

J. Bressmann

PRESSÃO INTERNA

SÉRIE ENGENHARIA ESTRUTURAL / 5



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

EE-5 — *Pressão Interna*
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

FRES
P935

PRESSÃO INTERNA

1 – INTRODUÇÃO

a) “Quando o telhado de cobre da Catedral Ribe na Dinamarca foi renovado cerca de 25 anos atrás, a importância das aberturas em saliência que estavam no telhado desde velhos tempos foi esquecida e elas foram removidas, com o resultado de que o novo telhado foi arrancado durante a primeira tempestade depois da renovação. As aberturas foram recolocadas e não houve mais problemas desde então”.^a Assim descrevem Irminger e Nökkentved este acidente característico, devido às pressões internas em telhados impermeáveis ao ar (cobre, zinco, feltro, etc.).

Uma construção, para ser habitável, não pode ser estanque ao ar. Além da sufocação dos habitantes, a diferença entre a pressão interna e externa em um dia de ventania faria romper alguma parte da construção: janelas, portas, telhado, painéis de revestimento, etc. Se, por exemplo, a pressão atmosférica baixar de 760mm para 740mm de mercúrio, externamente, e a construção for estanque, haverá uma sobrepressão interna de 270kgf/m^2 agindo sobre todas as superfícies limítrofes.

Os mesmos autores acima citados transcrevem uma descrição de Orsted de um tornado americano, em 1838, onde “uma súbita queda na pressão do ar externo causou uma sobrepressão interna tão poderosa que a construção despedaçou-se e fragmentos de tecidos foram encontrados comprimidos em fendas das paredes”.^b

b) No interior de uma construção (não estanque) a pressão existente tem um valor intermediário entre as sobrepressões e sucções externas extremas. Ela depende da localização, tipo e quantidade de aberturas, bem como das repartições internas ou outros obstáculos interiores.

Estas aberturas podem ser:

- normais. Aberturas normalmente existentes: portas, janelas, gateiras, chaminés, lanternins, paredes vazadas, etc.
- por danos. Por exemplo: um pico de sucção local externa arranca elementos da cobertura do telhado ou do revestimento das paredes; ruptura de vidros por sobrepressão externa ou por objetos lançados pelo vento. A abertura assim formada poderá fazer com que apareça uma sobrepressão interna, provocando em certos casos danos ainda muito maiores.

a – IRMINGER, J. O. V. & NÖKKENTVED, C. *Wind-pressure on Buildings*. Experimental Researches, First Series. Copenhagen, 1930. p.53.

b – Ibid., p.45.

A consideração tanto quanto possível correta da pressão interna torna-se particularmente importante no caso de grandes recintos, tais como pavilhões para exposições e para indústrias, hangares, estações ferroviárias cobertas, cinemas, igrejas, salões de clubes, pavilhões agrícolas e pecuários, depósitos de cereais, etc.

A existência de uma sucção interna é favorável à estabilidade do telhado, pois ela se opõe às sucções externas, diminuindo assim a força de sustentação no telhado. Pode-se, mediante certos dispositivos (Vide 6.c), fazer com que reine no interior da construção uma sucção, conseguindo-se assim evitar um tipo de acidente muito comum em construções leves e de grandes vãos.

Em linhas gerais pode-se dizer que se uma parede tem muito mais aberturas que as demais, a pressão interna se aproxima do valor médio existente externamente nesta parede, nas bordas das aberturas.

Se, porém, a permeabilidade for disseminada mais ou menos uniformemente em toda a construção (só paredes, ou paredes e telhado), teremos sucção dentro da mesma, pois a maior parte da construção se encontra externamente sujeita a sucções. Isto foi verificado não só em modelos, mas também em medidas em construções reais.

No caso de uma única grande abertura, se ela, por suas dimensões, forma e situação não alterar sensivelmente o fluxo externo de ar, a pressão interna será aproximadamente a média das pressões externas nas bordas da abertura. Isto vale tanto para aberturas em uma parede (janela, portão, porta) como no telhado (lanternim).

2 – ENSAIOS: PERMEABILIDADE DAS PAREDES

a) Irminger e Nøkkentved,²² em seus estudos experimentais sobre a pressão interna em modelos de construções fechadas, com até 5,4% de aberturas em cada parede, chegaram às seguintes conclusões:

1º — em uma construção permeável ao ar a pressão interna pode ser substancialmente diferente da pressão atmosférica.

2º — a pressão interna é constante para uma dada velocidade do vento, independente do número e tamanho dos orifícios e de sua comunicação direta ou indireta com o ar externo, desde que eles sejam mais ou menos uniformemente distribuídos.

3º — a parede de barlavento é muito mais sensível a um aumento de percentagem de orifícios do que a de sotavento. Por exemplo:

— aumento de 100% a sotav.: c_{pi} ; sem alteração

— aumento de 50% a barlav.: c_{pi} passou de $-0,32$ para $-0,26$

— aumento de 100% a barlav.: c_{pi} passou de $-0,32$ para $-0,20$.

b) Em ensaios feitos na Universidade de Melbourne, Austrália,³⁰ com modelo de pavilhão industrial, a pressão interna máxima foi obtida com apenas 10% de aberturas na parede de barlavento: $c_{pi} = + 0,73$.

c) D'Havé^{15,16} realizou pesquisas muito elucidativas para determinar a influência da percentagem de aberturas na pressão interna. Utilizou modelos cúbicos com $l \cdot b \cdot h = 200\text{mm}$; a cobertura era plana ou em telhado a 2 águas, inclinação de 30° . Os resultados obtidos estão sintetizados na Tabela 1.

D'Havé conclui que a pressão interna no telhado é pouco influenciada pela percentagem de aberturas, a partir de 5%. Como a pressão no interior pouco varia para construções deste tipo (a não ser para permeabilidades se aproximando de 100%, em geral), a mesma conclusão vale, aproximadamente, para a pressão interna em seu conjunto.

d) Newberry²⁵ estudou a pressão interna em um edifício de escritórios de 15 pavimentos. Durante fortes ventos as janelas da parede de barlavento estavam geralmente fechadas. A pressão interna era razoavelmente uniforme, com valores próximos ao da pressão externa a sotavento. A pressão interna sofria apenas uma variação muito pequena

ao se abrirem janelas a sotavento. Porém, grandes e rápidas alterações se uma janela na fachada de barlavento fosse aberta e a porta da sala respectiva estivesse fechada. Estas alterações, dentro da sala, eram devidas à ação das rajadas e quase do mesmo valor das alterações das pressões externas.

TABELA 1
Vento normal à fachada. Valores de c_{pi} na parte interna da cobertura

Modelo	Parede permeável	% de abertura *			
		5	25	50	100
cúbico, com cobertura plana	a de barlavento	+81	+88	+90	+83
	a de sotavento	-40	-40	-38	-35
	a lateral (uma)	-54	-55	-57	-56
cúbico, com telhado a 2 águas, inclinação 30°	a de barlavento (vento normal à cumeeira)	+74	+86	+91	+95
	a de sotavento (vento normal à cumeeira)	-37	-37	-36	-31**
	a lateral (vento paralelo à cumeeira)	-58	-59	-60	-59
* para 0%: $c_{pi} = 0$					
** valor médio; medido -0,30 na água de barlavento e -0,32 na de sotavento					

e) Testes muito interessantes foram feitos por Haddon,¹⁸ cujos resultados aparecem na Fig. 1. Esta figura, tirada do telhado de Haddon, apresenta 2 curvas. A curva (1) dá o coeficiente de pressão interna, c_{pi} , em função da localização de uma porta lateral (6,6% da área da respectiva parede), para vento incidindo axialmente. A abscissa é a distância do eixo da abertura até a fachada de barlavento. Este gráfico é praticamente igual ao perfil de sucção externa na parede lateral, vento também axial. Ou seja: a sucção interna é igual à sucção externa na zona da abertura.

A curva (2) mostra o variar da sucção interna para a porta em uma posição fixa, com seu eixo a 1,6cm da fachada de barlavento, variando a profundidade do modelo. Vento também axial.

Os valores extremos encontrados por Haddon foram:

- $c_{pi} = +0,75$ para vento axial e porta na fachada de barlavento.

- $c_{pi} = -0,85$ para vento axial e porta na parede lateral, na posição fixa da curva (2).

f) Também nos ensaios que fizemos para a projetada cúpula do Hotel Tropical de Manaus⁷ verificamos este fato: a pressão interna era aproximadamente a média das pressões externas nas bordas da abertura, em nosso caso um portão com área frontal igual a 3,13% da área da superfície externa da cúpula. Isto aconteceu com qualquer posição do portão, quer em zona de sobrepressões, quer em zona de sucções externas.

g) Em ensaios com cúpulas de flecha f e diâmetro do círculo da base d , afastada esta base do solo de uma distância h , apoiadas sobre pilares ou sobre paredes com ou sem portões,^{8,9,10} obtivemos os valores apresentados na Tabela 2.

TABELA 2
Pressões no interior de uma cúpula

Cúpula		Variação de c_{pi} nos modelos sobre pilares sem paredes		c_{pi} máximo nos modelos com paredes	
f/d	h/d			1 portão a barlavento (0°)	2 portões opostos alinhados (0°) ou quase alinhados com o vento (15°)
1/8	1/2	-0,31	a +0,29	+0,50	+0,25 (0°)
	1	-0,25	a +0,43	+0,76	+0,24 (15°)
1/4	1/4	-0,21	a +0,27	+0,57	+0,24 (0°)
	1/2	-0,30	a +0,16	+0,79	+0,19 (15°)

1 portão: 4,2% da área da superfície da parede cilíndrica

Nos modelos sobre pilares, em cada um deles obtivemos simultaneamente sucções e sobrepressões em seu interior, sendo que as sucções apareceram na zona de barlavento e as sobrepressões na de sotavento.

Com 2 portões opostos alinhados ou quase alinhados com o vento apareceram sobrepressões internas e não sucções. Isto se deve a um efeito Venturi invertido.

