

J. Blessmann

Acidentes Causados Pelo Vento

SÉRIE ENGENHARIA ESTRUTURAL/2



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

a seguir:

● *Intervalo de Tempo para Cálculo da Velocidade Básica do Vento*

J. Blessmann

● *Considerações sobre Alguns Tópicos para uma Norma de Vento*

J. Blessmann

● *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

S A181

**Acidentes Causados
Pelo Vento**

RESERVA TECNICA
Editora da UFRGS

Acidentes Causados Pelo Vento

Joaquim Blessmann

- Engenheiro Civil
- Mestre 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)

RESERVA TÉCNICA
Editora da UFRGS

RESERVA TÉCNICA
Editora da UFRGS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
Série Engenharia Estrutural



EDITORA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PÔRTO ALEGRE / 1971

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Prof. Dr. EDUARDO Z. FARACO, Reitor

Prof. Dr. IVO WOLFF, Vice-Reitor

Prof. JORGE ALBERTO FURTADO,
Superintendente Acadêmico

Prof. MANOEL MARQUES LEITE,
Superintendente Administrativo

EDITORA DA UNIVERSIDADE

BLASIO H. HICKMANN, Coordenador

Conselho Editorial

ANA IRIS DO AMARAL

FLAVIO LOUREIRO CHAVES

JUDITH LANG PINHEIRO ALVES

JUSSARA PANSARDI DA CUNHA

LOTHAR FRANCISCO HESSEL

Nº de registros: 1

Nº de livros: 1

Data: 29/09/2009

1 - INTRODUÇÃO

a) Neste trabalho estudaremos acidentes causados por ação estática do vento, principalmente em construções baixas.

A importância dos efeitos do vento nas construções está intimamente ligada ao desenvolvimento da tecnologia dos materiais, e da ciência e técnica das construções, bem como a um melhor aproveitamento dos terrenos, com a construção de edifícios cada vez mais altos.

O vento não era problema em construções baixas e pesadas de grossas paredes, mas passou a ser, e em medida crescente, quando as construções foram se tornando mais e mais esbeltas, e as estruturas usando cada vez menos quantidade de material.

Atualmente as paredes de edifícios altos não têm, em geral, função resistente, mas apenas de vedação. São, em muitos casos, constituídas de leves painéis de vedação, fazendo com que já apareçam problemas de arrancamento de painéis, pelas altas sucções que aparecem próximo às quinas. Foi o que aconteceu em arranha-céu de Nova York, em março de 1966⁵, onde o vento arrancou um painel entre duas janelas, bem como os vidros das janelas do 18º e 21º pisos, nas proximidades da quina do edifício.

Chamamos a atenção de que este é um acidente que tende a aparecer mais seguidamente, tendo em vista os leves painéis de revestimento, e também os baixos valores de sucção dados pela maioria das normas

de cálculo. Ensaaios realizados por diversos pesquisadores mostram que as sucções reais são bem superiores às de algumas normas.

b) O estudo racional da ação do vento, através da aerodinâmica, tem permitido chegar a formas estruturais mais econômicas. Assim, por exemplo, a forma cilíndrica dos arcos e montantes da ponte de Aske - roefjord, Suécia, a forma levemente cônica das torres em treliça de Cadiz, Espanha, a forma das pontes de Tancarville, França, e Severn Bridge, Grã-Bretanha, permitiram reduzir em muito os esforços estáticos do vento.

c) Acidentes em edifícios são raros. Clássico é o colapso do Meyer-Kiser Bank Building, Flórida, USA, pelo furacão de 18/9/1926¹⁶. Este edifício foi torcido, ficando sua estrutura metálica deformada, as paredes fendilhadas, tendo algumas ruído. Já o arrancamento de paredes, sem danos na estrutura, é um acidente mais comum.

Acidentes em pontes são bastante numerosos. Principalmente no século passado diversas pontes tiveram apenas alguns meses ou anos de vida útil, antes de serem total ou parcialmente destruídas¹¹ pelo vento. O assunto hoje em dia é particularmente importante em torres de transmissão de energia elétrica, torres de rádio, TV e micro-ondas, antenas do radar e outras estruturas semelhantes.

d) Entretanto, a maioria dos acidentes ocorre em construções leves, principalmente de grandes vãos livres, tais como hangares, pavilhões de feiras e de exposições, pavilhões industriais, oficinas, grandes mercados, depósitos de cereais, armazéns portuários, estações ferroviárias, garagens, sedes de clubes sociais, coberturas de estádios e hipódromos, ginásios cobertos, cinemas, teatros, igrejas, pavilhões para fins agrícolas e pecuários, etc.

