. v.1, p.399-428.
20. - PRIS, M. R. Etudes aerodynamiques VII; determination des pressions dues a l'action du vent sur les toitures des batiments rectangulaires en plan en contact avec le sol. *Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics*. Paris, (186):589-620, juin. 1963.
21. - SALTER, C. Wind loadings on flat-roofed buildings. *Engineering*, London, 186:508-10, Oct. 17, 1958.
22. - SCRUTON, C. "Introductory review of wind effects on buildings and structures". In: NATIONAL PHYSICAL LABORATORY, Symposium, 16., Teddington, 26-8 Jun. 1963. *Wind effects on buildings and structures*. London, Her Majesty's Stationery Office, 1963. v.1, p.9-25.
23. - —. "Wind drag and pressure loads on tower-shaped structures in atmospheric winds". In: CONFERENCE ON TOWER SHAPED STRUCTURES, Hague, 24-6Apr. 1969. *Proceedings*. Delf, Technological University, Organization for Applied Scientific Research in the Netherlands TNO, s.d. p.65-90.
24. - SCRUTON, C. & NEWBERRY, C. W. On the estimation of wind loads for buildings and structural design. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, London, 25:97-126, June 1963.

Impresso na  
Gráfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
para a Editora da URG  
em agosto de 1974