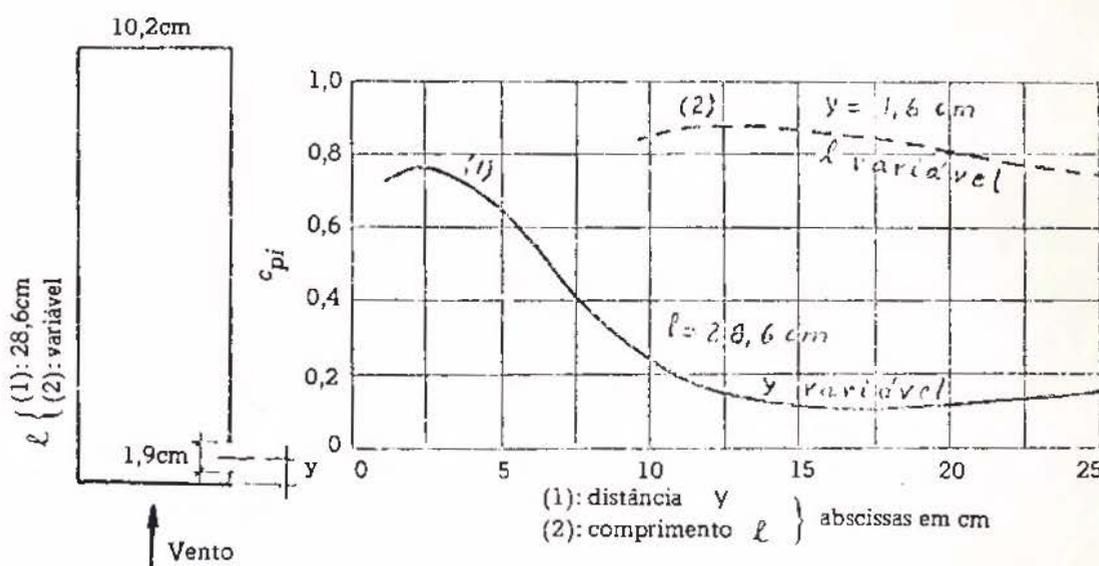


Fig. 1 - Pressão interna, com uma abertura na parede lateral. Ensaios de Haddon

3 – ENSAIOS: LANTERNINS

a) Lanternins fechados influem bastante nas pressões externas, que não estão sendo tratadas neste trabalho. Apenas diremos que eles diminuem notavelmente as sucções externas na água de barlavento de telhados de pequena inclinação.

Os lanternins abertos são favoráveis à estabilidade do telhado e às vezes também à ventilação interna. Eles podem influir de 2 modos diferentes na pressão interna. Se a forma do telhado é tal que o lanternim fica na esteira, ele praticamente não modifica o fluxo e, conseqüentemente, não altera as pressões externas. A pressão interna será aproximadamente a média das pressões externas nas bordas do lanternim (Fig. 2.a).

Por outro lado, se o lanternim estiver na região de fluxo aderente, este é alterado pela presença do lanternim. Inclusive, se não houver demasiada obstrução por venezianas, o fluxo passa pelo interior do lanternim quase que livremente, sendo estrangulado e acelerado (Fig. 2.b). A pressão interna será uma sucção maior que a sucção externa nas suas bordas.

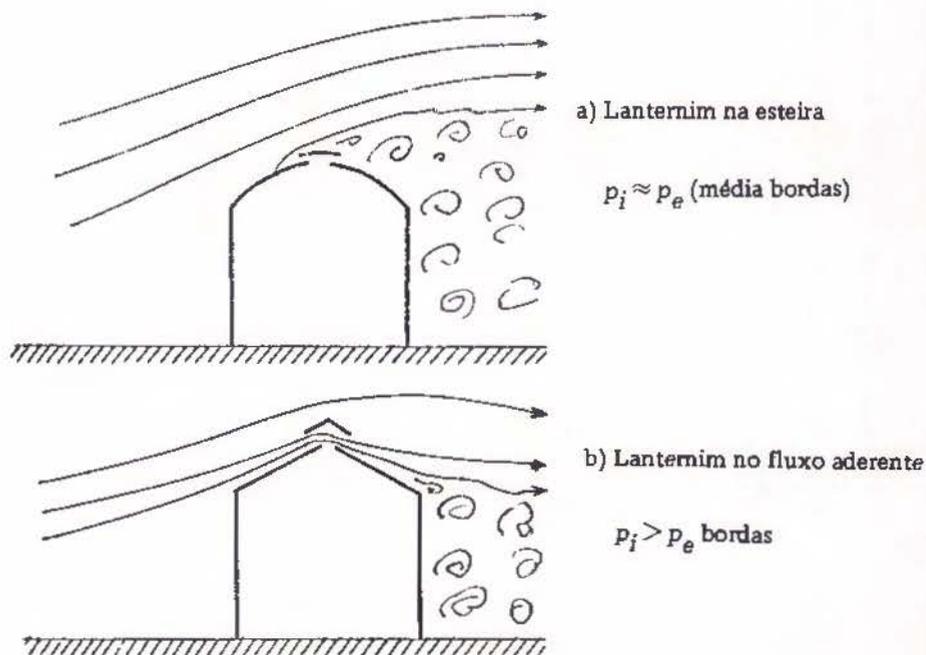
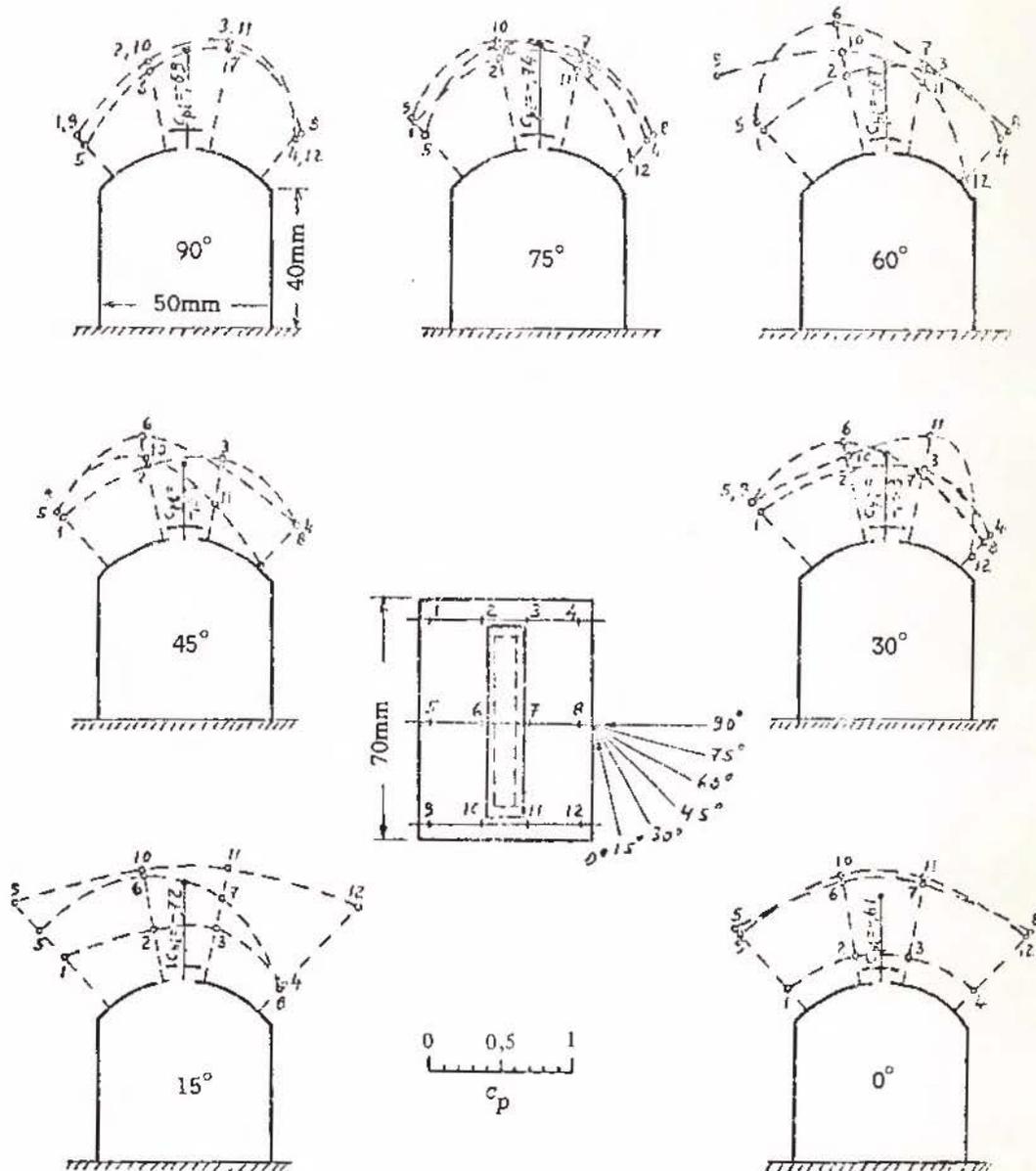


Fig. 2 – Lanternins abertos

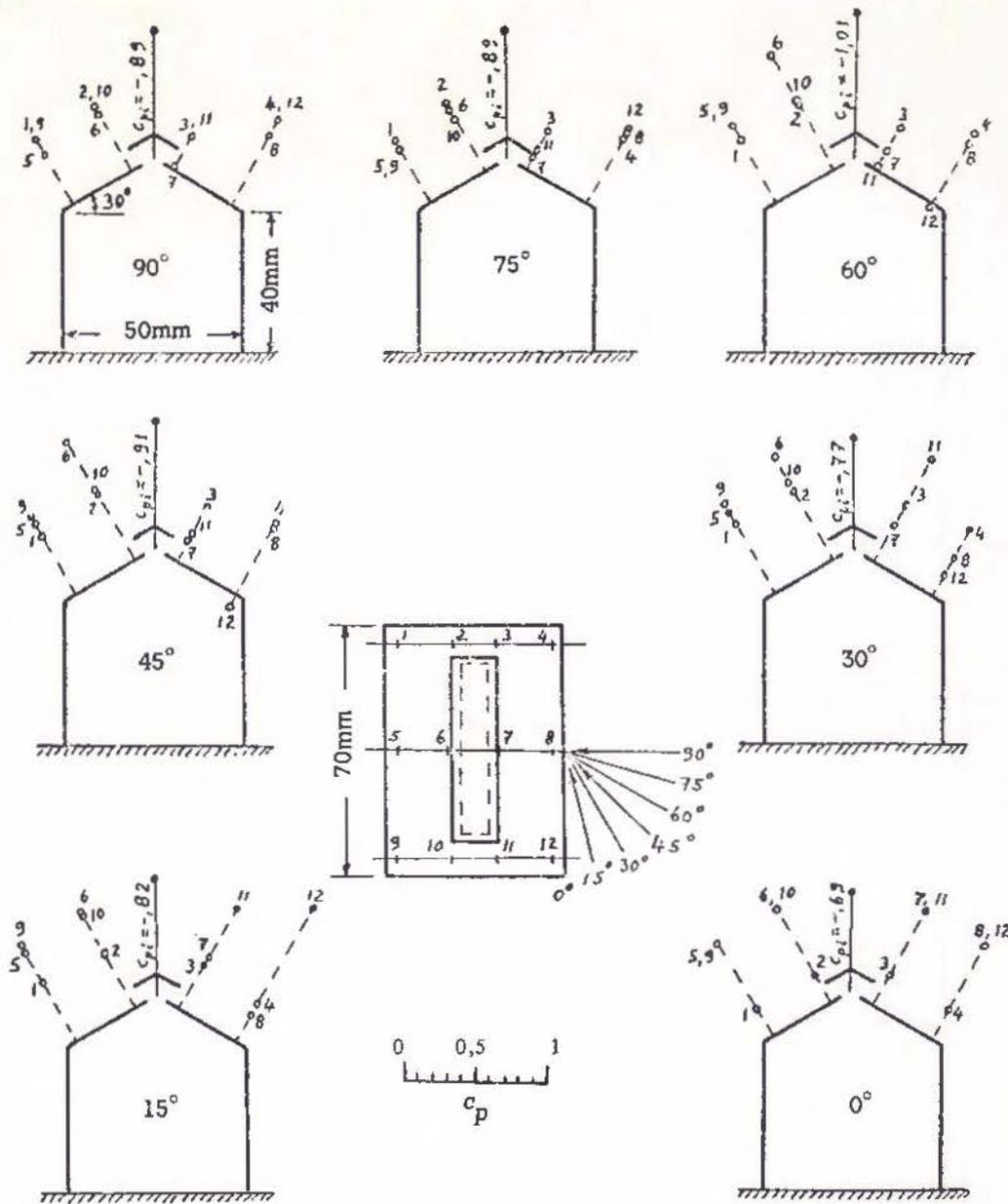
b) São clássicos os ensaios de Irminger e Nökkentved,²³ de cuja obra extraímos as Figuras 3 e 4.