Um único acidente destes, isoladamente, não representa muito no conjunto da economia nacional. Mas somados, os prejuízos causados à economia das nações por todos estes acidentes representam um valor apreciável.

e) Assim, por exemplo, uma companhia de seguros do estado de Iowa, USA, pagou cerca de 1,5 milhão de dólares por danos causados pe

la tempestade de outubro de 1949, e mais de 3 milhões pelos causados por uma tempestade ainda mais devastadora, em maio de 1950⁶.

f) O furacão de Flórida, em 1926, causou 75 milhões de dólares de prejuízo.

g) Dois furacões na ilha de Antígua, no ano de 1950, causaram 1 milhão de dólares de prejuízo. Trotman¹⁴, chama a atenção de que após o furacão de 1928 foram tomadas precauções para tornar as construções resistentes aos furacões. Mas à medida que o tempo foi passando e o acidente foi esquecido, a maioria das estruturas foram construídas para resistir apenas a condições normais e não estavam aptas para resistir aos esforços de ventos mais violentos.

O mesmo, diga-se de passagem, aconteceu após o desastre com a ponte Tay Bridge, Escócia, 1879. As normas aumentaram bastante os esforços do vento, e com o correr dos anos foram diminuindo de novo.

As construções de madeira que sofreram danos nos dois furacões citados por Trotman em sua maioria eram leves, insuficientemente contraventadas e inadequadamente fixas em suas fundações. Muitas outras ruíram por detalhes construtivos impróprios ou devido à falta de manutenção.

h) Wilson¹⁵, indica que, de acordo com os dados do "Factory Mutual System", no período de 1935 a 1949 as perdas em média foram de 1 milhão de dólares por ano. Na maioria dos casos os danos foram nos telhados e na maior parte por ventos com velocidade entre 120 e 200 km/h. Na tempestade de 25/11/1950 os danos foram de mais de 4 milhões de dólares, incluindo as perdas pela chuva.

i) Um acidente típico, em obras de grandes vãos internos, é o arrancamento parcial ou total das telhas. Se estas estão bem presas, então parte ou toda a estrutura do telhado pode ser levada junto (caibros e ou terças, e às vezes também as tesouras), em alguns casos por centenas ou mesmo milhares de metros. Kármán⁸ cita o caso de um telhado em arco construído sobre pilares, mas ainda sem as paredes; um forte vento fez com que o telhado, qual asa gigante, fôsse levado a alguns quilômetros de distância.

Embora de proporções bem mais modestas, temos notícia de um acidente semelhante ocorrido há alguns anos em Pôrto Alegre: ao levantar-se, o proprietário de uma casa deparou com o telhado da mesma "pousado", praticamente intacto, em um terreno baldio vizinho.

Outras vêzes além do telhado também as paredes de alvenaria e mesmo estruturas em aço, madeira ou concreto armado são destruídas, parcial ou totalmente.

Muitos prejuízos são causados, não pela ação direta dos ventos, mas sim pelas partes de construções arrancadas pelo vento de outros locais e lançadas ou deixadas cair mais adiante.

j) Para tornados, não há interêsse em projetar as construções leves para resistir à sua ação. É muito mais econômico reconstruir as construções que ficam no caminho relativamente estreito do tornado, do que calcular tôdas elas para resistir a seus efeitos.

k) Mesmo para ventos previstos nas normas, há casos em que não é econômico calcular a construção para resistir a êles. Um caso muito comum é o de muros de divisa (1,80 m de altura, 1/2 tijolo de espessura, 11 a 12 cm, contrafortes cada 2,50 a 3,00 m). Êles não resistem à força do vento especificada nas normas. Entretanto, são relativamente poucos os muros que tombam por ação do vento, pois a probabilidade de se ter uma rajada máxima de cálculo sôbre um muro, e com a incidência mais nociva, é pequena. É mais econômico reconstruir êstes poucos muros que desabam do que construir todos êles para resistir (o consumo de material seria duplo).

2 - CAUSAS AERODINÂMICAS DOS ACIDENTES

Entretanto, cremos que a maioria dos acidentes causados pelo vento podem ser evitados. Do ponto de vista aerodinâmico êles são devidos a um ou mais dos seguintes fatores: coeficiente de forma, velocidade do vento, pressão interna.

2.1 - Coeficiente de forma e de pressão

a) O ângulo de incidência do vento e as proporções entre as dimensões da construção são dois fatores que influem bastante no coeficiente de forma, e que muitas normas não levam em conta. Assim, por exemplo, grandes sucções locais aparecem com vento incidindo entre 15°, 30° e 45° com a parede. Estas sucções aparecem nas proximidades das quinas, tanto horizontais como verticais.

Os coeficientes de forma (que representam um valor médio em uma superfície plana) de algumas normas são muito pequenos. Assim, por exemplo, as normas alemã e brasileira dão o máximo de sucção em telhado com cobertura horizontal. Entretanto, ensaios aerodinâmicos e algumas normas indicam que o máximo de sucção média aparece entre 8° e 12° de inclinação do telhado, para certas proporções da construção e incidência do vento.

b) Em ensaios que realizamos em São Paulo, obtivemos no tampo de uma construção alta com cobertura plana, um coeficiente de pressão de -3,60 (sucção), enquanto que em Iowa, em construção baixa, chegou-se a -7,40. É um acidente comum o arrancamento parcial de telhados constituídos de telhas metálicas onduladas, em virtude destas fortes sucções locais. A solução está em reforçar a fixação das telhas nas terças.

2.2 - Velocidade máxima do vento

a) É outro fator de importância. Enquanto Inglaterra, França, Bélgica e Holanda, por exemplo, apresentam 3 ou 4 zonas com diferentes velocidades máximas do vento, o Brasil, com todo seu tamanho, apresenta apenas uma. No estado do Rio Grande do Sul é comum aparecerem rajadas de 130 km/h, a 7 m de altura, e com duração suficiente para afetar todo o campo aerodinâmico no entorno de uma construção de dimensões comuns. A pressão de obstrução correspondente vale 82 kgf/m², enquanto que a norma NB-5 fornece, para alturas entre 6 e 20 metros, o valor 60 kgf/m².

b) A velocidade máxima do vento a considerar depende também de outros fatores, tais como: probabilidade de ocorrência do vento máximo durante a vida útil da construção; condições topográficas, que influem no perfil de velocidades e altura em que é alcançada a velocidade de gradiente; dimensões da construção, risco de vidas humanas, etc.

2.3 - Pressão interna

a) A consideração da pressão interna correta torna-se particularmente importante no caso de grandes recintos, tais como pavilhões para exposição e indústria, hangares, estações ferroviárias cobertas, etc. Também aqui algumas normas dão valores bem abaixo dos reais, como veremos ao explicar a causa de alguns colapsos.

b) Acidentes têm sido evitados fazendo reinar no interior da construção uma depressão, que diminui o esforço externo de sucção. Isto se consegue com aberturas na zona em sucção. Estas aberturas podem ser de emergência ou permanentes. Por exemplo, abrindo uma boa parte do oitão situado na esteira da construção (emergência); ou construindo janelas basculantes tipo válvula, que se abrem com sucção e se fecham com sobrepressão (permanente).

3 - CAUSAS ESTRUTURAIS DOS ACIDENTES

a) Examinando-se os acidentes, chegamos a conclusão de que, quanto à resistência da estrutura, em geral o problema é de *falta de ancoragem*, seja das telhas nas terças, seja destas na estrutura do telhado (tesouras, arcos, etc.), seja destes últimos no restante da estrutura, ou ainda desta nas fundações. Ou então há falta de ancoragem dos painéis de vedação na estrutura secundária, ou desta na estrutura principal, ou de elementos estruturais entre si.

O acidente mais comum neste item é o arrancamento de telhas, por estarem mal ou insuficientemente ancoradas.

b) Também um *contraventamento insuficiente* de paredes e telha — dos pode levar a estrutura ao colapso, principalmente estruturas de madeira e metálicas.

c) Em alguns casos, porém, o problema é de *dimensionamento insuficiente*, como ocorreu na flambagem de arcos em treliça de um pavilhão na cidade de Gravataí, Rio Grande do Sul.

Outras causas são as seguintes:

d) *Fundações inadequadas*. Em muitos casos a fundação não tem o peso ou a profundidade necessária para, juntamente com o terreno interessado, resistir à força ascensional causada pelas altas sucções que aparecem em certos telhados. Assim, por exemplo, a força ascencio

nal em um hangar de cobertura curva pode ser superior a seu pêso próprio.