No caso da Fig. 3 (e Fig. 2.a) o lanternim não perturba o fluxo externo. A pressão interna é a média das pressões externas nas bordas do lanternim. No caso da Fig. 4 (e Fig. 2.b) aproxima-se da média nas bordas só para vento axial (0°), caso em que o lanternim pouco altera a forma do fluxo externo. Nas outras orientações temos uma sucção bastante superior à média das pressões externas nas bordas.

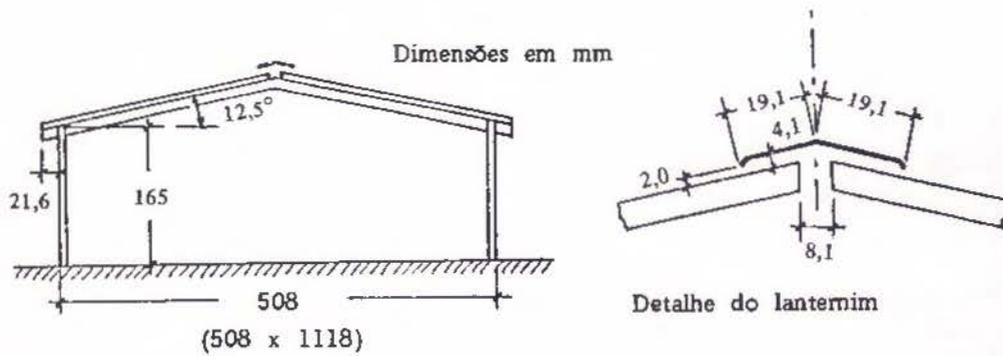


F.3 - Pressão interna e externa em telhado curvo com lanternim.
Ensaios de Irminger e Nökkentved

c) Whitbread e Packer³² realizaram ensaios muito elucidativos sobre a influência de um pequeno lanternim nas pressões internas de um prédio escolar, de proporções semelhantes às de um pavilhão industrial. Dimensões do modelo e do lanternim aparecem na Fig. 5.



F.4 - Pressão interna e externa em telhado a 2 águas com lanternim. Ensaios de Irmingier e Nökkentved



F.5 - Modelo com lanternim

Os ensaios foram feitos com diferentes percentagens de aberturas, situadas estas só na parede de barlavento, ou só na de sotavento ou em ambas. As pressões internas e externas foram medidas no plano transversal mediano. Foram usados 2 perfis de vento: vento uniforme, com velocidade de 18,3m/s (66km/h); e vento gradiente com velocidade no topo da parede $\bar{V}_{ZO} = 14,6\text{m/s}$ (53km/h). Estas foram também as velocidades de referência para calcular os coeficientes de pressão e forças de sustentação. Utilizaram só vento normal à parede maior, uma vez que testes preliminares mostraram que com esta orientação obtinha-se a maior sustentação na superfície externa do telhado (a rigor, o máximo foi obtido entre 10° e 20°), porém muito pouco maior ao correspondente a 0° (vento normal à parede maior). Testes adicionais mostraram que aumentando a abertura do lanternim para o dobro não se constatou mudança apreciável nas pressões internas.

d) Na Tabela 3 apresentamos um resumo dos valores do coeficiente de pressão interna, com e sem lanternim, para os 2 perfis de vento. Observe-se, no pavilhão sem lanternim, que com apenas 3,33% de aberturas (em 1 ou 2 paredes) já estamos em geral bastante próximos (em um caso até superamos) dos valores obtidos com 14,45% de aberturas. Isto não é válido para o caso de perfil de vento uniforme e aberturas em 2 paredes.

A observação feita acima confirma os resultados de D'Havé,^{15,16} que não encontrou alteração sensível nas pressões internas a partir de 5% de aberturas (Vide 2.c). Aliás, Whitbread e Packer informam em seu relatório que "não foi encontrada alteração significativa nos c_{pi} para valores da permeabilidade acima de 1%"^c (sem lanternim).

Para aberturas a barlavento e a sotavento, sem lanternim, apareceram sobrepressões no interior. Isto parece contrariar os resultados de Irminger e Nökkentved (Vide 2.a), que encontraram sucção interna para aberturas mais ou menos uniformemente disseminadas. Não esquecer, porém, que neste caso havia aberturas nas 4 paredes, e não apenas em 2. As 2 paredes laterais, paralelas ao vento, são submetidas a sucções. Teremos então 3 paredes em região de sucção externa e uma em região de sobrepressão externa. No final obteremos sucção no interior.

Em todos os testes de Whitbread e Packer em modelo sem lanternim, as pressões na superfície externa do telhado foram sucções que variaram entre $c_{pi} = -1,6$ (na borda de barlavento) e $-0,3$ (na borda de sotavento).

As pressões obtidas com os 2 perfis de vento foram quase iguais, sendo que com vento gradiente as sucções na superfície de barlavento do telhado foram levemente menores e na superfície de sotavento levemente maiores do que as obtidas com vento uniforme. Porém o coeficiente de sustentação foi o mesmo nos 2 casos: $C_s = 0,78$.

e) O lanternim provocou uma pequena alteração na distribuição das pressões externas em sua vizinhança, mas uma alteração importante nas pressões internas, principalmente quando não há aberturas nas paredes. Neste caso c_{pi} passou de 0 para $-0,51$ (vento uniforme) e para $-0,55$ (vento gradiente). Os coeficientes de sustentação são, respectivamente, $C_s = 0,21$ e $0,13$, contra $0,78$ no caso sem lanternim.

c - WHITBREAD, R. E. & PACKER, M. A. *Wind-tunnel Tests to Determine the Effectiveness of a Ridge Ventilator for Alleviating the Wind Loading on a Light-weight Roof*. Teddington, National Physical Laboratory, Aerodynamics Division, 1963. p.5. (NPL Aero Report, 1077).

d - WHITBREAD, R. E. & PACKER, M. A., op. cit. p.5.

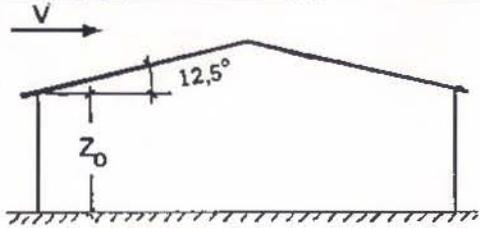
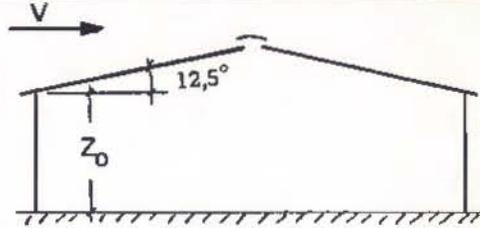
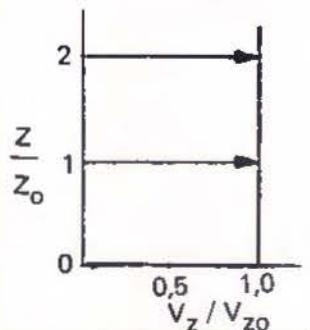
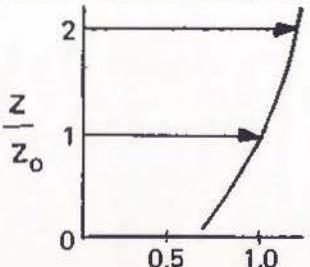
Valores de c_{pi} -- Ensaios de Whitbread e Packer							
Perfil do Vento	% de abertura da parede						
		Só a barlavento	Só a sotavento	Ambas	Só a barlavento	Só a sotavento	Ambas
	0	0	0	0	-0,51	-0,51	-0,51
	0,34	—	—	+ 0,11	-0,39	-0,44	-0,34
	1,11	+ 0,57	-0,18	+ 0,14	-0,18	-0,35	-0,21
	3,33	+ 0,61	-0,18	+ 0,16	+ 0,25	-0,25	-0,07
	14,45	+ 0,67	-0,22	+ 0,25	+ 0,61	-0,27	+ 0,16
	0	0	0	0	-0,55	-0,55	-0,55
	1,11	+ 0,48	-0,22	+ 0,10	-0,21	-0,37	-0,25
	3,33	+ 0,47	-0,23	+ 0,10	+ 0,15	-0,29	-0,13
	14,45	+ 0,44	-0,26	+ 0,12	+ 0,39	-0,29	+ 0,03

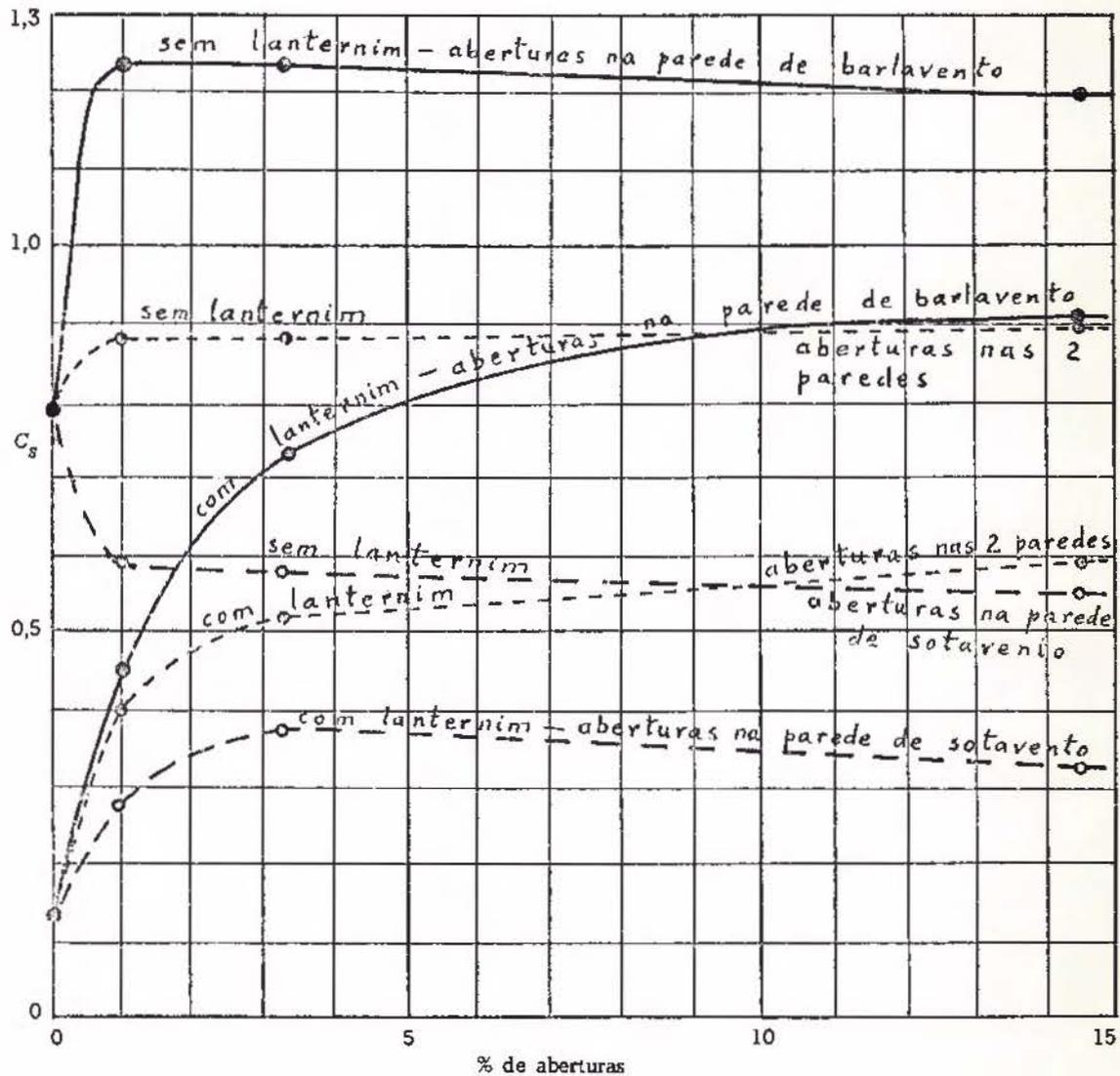
TABELA 3



Com 14,45% de aberturas a influência do lanternim nas pressões internas é pequena. Porém na sustentação é ainda bastante benéfica. Isto é explicado pelos autores "pelo fato de que com altos valores de permeabilidade o processo de ventilação é invertido, de modo que a sucção na face superior do telhado, nas vizinhanças do lanternim, foi reduzida por efeitos internos,"^d Com vento gradiente C_s foi menor do que com vento uniforme; em geral em torno de 0,1 menor, às vezes 0,2 ou, raramente, 0,3. Na Fig. 6, obtida a partir de gráficos do trabalho que estamos comentando, pode-se ver perfeitamente a influência benéfica do lanternim na sustentação.

f) Resumindo o que foi exposto sobre as pesquisas de Whitbread e Packer, transcrevemos parte das conclusões apresentadas em seu relatório:

- "1º - Variação de c_{pi} , sem lanternim, variando a permeabilidade das paredes:
 de -0,2 a +0,6 - perfil de vento uniforme
 de -0,25 a +0,45 - perfil de vento gradiente;



F.6 - Variação de C_s com % de aberturas em 1 ou 2 paredes. Vento gradiente. Ensaio de Whitbread e Packer

2º — Os valores extremos acima foram conseguidos com aproximadamente 1% de permeabilidade, ou na parede de barlavento, ou na de sotavento respectivamente, para um vento normal à parede de barlavento.

3º — O lanternim testado foi efetivo na redução da pressão interna até 15% de permeabilidade das paredes, com o resultado de que as forças de sustentação foram grandemente reduzidas para pequenos valores de permeabilidade (i.e. 0 a 5%). O lanternim foi progressivamente menos efetivo para valores mais altos de permeabilidade, até que com 15% as pressões internas não foram afetadas pelo lanternim. As forças de sustentação, entretanto, ainda foram mais baixas do que as do telhado sem lanternim^e.

g) Em ensaios com uma cúpula hemisférica e dotada de um pequeno lanternim (0,32% da área da superfície externa da hemisfera), vento gradiente, obtivemos $c_{pi} = -1,10$.⁷ A velocidade de referência era a do vento sem obstruções na altura do vértice da cúpula, isto é, no lanternim.

e — Ibid., p.6.

4 – CÁLCULO DA PRESSÃO INTERNA

a) Estudos experimentais de Dick – citados por Sexton²⁷ – sobre ventilação natural mostraram que a velocidade da passagem de ar através de pequenas aberturas em construções é aproximadamente proporcional à raiz quadrada da diferença de pressão entre os 2 lados da abertura; em nosso caso, $\Delta p_e - \Delta p_i$.

O estudo teórico, simplificado, conduz a este mesmo resultado. Vejamos.

A quantidade de ar Q (vazão volumétrica) que passa por uma abertura de área S será:

$$Q = K S V \quad (1)$$

K – coeficiente de vazão

$$V - \text{velocidade} = \sqrt{2(\Delta p_e - \Delta p_i) / \rho} \quad (2)$$

Estabelecido o equilíbrio, estamos em regime permanente: o volume de ar que entra será igual ao que sai. Em outras palavras, o volume de ar no interior é constante:

$$\sum Q = 0$$

Cf (1) e (2):

$$\sum K S \sqrt{2(\Delta p_e - \Delta p_i) / \rho} = 0$$

ou

$$\sum K S \sqrt{\Delta p_e - \Delta p_i} = 0 \quad (3)$$

uma vez que a densidade ρ é praticamente constante.

Se quisermos um cálculo bastante preciso, calculamos Δp_i por aproximações sucessivas, devendo também ser determinado o K de cada abertura. Entretanto, supondo K constante, a (3) fica:

$$\sum S \sqrt{\Delta p_e - \Delta p_i} = 0 \quad (4)$$

o que está de acordo com os ensaios de Dick.

Conhecida a distribuição de Δp_e e das aberturas na superfície externa, e conhecidas as áreas S destas aberturas, pode-se então calcular Δp_i pela (4). Pode-se trabalhar diretamente com c_{pe} e c_{pi} :

$$\sum S \sqrt{c_{pe} - c_{pi}} = 0 \quad (5)$$

b) Irminger e Nøkkentved²² tanto calcularam como mediram os valores de c_{pi} em diversos modelos, aberturas uniformemente distribuídas. Alguns dos valores são dados na Tabela 4.

TABELA 4
 c_{pi} calculados e medidos — Irminger e Nøkkentved

Descrição (Vento normal à fachada maior)	c_{pi}	
	calculado	medido
modelo 50·50·100mm; telhado a 20°	-0,33	-0,33
idem, telhado a 45°	-0,34	-0,38
idem, telhado a 60°	-0,36	-0,36
modelo 50·40·70mm; telhado curvo	-0,28	-0,29
pavilhão industrial	-0,26	-0,26
idem, telhado shed, 3 partes	-0,22	-0,22

É de notar a boa concordância entre a maioria dos valores calculados e medidos.

c) Pris²⁶ calculou a pressão interna em um cubo para diversas situações de aberturas. Para simplificar o cálculo considerou as aberturas como sendo uniformemente distribuídas em cada uma das paredes e sempre com a mesma percentagem de aberturas em todas elas. Pode-se então substituir a soma das áreas das aberturas em cada parede pela área da parede S_p :

$$\sum S_p \sqrt{c_{pe} - c_{pi}} = 0 \quad (6)$$

Obteve Pris os seguintes resultados, vento incidindo normalmente a uma face do cubo:

- abertura na parede de barlavento $c_{pi} = +0,76$
- aberturas na parede de sotavento $c_{pi} = -0,28$
- aberturas nas 2 paredes laterais $c_{pi} = -0,65$
- aberturas na parede de barlavento e na de sotavento $c_{pi} = +0,24$
- aberturas nas 4 paredes $c_{pi} = -0,35$

A experiência mostra que este cálculo é válido não só para pequenas aberturas uniformemente distribuídas, mas também para aberturas de maiores dimensões.

d) A publicação Digest 105 do Building Research Station¹³ apresenta o cálculo da área aberta de uma janela no lado de barlavento para que a pressão interna seja governada por esta abertura, estando as outras janelas fechadas.

São dados os seguintes elementos:

- dimensão em planta: 30 · 50m
- altura do pavimento: 3m
- permeabilidade uniforme de 0,1% com todas as janelas fechadas
- vento normal à fachada maior

– valores do coeficiente de forma externo:

– fachada de barlavento $C_e = +0,7$

– fachada de sotavento $C_e = -0,6$

– paredes laterais $C_2 = -0,7$

É admitido que a abertura da janela é dominante quando fizer aparecer no interior um coeficiente de pressão (ou de forma) igual a 75% do coeficiente de forma externo. Admitiu-se também na parede com a janela aberta uma pressão uniformemente distribuída, com $C_e = +0,7$.

Portanto:

$$c_{pi} = C_i = 0,75 \cdot 0,7 = +0,525$$

Nas fachadas maiores a permeabilidade de 0,1% corresponde a

$$3 \cdot 30 \cdot 0,001 = 0,09\text{m}^2 \text{ de aberturas.}$$

E nas menores (paredes laterais):

$$3 \cdot 15 \cdot 0,001 = 0,045\text{m}^2 \text{ de aberturas}$$

Substituindo em (5):

$$(X + 0,09) \sqrt{0,7 - 0,525} - 0,09 \sqrt{0,525 - (-0,6)} - (2 \cdot 0,045) \sqrt{0,525 - (-0,7)} = 0$$

onde X é a área da janela aberta.

São positivos os termos do somatório em que há uma entrada de ar e negativos aqueles em que há saída, em relação aos respectivos Δp_e e Δp_i (ou c_{pe} e c_{pi}). Resolvendo a equação acima:

$$X = 0,376\text{m}^2$$

Portanto, basta que uma pequena folha de janela de $0,32 \cdot 1,20\text{m}$ esteja aberta na zona de $C_e = +0,70$ para que a pressão interna seja 75% deste valor. Esta abertura corresponde a apenas 0,42% da área da respectiva parede.

e) Chamamos de pequenas aberturas aquelas que conduzem a uma pressão interna pequena, situada entre +0,3 e -0,3. Não se sabe, para este tipo de aberturas, o valor da pressão interna; apenas os seus limites. O valor depende de como se distribuem estas pequenas aberturas nas faces da construção.

Baseados no que expusemos anteriormente, concluímos que não se pode considerar uma construção, na quase totalidade dos casos, como sendo de pequenas aberturas. Ela deve ser considerada como com grandes aberturas, aparecendo uma pressão interna de 75 a 100% da pressão externa da zona onde está a abertura ou aberturas dominantes. Janelas, portas e mesmo painéis envidraçados fixos, podem ser abertos ou rompidos pela pressão do vento ou por objetos lançados pelo vento, fazendo com que a construção se comporte como com grandes aberturas. É comum caso de portões de pavilhões industriais ou de hangares serem arrancados pelo vento, estabelecendo-se no interior uma forte pressão interna.

Construções com *pequenas aberturas* são raras: só construções praticamente sem aberturas, com instalação de ar condicionado; ou silos, depósitos estanques, etc. Estão, pois, completamente erradas as normas que consideram como com pequenas aberturas (e uma correspondente pequena pressão interna) construções com até 1/3 ou mesmo 35% de aberturas em uma parede.