Em outros casos as dimensões das fundações não são suficientes para resistir aos momentos que aparecem (tombamento).

e) *Paredes inadequadas.* As paredes podem tombar por ser fraca a argamassa ou, no caso de grandes painéis, por não terem uma estrutura em concreto ou metálica que lhes dê estabilidade.

A parede pode estar resistindo enquanto o telhado está firme em seu lugar, mas irá abaixo assim que êste é arrancado.

4 - EXEMPLOS DE ACIDENTES NO EXTERIOR

a) Esmay e Giese ⁶, em um estudo sôbre danos causados pelo vento em construções rurais, apresentam os resultados de um trabalho estatístico de 20 anos desenvolvido pela "Iowa Agricultural Experiment Station". Destacamos as seguintes conclusões: "*Alguns celeiros aparentemente resistentes foram demolidos devido à falta de consideração do contraventamento, bem como de uma adequada ancoragem dos telhados. Quase todos estes danos teriam sido evitados com apenas um pequeno custo extra*". Já para o problema da cobertura dos telhados, "*para evitar a maioria dos acidentes será necessário um esforço dos fabricantes e colocadores para obter economicamente elementos de coberturas que resistam ao vento*". *

b) Scruton e Newberry ¹¹ citam diversos casos de arrancamento de elementos de cobertura ou de todo o telhado. Por exemplo: uma cobertura asfáltica em telhado pouco inclinado de uma água foi arrancada pela sucção, nas proximidades da quina de barlavento. Outro caso interessante é o de parte de cobertura de telhado arrancada pela sucção que se formou atrás de uma tôrre de igreja. Problema análogo apareceu em igreja de Pôrto Alegre, em que o telhado atrás da tôrre foi por várias vêzes danificado por se encontrar em zona de fortes sucções (esteira muito turbulenta da tôrre).

* ESMAY, Merle & GIESE, Henry. *Wind damage to farm buildings*. Agricultural Engineering, St. Joseph, Mich., 32:277, May 1951.

Scruton e Newberry constataram centenas de casos de telhados danificados a sotavento de chaminés nos vendavais do inverno de 1962-63 (Grã-Bretanha).

c) Font ⁷, estudando os danos causados por furacões em Pôrto Rico, chegou às conclusões a seguir expostas. A velocidade máxima do vento foi de cerca de 220 km/h.

As estruturas de aço e concreto armado danificadas tinham projeto estrutural deficiente. Ou eram fracas demais, ou o contraventamento era deficiente ou inexistente, ou a esbeltez dos pilares de aço era demasiada.

Outras conclusões, mais específicas, são:

- 1º - Pressão do vento usada nos cálculos é muito baixa.
- 2º - Construções de concreto armado, quando bem calculadas e apropriadamente construídas são a prova de ciclones.
- 3º - Contraventamento e conexões dos contraventamentos das estruturas de aço devem ser cuidadosamente estudados, e não apenas feita uma estimativa.
- 4º - Coberturas em painéis leves (zinco, ferro galvanizado, alumínio, etc.) e telhas de barro são inseguros e um elemento de perigo durante ciclones. Um grande número de mortes foi devido a pedaços de coberturas que voavam.
- 5º - O único telhado a prova de ciclones é o de laje de concreto.
- 6º - Usar janelas com vidros reforçados, quando são diretamente expostos ao vento.
- 7º - Telhados a 4 águas resistem mais que os de 2.
- 8º - Ferragens comuns de portas e janelas não são suficientes. Elas voam fora.

9º - Treliças de telhados devem ser seguramente ancoradas às paredes da construção.

10º - No caso de linhas telefônicas, telegráficas e de força elétrica, é mais econômico segurá-las do que construí-las à prova de ciclones.

d) Saffir ¹⁰, estudando furacões de Miami, concluiu que o dano mais comum foi em telhados de residências e de pequenas estruturas. Coberturas de papelão alcatroado foram arrancadas de residências pela força do vento. Altas sucções apareceram principalmente em coberturas planas de residências, que sofreram mais danos que telhados inclinados. Algumas residências mostraram insuficiência de ancoragem dos telhados. Em muitos casos a razão de colapso de telhados foi a falta de atenção para detalhes construtivos supostamente sem importância. Parece ter sido ignorada a possibilidade da existência de altas sucções.

Tôrres metálicas de rádio em geral sofreram dano, e 11 foram completamente destruídas. A ruína parece ter iniciado por flambagem de barras, individualmente. Nenhuma torre ruiu por tombamento da estrutura inteira. Diversas torres estaiadas resistiram à força do furacão sem dano.