5 — NORMAS

a) Vejamos os valores apresentados por algumas normas, antigas e atuais. Iniciemos com a norma brasileira NB-5, 1943.² Não fala especificamente em pressão interna. A única indicação, implícita, em que parece considerar pressões internas, aparece nas especificações para cálculo de tetos de construções abertas. Define como construção aberta toda construção que tenha, ou possa ter, em um dos lados, aberturas que ocupem pelo menos a terça parte da respectiva área. Esta indicação aparece no artigo 10 — Sucção — item b :

— para os tetos de construções abertas $C = 1,2$

b) Norma brasileira NB-5, 1961³

Artigo 10:

O coeficiente de forma interno é função da situação da abertura em relação à direção do vento e é igual a:

1º — em superfícies planas, cheias, de construções abertas a barlavento:

$$C_i = +0,5$$

2º — em superfícies planas, cheias, de construções abertas a sotavento ou em planos paralelos à direção do vento:

$$C_i = -0,5$$

Quando a pressão ou a sucção interna tiver, em cada face da estrutura, efeito contrário ao da externa, deve-se considerar separadamente o efeito de cada uma delas.

c) Norma uruguaia U.N.I.T. Norma 50, 1948²¹

C 4 — A separação em sucção em sobrepressão deve ser feita geralmente em estruturas com telhados curvos e em construções com vãos interiores superiores a 15m.

D 12 — Nos casos em que se deva fazer a separação de sobrepressões e sucções segundo o estabelecido em C4, deve-se levar em conta não somente a ação *exterior* do vento mas também o *estado interno* da construção, que provocará, por efeito da diferença de pressão entre seu interior e a pressão estática exterior, a aparição de cargas uniformes sobre todas as superfícies (paredes e tetos), dirigidas para fora ou para dentro, conforme o interior se encontre em sobrepressão ou depressão.

D 14 – O estado de pressão interna é função da magnitude das aberturas permanentes ou involuntárias e de sua posição com respeito à direção do vento.

Em todos os casos exige diferença entre a pressão interna e a atmosférica, já que o recobrimento permite a circulação de ar em grau maior ou menor, através das juntas de portas e janelas, de chaminés, ventiladores (lanternins), juntas no material de revestimento, etc. Aconselha-se tomar os seguintes valores:

D 14a – Construções nominalmente herméticas, com portas e janelas que mesmo fechadas permitem certa permeabilidade através de numerosas aberturas pequenas:

$$C_i = \begin{cases} -0,20 \\ +0,40 \end{cases}$$

D 14b – Construções com 30% ou mais de superfície de parede aberta ou que pode estar normalmente aberta:

$$C_i = \begin{cases} -0,40 \\ +0,80 \end{cases}$$

D 14c – Construções com uma percentagem de aberturas compreendidas entre 0 e 30%, interpolar-se-á linearmente entre os valores anteriores.

A pressão interna assim determinada deve superpor-se, como se disse, à ação exterior do vento, para qualquer sentido deste em construções nominalmente herméticas, ou em sentido adequado quando exista falta de simetria nas aberturas.

d) Norma alemã DIN 1055, Blatt 4¹⁹

– parede de barlavento aberta $c_{pi} = +0,8$

– parede de sotavento ou laterais abertas $c_{pi} = -0,4$

Estes valores não aparecem explicitamente na norma alemã, mas foram obtidos por Hempel por interpretação dos valores globais dados na norma. A norma alemã define como construção aberta (a rigor *não fechada: nichtgeschlossene baukörper*) a que tem um ou mais lados completamente abertos ou que podem ser abertos; ou a construção em que no mínimo 1/3 é aberto ou pode ser aberto em um ou mais lados.³¹

e) Norma belga NBN 460.03, 1960²⁰

Apresentamos um resumo do que esta norma especifica, com algumas explicações adicionais.

Construção ou parte de construção estanque ao vento: não há nenhuma abertura nas paredes ou telhado e os materiais que os constituem não deixam passar o ar, seja por falta de juntas, seja por falta de porosidade.

Parede ou telhado com n% de aberturas: se tem aberturas cuja soma das áreas representa n% de sua área total, ou se possui uma porosidade ao ar equivalente.

Parede ou telhado com grande aberturas: percentagem de aberturas atinge ou pode atingir 33%.

Construções de tipo corrente em que o telhado é a 2 águas planas simétricas ou em terraço:

1º – A construção é efetivamente estanque ao vento.

Todas as paredes e telhado têm uma permeabilidade nula ao vento e nenhuma abertura, mesmo accidental, pode aparecer. Este caso é excepcional.

$$C_i = 0$$

2º — Construção não estanque ao vento, mas nenhuma das paredes ou telhado apresenta percentagem de aberturas superior a 6%.

$$C_i = \pm 0,30$$

3º — As paredes ou telhado apresentam uma percentagem de aberturas entre 6% e 33%.

Os valores de C_i obtêm-se por interpolação linear entre os valores de mesmo sinal do 2º e 4º caso.

4º — Uma das paredes ou telhado tem ou pode ter em certos momentos, mesmo que acidentalmente, uma percentagem de aberturas igual ou superior a 33%, enquanto que as outras só têm pequenas aberturas e, portanto, são obstáculos ao escoamento do ar.

Adota-se para C_i o mesmo valor de C_e na parede em questão, se a construção for efetivamente estanque ao vento nas demais paredes e telhado.

Portanto, para abertura em:

— fachada de barlavento $C_i = +0,8$

— fachada de sotavento ou laterais $C_i = -0,5$

— água do telhado de sotavento ou paralela ao vento $C_i = -0,5$

— água do telhado de barlavento — depende da inclinação.

5º — Lanternim ao longo da cumeeira de telhado simétrico a 2 águas planas.

Se o lanternim é aberto dos 2 lados:

$$C_i = -0,5 (1 + a/l)$$

a — comprimento do lanternim

l — comprimento da construção

Se o lanternim não é aberto dos 2 lados, caímos em um dos casos precedentes.

f) Norma suíça S.I.A. Normes techniques 160, 1956²⁸

Transcritas em parte também em recomendações canadenses²⁴ e norte-americanas¹. Apresenta as pressões internas em tabelas, para várias formas de construções e diversos ângulos de incidência do vento. Os valores extremos são +0,8 e -0,8. Este último limite para vento incidindo a 75º com a parede com aberturas, sendo a construção de proporções $l \cdot b \cdot h = 1 \cdot 1 \cdot 2,5$.

Para o caso de pavilhão com lanternim a sucção interna chega a -0,9; vento a 45º com as paredes, construção de proporções $l \cdot b \cdot h = 8 \cdot 4 \cdot 1$.

g) Norma francesa NV 1946¹⁷

As especificações desta norma são aplicáveis a construções correntes, definidas como aquelas que satisfazem as seguintes condições:

l/b entre 0,10 e 2,5

altura inferior a 25m.

1º — Construções sem aberturas ou com pequenas aberturas uniformemente repartidas.

Aplica-se simultaneamente sobre todas as faces interiores de todos os compartimentos:

— seja uma sobrepressão com $C_i = +0,3$

— seja uma sucção com $C_i = -0,3$

Não transcrevemos aqui os valores dados para as chamadas ações locais, porque na realidade se trata de um artifício desta norma para não alterar os coeficientes externos. E, na realidade, são os coeficientes externos os alterados por altas sucções locais, como já expusemos em outros trabalhos.^{5,6}

2º — Construções com grandes aberturas.

A parede é considerada aberta se tem partes abertas ou que possam ser abertas (normal ou acidentalmente) de modo a se ter mais de 1/3 da superfície exterior da parede aberta.

1º caso — A parede oposta à parede *aberta* é sem aberturas ou tem apenas pequenas aberturas que são obstáculos ao escoamento do ar.

— parede aberta a barlavento $C_i = +0,8$

— parede aberta a sotavento ou paralela ao vento $C_i = -0,5$

— construção fechada, mas com telhado com aberturas ou lanternim aberto $C_i = -0,5$

2º caso — A parede oposta à parede *aberta* é *aberta* e permite o escoamento do ar.

Calcular-se-ão as partes de paredes ou de construções interiores situadas na corrente de ar como se elas estivessem isoladas no espaço, abstração feita das outras partes da construção.

h) Norma francesa NV 1967¹⁴

Apresenta especificações bastante completas para construções em geral, e especificações simplificadas para o que chama de *construções correntes de base retangular*. As características destas *construções correntes* são:

— a base ao nível do solo é um retângulo de dimensões b e l , sendo $l \geq b$.

— a altura h , diferença entre o nível da base da construção e o nível da cumeeira do telhado, é inferior ou igual a 30m.

— as dimensões devem obrigatoriamente respeitar as seguintes condições:

$h/b \geq 0,25$

$h/l \leq 2,5$, com a condição suplementar

$b/l \leq 0,4$ se $h/b > 2,5$

$f \leq h/2$ para os telhados a 2 águas planas

$f \leq (2/3) h$ para os telhados curvos

(f — altura do telhado)

— a cobertura é:

seja uma cobertura plana;

seja um telhado único de altura f ou a 2 águas planas inclinadas no máximo de 40° com a horizontal;

seja um telhado curvo no qual o plano tangente à nascente das diretrizes do telhado é inclinado no máximo de 40° e no mínimo de 22° com a horizontal.

— as paredes verticais devem:

repousar diretamente sobre o solo;

ser planas;

apresentar uma permeabilidade inferior ou igual a 5% ou para uma só delas igual ou superior a 35%.^f

f — COMMISSION DES RÈGLES NEIGE ET VENT, Paris. *Règles Définissant les Effets de la Neige et du Vent sur les Constructions*: Règles N. V. 65, Revision 1967. Paris, Société de Diffusion des Techniques du Bâtiment et des Travaux Publics, 1967. p.115.

Para as construções que obedecem a estes requisitos as pressões internas são:

– construções fechadas $C_i = \pm 0,3$

– construções abertas:

abertura a barlavento $C_i = +0,8$

abertura a sotavento ou em parede lateral $C_i = -0,5$

Como vimos anteriormente, é exagerado o limite de 35% para considerar a construção como aberta.

i) Norma inglesa do Building Research Station, 1969¹²

Esta norma especifica o seguinte:

“A pressão interna é condicionada à relativa facilidade da entrada e saída de ar. Para uma construção com muitas aberturas pequenas, tais como lanternins de ventilação e fendas de vazamento em torno de portas e janelas distribuídas em todas as faces e nenhuma abertura isolada dominante, C_i deve ser tomado como o menos favorável de $\pm 0,2$; se há uma abertura dominante, ela preponderantemente controlará o valor de C_i , que pode alcançar um valor extremo que se aproxima do existente do lado de fora da abertura principal.

Portanto, é necessário em tais casos considerar o possível âmbito de pressões internas para diferentes direções do vento e buscar as cargas de cálculo na pior combinação possível de pressões externas e internas.”¹²

Como vemos, esta norma não dá valores específicos para a pressão interna, mas liga-a à pressão existente externamente na principal (ou principais) abertura. Assim sendo, a pressão interna poderá atingir valores bem próximos de +1,0 (máximo valor positivo de c_p). Basta que tenhamos uma abertura exatamente na zona de sobrepressões máximas. Por exemplo: janelas na caixa de escada de um edifício alteado, na zona onde c_{pe} é igual ou muito próximo a +1,0.

Por outro lado, se uma grande abertura estiver em uma zona de fortes sucções externas, sucção semelhante aparecerá no interior. Serão possíveis, em casos extremos, valores tão altos como -1,2 ou talvez mais ainda.

j) Norma inglesa do Building Research Station, 1970¹¹

Esta nova edição da norma inglesa apresenta, como guia, valores para C_i obtidos com o critério geral muito bem exposto na edição anterior, porém lá sem dados numéricos:

“Com todas as janelas nominalmente fechadas, a permeabilidade de um edifício de moradia ou escritórios provavelmente estará entre 0,01% e 0,05% da área da superfície, dependendo do grau de estanqueidade.

Para uma construção retangular com 2 paredes opostas permeáveis e as outras impermeáveis, o valor de C_i deve ser tomado como +0,2 se a direção do vento é normal a uma face permeável ou -0,3 se a direção do vento é normal a uma face impermeável. Se todas as 4 faces são uniformemente permeáveis, $C_i = -0,3$.

Onde a permeabilidade difere de face a face, como quando contém uma abertura dominante, tal como uma porta ou janela aberta (pode ser janela quebrada pela força do vento ou fragmentos que voam durante uma tempestade), o valor de C_i variará, dependendo das dimensões e posição da abertura em relação às outras permeabilidades. Os seguintes valores servem como guia:

g – BUILDING RESEARCH STATION, Garston. *Wind Loading on Building-2*. Garston, 1969. p.5 (Digest, 101).

PRESSÃO INTERNA

XV Jornadas Sul-Americanas de
Engenharia Estrutural
Porto Alegre - RS, BRASIL, 28 nov. a 4 dez. 1971

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 Pesquisa (CNPq)
- Professor Titular da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

RESERVA TÉCNICA
Editora da UFRGS

SÉRIE ENGENHARIA ESTRUTURAL / 5



EDITORA DA UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PORTO ALEGRE / 1975

Dimensões e posição de abertura dominante C_i

1º — na face de barlavento:

se a permeabilidade da face de barlavento iguala a seguinte proporção da permeabilidade distribuída total de todas as faces submetidas à sucção

proporção	1	+0,1
	1½	+0,3
	2	+0,5
	3 ou mais	+0,6

2º — na face de sotavento:

qualquer abertura dominante —0,3

3º — em uma face paralela ao vento:

i — qualquer abertura dominante não em zona de alto c_{pe} —0,4

ii — qualquer abertura dominante na área de alto c_{pe}

se a área da abertura iguala a seguinte proporção da permeabilidade distribuída em todas as faces sujeitas à sucção

proporção	1/4	—0,4
	1/2	—0,5
	3/4	—0,6
	1	—0,7
	1½	—0,8
	3 ou mais	—0,9

Onde não é possível ou não é considerado justificado estimar a variação de C_i para uma construção em particular, o coeficiente deve ser baseado em um dos seguintes parágrafos para qualquer determinação de cargas em paredes ou telhado:

1º — Onde há apenas uma pequena probabilidade de ocorrer uma abertura dominante durante uma tempestade severa, C_i deve ser tomado como o mais nocivo de +0,2 e —0,3.

2º — Para situações onde uma abertura dominante é provável de ocorrer, C_i deve ser tomado como 0,75 do valor de c_{pe} fora da abertura. As condições extremas devem ser determinadas para as diversas direções do vento que dão origem a cargas críticas e deve ser notado que pressões internas, especialmente severas, podem ser desenvolvidas se uma abertura dominante está locada em uma região de altas pressões locais externas.^h

h — BUILDING RESEARCH STATION, Garston. *The Assessment of Wind Loads*. Garston, 1970. p.9-10 (Digest, 119).

6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

a) As pressões internas podem variar amplamente, dependendo das dimensões e posição das aberturas. Algumas normas indicam valores muito baixos, enquanto que outras só admitem valores maiores para construções em que uma parede tenha no mínimo 30 ou 35% de aberturas. Este limite, como mostraram ensaios de D'Havé (2.b), Whitbread e Packer (3.d), é exagerado. Por via analítica chega-se à mesma conclusão (4.d).

A não ser em casos de construções estanques ou quase estanques (caso raro), valores altos podem aparecer dentro da construção. As sobrepressões podem chegar até próximo de +1,0, enquanto que as sucções podem atingir, excepcionalmente, valores tão altos como -1,2, dependendo das dimensões e localização da abertura ou aberturas dominantes.

b) As sobrepressões internas, principalmente quando aliadas a fortes sucções externas, são a causa de diversos acidentes. Alguns já foram descritos em trabalho anterior.⁴ Relembramos, como um dos exemplos mais típicos lá apresentados, o arrancamento total do telhado (cobertura e estrutura) do clube social da praia do Curumin, no Rio Grande do Sul. Tal arrancamento se deu exatamente quando os vidros da fachada de barlavento não resistiram à sobrepressão do vento e foram rompidos. A sobrepressão interna que então se manifestou, junto com as sucções externas arrancaram o telhado inteiro de sobre as paredes, rapidamente.

Um outro caso bastante interessante aconteceu em um pavilhão industrial no estado de São Paulo, em dezembro de 1970. Tratava-se de um pavilhão 100·55m em planta, telhado curvo, telhas de alumínio (Fig. 7). O vento incidiu quase axialmente. Na parede de barlavento havia uma abertura entre telhas e alvenaria de cerca de 40cm, ao longo de toda a parede. Tal abertura não existia nas demais paredes. A parede de barlavento e a de sotavento estavam com os portões abertos ao se iniciar a ventania. No interior deveríamos ter sobrepressões ou sucções, ou ambas, porém de pequeno valor. Como estava entrando muito vento no pavilhão, alguns operários fecharam os portões de barlavento. Ficou, portanto, internamente uma sucção em torno de -0,4: grande saída de ar a sotavento (portões abertos) e pequena entrada pela abertura entre telhas e parede de barlavento. Até aí tudo bem, sendo esta situação mais favorável à estabilidade do que a anterior. Porém pouco depois resolveram fechar também os portões de sotavento. Portanto, sobrepressão interna provavelmente entre +0,4 e +0,6, devido à sobrepressão externa que se comunicou ao interior pela abertura entre telhas e parede. Lembramos que,

como consta na Fig. 7, há um beiral na fachada de barlavento, o que faz com que tenhamos sobrepressões externas na região superior da fachada, onde está a abertura de 40cm já citada; se não existisse o beiral, teríamos sucções nesta zona, ou sobrepressões muito pequenas.

Portanto, quando foram fechados os portões de sotavento, apareceu uma forte sobrepressão interna. Esta, juntamente com o bulbo de sucções externas no telhado (na zona de barlavento), provocou o arrancamento da maioria das telhas em uma faixa de cerca de 9m, exceto os 5m inferiores de cada lado.

c) Se fizermos aparecer uma sucção interna, estaremos melhorando as condições de estabilidade do telhado, pois esta sucção vai se opor às externas. Com isto reduzimos a força de sustentação.

Isto pode ser conseguido de diversos modos, tais como:

— Colocação de lanternins ou outras aberturas em posições sempre sujeitas à sucção, para qualquer orientação do vento que conduza a altas sucções externas. Para telhado a 2 águas planas com inclinação de até cerca de 30° e para telhados curvos usuais, isto pode ser conseguido com lanternim de altura usual com ou sem venezianas, ou com lanternim bem baixo sem venezianas (Fig. 8.a).

— Para telhados de maior inclinação ou para melhorar os resultados nos pouco inclinados, podemos usar lanternins com tampos tipo válvula (Fig. 8.b). Ou, se os ventos dominantes sopram sempre com a mesma ou aproximadamente a mesma orientação, o lado de barlavento pode estar sempre fechado e o de sotavento sempre aberto (Fig. 8.c). Em ambos os casos, quando soprar o vento normal ou quase normal às fachadas maiores, o lanternim estará com seu lado de barlavento fechado. Isto faz baixar também as sucções externas, podendo mesmo transformá-las em sobrepressões, ao menos na parte do telhado próxima à cumeeira, o que mais ainda favorece a estabilidade do telhado.

— Uso de telhas especiais com ventilação (tipo concha ou chaminé) em telhados de pequena inclinação, de modo que a sucção externa se transmita ao interior pela ventilação (Fig. 8.d).

— Janelas nas paredes laterais, próximo aos extremos (Fig. 8.e). Haddon¹⁸ por exemplo, em um modelo de proporções $l \cdot b \cdot h = 11,25 \cdot 4 \cdot 2$ obteve $C_i = +0,75$ com vento axial e abertura a barlavento. Ainda com vento axial, porém abertura na parede lateral, próximo à aresta de barlavento (i.é. nas zonas das maiores sucções), obteve $C_i = -0,85$. Portanto, a alteração da pressão, por mudança do local da abertura, foi, em módulo, de 1,60. Para uma pressão dinâmica de 82kgf/m^2 ($V = 130 \text{km/h}$) isto corresponde a uma força de 131kgf/m^2 .

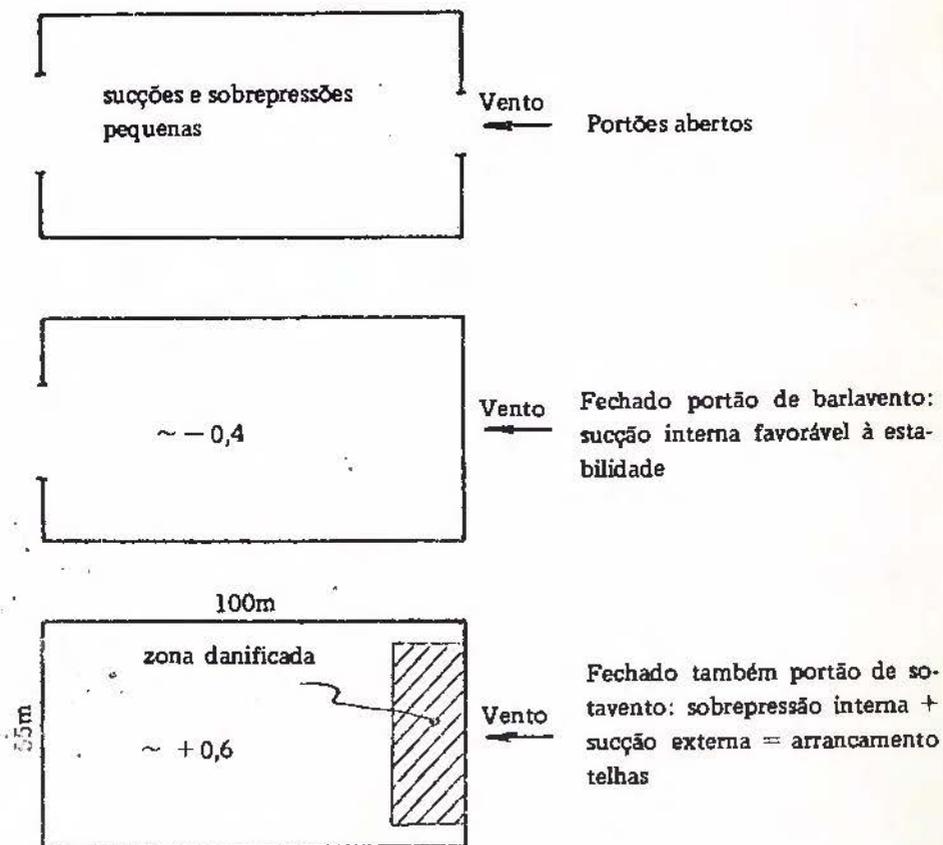
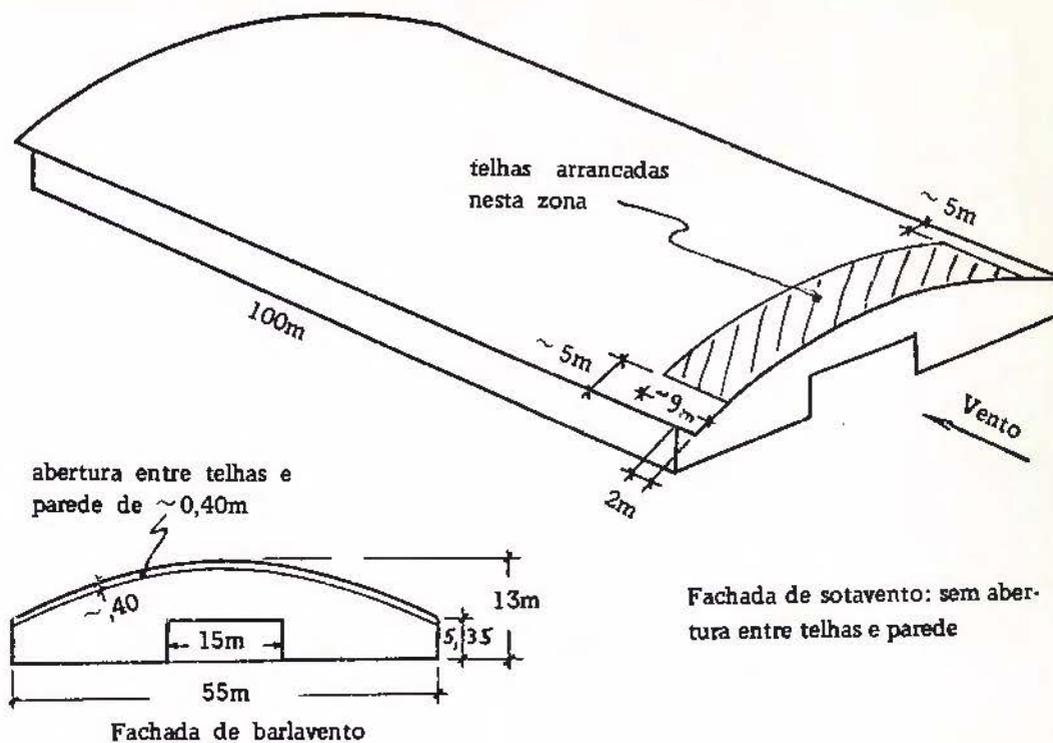
— Janelas basculantes, tipo válvula, que abrem para fora, colocadas nos oitões (Fig. 8.f). A janela de oitão em sobrepressão (de barlavento) fechará e a do oitão em sucção (de sotavento) abrirá. A solução anterior, da Fig. 8.e, quando possível, é superior a esta, pois as aberturas estão em zona de altas sucções externas, enquanto que na última solução as sucções na zona de abertura são menores.

— Aberturas de emergência, em caso de fortes temporais (Fig. 8.h). Thompson²⁹ apresenta o caso de um hangar de madeira que foi salvo pelo rápido arrancamento de parte do oitão de sotavento. Um hangar ao lado, em que não houve tempo de aplicar esta solução, ruiu. Outra solução, como abertura de emergência, é deixar algumas telhas mal fixadas em locais convenientes (Fig. 8.g). Elas serão arrancadas em fortes ventanias, aliviando a sobrepressão interna oriunda, por exemplo, de portões que foram abertos ou arrancados por sobrepressão externa.

— Durante temporais é recomendado deixar as janelas de sotavento abertas.

As soluções correspondentes às Figs. 8.a até 8.d são efetivas para vento aproximadamente normal à cumeeira. As soluções seguintes, bem como as 8.a e 8.d, são eficazes com vento axial ou oblíquo. Aberturas a sotavento, evidentemente, sempre são efetivas. Conforme a solução adotada, pode-se ou mesmo deve-se conjugar 2 ou mais das sugestões dadas para se ter um bom resultado.

A Fig. 9 resume alguns valores de normas para c_{pi} .



F.7 - Acidente causado pela pressão interna

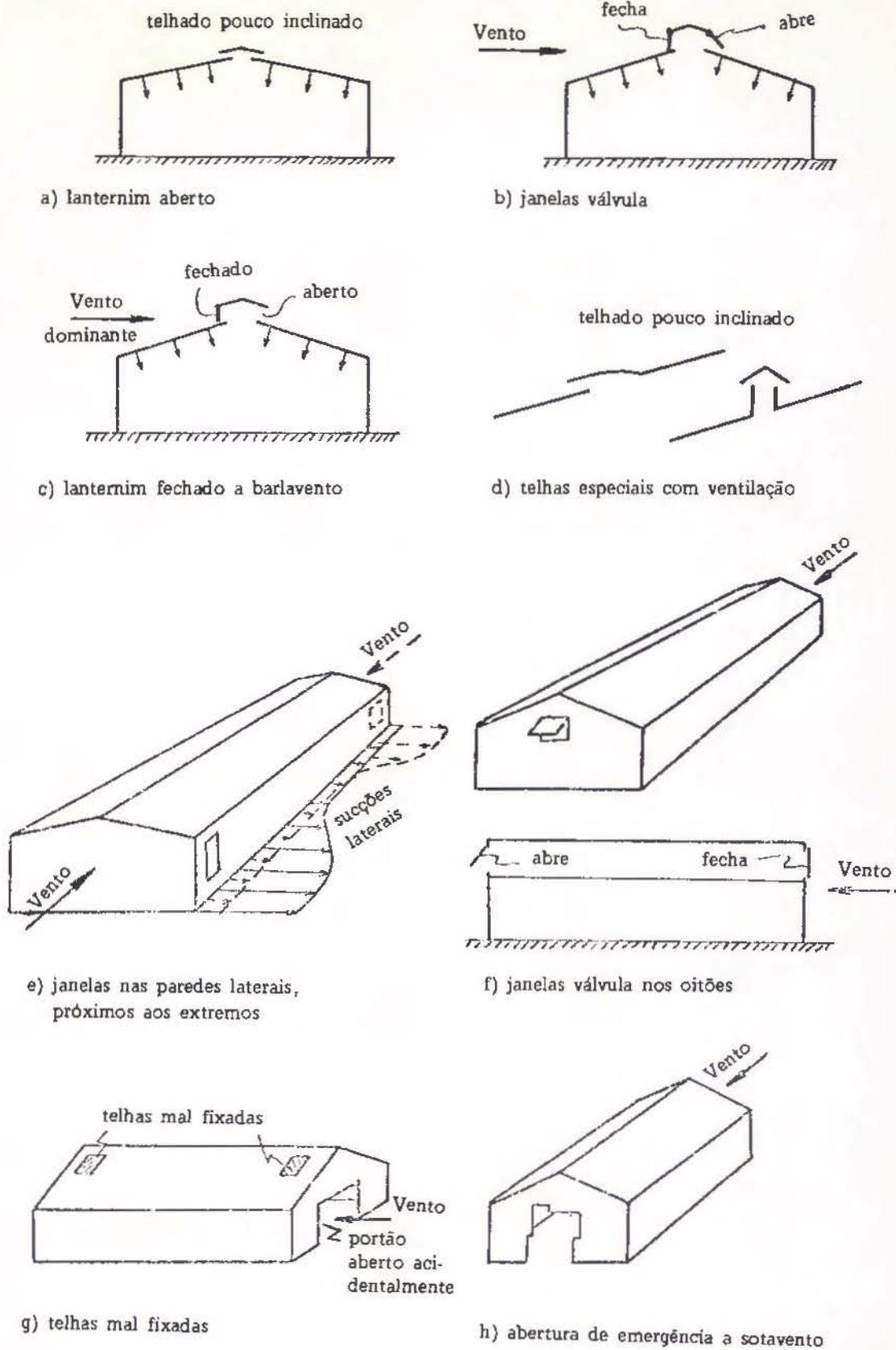
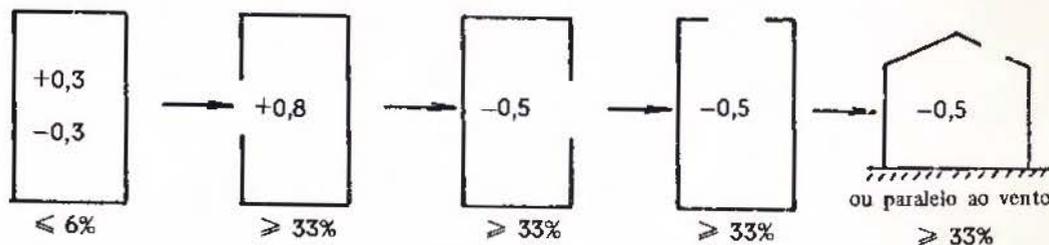
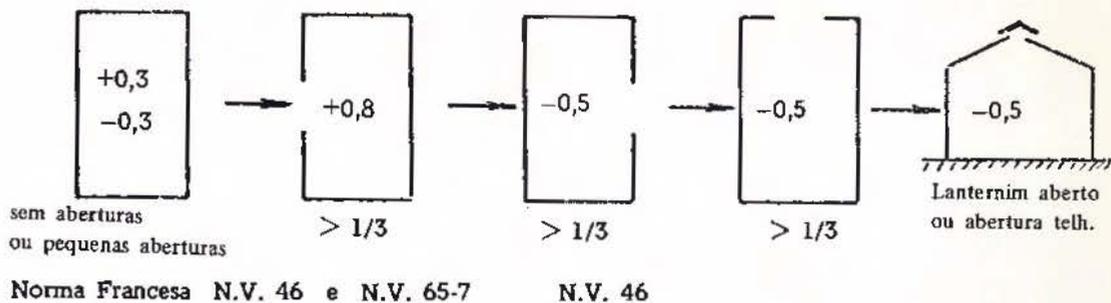
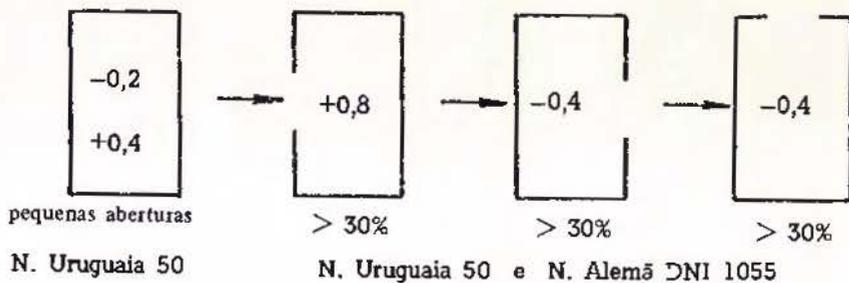
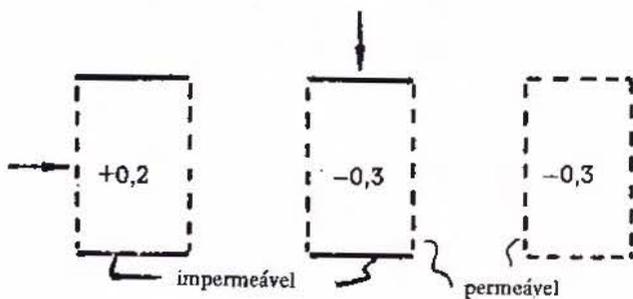
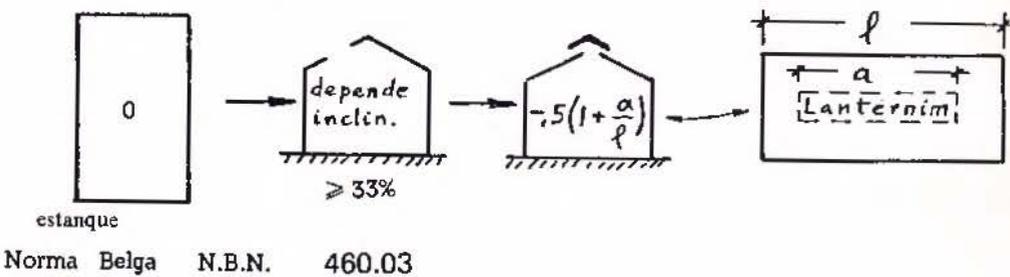


Fig.8 - Dispositivos para redução da sustentação



Norma Belga N.B.N. 460.03



N. Inglesa B.R.S. Digest 101

Fig.9 - Pressão interna. Valores de normas

BIBLIOGRAFIA

- 1 - A.S.C.E. TASK COMMITTEE ON WIND FORCES, New York, Wind Forces on Structures; Final Report. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, New York, N.Y., 126:1124-98, Oct. 1961.
- 2 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. *Norma Brasileira NB-5*. Rio de Janeiro, 1943. 2p.
- 3 - ——— *Norma Brasileira NB-5*. Rio de Janeiro, 1961. apud LANGENDONCK, T. *Comentários à Norma Brasileira NB-1; itens 1 a 13*. São Paulo, ABNT, 1962. p.44-7.
- 4 - BLESSMANN, J. Acidentes Causados pelo Vento. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, Montevideo, abr. 1969. *Anais*, Montevideo, 1969. p.19-37.
- 5 - ——— Comentários de Alguns Tópicos de Norma de Vento. In: SIMPÓSIO SOBRE ACCIONES EN ESTRUCTURAS, Tucumán, jul. 1970. *Publicación IV.8*, Tucumán, 1970. 28p.
- 6 - ——— Considerações sobre Alguns Tópicos para uma Norma de Vento. In: SIMPÓSIO SOBRE ACCIONES EN ESTRUCTURAS, Tucumán, jul. 1970. *Publicación IV.7*, Tucumán, 1970. 26p.
- 7 - ——— Estudo Aerodinâmico da Cúpula do Hotel Tropical de Manaus. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 14, & SIMPÓSIO PAN-AMERICANO DE ESTRUCTURAS, 4., Buenos Aires, out. 1970. *Anais*, Buenos Aires, C.E.I., 1971.
- 8 - ——— Vento em Cúpulas. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 12, & SIMPÓSIO PAN-AMERICANO DE ESTRUCTURAS, 3., Caracas, jul. 1967. *Anais*, Caracas, 1967.
- 9 - ———. ———. *Boletim IMME*, Caracas, 5(20):49-100, oct. 1967.
- 10 - ———. ———. *Engenharia no Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, 3(19):22-4, 26-8, 30-2, 34-6, nov./dez. 1968. *Resumo*.
- 11 - BUILDING RESEARCH STATION, Garston. *The Assessment of Wind Loads*. Garston, 1970. 12p. (Digest, 119).
- 12 - ——— *Wind Loading on Buildings-2*. Garston, 1969. (Digest, 101).
- 13 - ——— *Wind Loading on Buildings-3*. Garston, 1969. p.1-8. (Digest, 105).
- 14 - COMMISSION DES RÈGLES NEIGE ET VENT, Paris, *Règles Définissant les Effets de la Neige et du Vent sur les Constructions: Règles N.V. 65, Revision 1967*. Paris, Société de Diffusion des Techniques du Bâtiment et des Travaux Publics, 1967.
- 15 - D'HAVÉ, R. *L'Action du vent sur les Bâtiments*. Bruxelles, A. B. E. M., 1965. 11p. (Publication, 321).
- 16 - ——— *Action du vent sur les Bâtiments: Rapport des recherches faites par le Bureau SECO avec l'appui de l'Irsia*. Bruxelles, Bureau de Contrôle pour la Sécurité de la Construction en Belgique, 1963. 2v.

- 17 - FRANÇA, Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme, Paris. *Règles Définissant les Effets de la Neige et du Vent sur les Constructions*: Règles N.V. 1946. Paris, 1947. 85p.
- 18 - HADDON, J. D. Wind Loading on Roofs. *Engineering*, London, 184(4782):559-61, Nov. 1957.
- 19 - HEMPEL, G. *Lastannahmen im Hochbau*. Bruder, 1948. 2v.
- 20 - INSTITUT BELGE DE NORMALISATION, Bruxelles. *Action du Vent sur les Constructions*; Bâtiments-NBN 460.03. Bruxelles, 1960. 16p.
- 21 - INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TÉCNICAS, Montevideo. *Norma Uruguaya U.N.I.T. Norma 50*: Norma para la Acción del Viento sobre Construcciones. Montevideo, 1948. 11p.
- 22 - IRMINGER, J. O. V. & NØKKENTVED, C. *Wind-pressure on Buildings*. Experimental Researches, First Series. Copenhagen, 1930.
- 23 - ——— *Wind-pressure on Buildings*. Experimental Researches, Second Series. Copenhagen, Naturvidenskabelige Samfund, 1936.
- 24 - NATIONAL BUILDING CODE OF CANADA. Associate Committee, Ottawa. *Handbook of Pressure Coefficients Wind Loads*: NRC 6485. Ottawa, 1961. 18p. Supplement, 3.
- 25 - NEWBERRY, C. W. The Measurement of Wind Pressures on tall Buildings. In: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES: Symposium, 16., Teddington, 26-8 June, 1963. *Proceedings*. Teddington, National Physical Laboratory, 1963. v.1, p.113-49, Paper 13.
- 26 - PRIS, M. R. *L'Action du Vent sur les Bâtiments et Constructions*. Partie I.
- 27 - SEXTON, D. E. *Building Aerodynamics*. Garston, Building Research Station, 1968. 6p. (Current Paper 64/68).
- 28 - SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEUR ET DES ARCHITECTES, Zürich. *Normes Techniques n.160*: Normes pour les Charges, la Mise en Service et la Surveillance des Constructions. Zürich, 1956. 40p.
- 29 - THOMPSON, R. A. Protection of Small Buildings Against High Velocity Winds. *Florida Engineering and Industrial Experiment Station; Bulletin*, Florida, 3(7):1-49, Sept. 1949.
- 30 - WILSON, J. A. Windstorms and their affect on buildings. *Journal of the Boston Society of Civil Engineers*, Boston, 38(1):262-71, Jan. 1961.
- 31 - WINDLAST-DIN 1055, *Beton-Kalender*, Berlin, p.516-23, 1956.
- 32 - WRITBREAD, R. E. & PACKER, M. A. *Wind-tunnel Tests to Determine the Effectiveness of a Ridge Ventilator for Alleviating the Wind Loading on a Light-weight Roof*. Teddington, National Physical Laboratory, Aerodynamics Division, 1963. (NPL Aero Report, 1077).

Composto na Editora da URS e
Impresso na Tipografia Mascote
em agosto de 1975

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

IVO WOLFF, Reitor

HOMERO SÓ JOBIM, Vice-Reitor

WALTER OTTO CYBIS, Superintendente Acadêmico

MANOEL MARQUES LEITE, Superintendente Administrativo

Editora da URGs

BLASIO H. HICKMANN, Coordenador

Conselho Editorial

ANA ÍRIS DO AMARAL

BLASIO H. HICKMANN

FLÁVIO LOUREIRO CHAVES

FRANCISCO RIOPARDENSE DE MACEDO

LOTHAR FRANCISCO HESSEL

WALTER OTTO CYBIS

Blessmann, Joaquim

Pressão Interna. Porto Alegre, Editora da URGs, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1975.

37p. ilust. 29,7cm (Série Engenharia Estrutural, 5)

Bibliografia: p.36-7

I. Título. II. Série.

CDU 624.042

CDD 624.175

© de Joaquim Blessmann, 1975

W^o do registro: 3300

W^o da obra: 966

Data: 26/05/2010

SUMÁRIO

- 1 – Introdução / 9
- 2 – Ensaio: Permeabilidade das Paredes / 11
- 3 – Ensaio: Lanternins / 14
- 4 – Cálculo da Pressão Interna / 21
- 5 – Normas / 24
- 6 – Conclusões e Recomendações / 30
- Bibliografia / 36



Simbologia

- a = comprimento da abertura do lanternim
- c_p = coeficiente de pressão = $c_{pe} - c_{pi}$
- c_{pe} = coeficiente de pressão externa = $\Delta p_e/q$
- c_{pi} = coeficiente de pressão interna = $\Delta p_i/q$
- C = coeficiente de forma = $C_e - C_i$
- C_e = coeficiente de forma externo = F_e/qS
- C_i = coeficiente de forma interno = F_i/qS
- C_s = coeficiente de sustentação = F_s/qS
- d = diâmetro da base de uma cúpula
- f = flecha de uma cúpula
- F_e = resultante das pressões externas atuantes sobre uma superfície plana
- F_i = resultante das pressões internas atuantes sobre uma superfície plana
- F_s = força de sustentação ou Sustentação. Componente vertical das forças do vento
- h = altura de parede
- K = coeficiente de vazão
- $l \cdot b$ = dimensões em planta
- q = pressão dinâmica ao longe = $(1/2) \rho \bar{V}^2$
- Q = vazão volumétrica
- S = área de parede; área de orifício; área de referência para cálculo de coeficientes aerodinâmicos
- S_p = área de parede
- \bar{V} = velocidade média de referência do vento
- \bar{V}_{z_0} = velocidade média do vento na altura z_0
- Δp_e = pressão efetiva externa
- Δp_i = pressão efetiva interna
- ρ = massa específica do ar