Saffir, para resumir, salienta que além de danos gerais em telhados de pequenas estruturas e em torres de rádio, não houve grande dano estrutural na tempestade de 1950.

e) É interessante assinalar que Wilson ¹⁵ concluiu que a ancoragem dos telhados poderia evitar praticamente todos os danos a telhados causados por ventos fortes e furacões (120 a 200 km/h) e poderia também evitar alguns dos danos dos tornados, fora da trajetória de seu núcleo. Dos acidentes estudados por Wilson, o tipo mais frequente de danos foi justamente sobre coberturas de telhados.

Quanto às paredes, os danos em geral foram devidos ao levantamento de telhados sem ancoragem, com o conseqüente colapso das paredes por falta de suporte lateral no nível do telhado. Também paredes de alvenaria de edifícios em construção foram demolidas por inadequa-

da ancoragem.

Janelas foram freqüentemente danificadas por tempestades comuns e também por furacões. Em geral devido à fixação fraca, mas também por colocação imprópria.

Também lanternins sofreram danos.

A principal recomendação de Wilson é: *ancorar telhados* (nenhum caso de acidente foi constatado nos telhados ancorados e calculados com uma força de sustentação adequada). *"Se os telhados estão ancorados, e assim sendo não podem ser levantados pelo vento, de modo que as paredes têm apoio na parte superior, é extremamente improvável que elas sejam danificadas"*. *

Para paredes em construção Wilson recomenda usar contraventamento provisório sempre que a altura da parede seja superior a 10 vezes sua espessura. Um acidente por falta deste contraventamento ocorreu no município de Canoas, Rio Grande do Sul, em dezembro de 1962. Toda uma parede em construção, com 60 m de comprimento e cerca de 2 m de altura, ruiu.

f) Furacão de Miami de 1950 (velocidade do vento acima de 240 km/h, a 69 m de altura). Da revista *Civil Engineering*¹ extraímos os seguintes comentários:

O código de Miami especifica cuidadosa ancoragem de todas as tesouras; muito poucos casos foram encontrados onde tesouras e estruturas de telhados foram danificados. Os danos em geral foram em detalhes dos telhados. Observe-se que só 0,3% do número total de construções sofreu danos, enquanto que o furacão de 1926 danificou 80%. Isto indica que o novo código de construção levou em conta devidamente a lição.

g) Furacão da Flórida⁹, 18/9/1926. Causou danos de 75 milhões

* WILSON, J. A. *Windstorms and their affect on buildings*. Journal of the Boston Society of Civil Engineers, Boston, Mass., 38(1) : 271, Jan. 1951.

de dólares. Vento de 200 km/h, com rajadas de maior velocidade. De cerca de 25 edifícios, 3 foram danificados. Todos êles eram muito estreitos e estavam abertamente expostos ao vento em tôdas as direções.

Por outro lado, a percentagem de acidentes em construções com grandes áreas sem repartições (garagens, igrejas, salões, etc.) foi bem maior: freqüentemente sofreram colapso completo. Algumas delas tinham vigas e pilares nos planos das paredes, mas não vigas transversais, de modo a formar uma estrutura espacial.

O processo de destruição em geral foi o seguinte:

As platibandas foram jogadas sôbre o telhado ou para um lado. Isto abriu uma entrada para o vento através do telhado danificado ou ao longo da linha aberta entre telhado e parede. A sobrepressão interna e sucção externa arrancaram o telhado. As paredes, sem o apoio superior, ruíram.

Vê-se, pois, a grande importância de usar telhados de boa resistência e bem ancorados. Telhados em chapas de papelão alcatroado e fixadas com pregos em geral são rasgados. Telhas de barro são geralmente arrancadas; se as telhas são enganchadas, resistem mais. Telhados de fôlhas galvanizadas foram invariavelmente arrancados. Muito dano foi causado a telhados por objetos pesados que voavam, inclusive telhas arrancadas de outras construções.

h) Editorial de Engineering News-Record, Dec. 1, 1938 ⁴, chama a atenção de que os relatórios de danos de furacões mostram que a maior causa de danos é a falta ou insuficiência de ancoragem dos telhados nas construções.

5 - EXEMPLOS DE ACIDENTES NO RIO GRANDE DO SUL

a) Grupo Escolar em Júlio de Castilhos. Temporal da noite de 29/8/61. O vento incidiu oblíquamente a uma das fachadas, justamente a que possuía uma parte em elementos vasados (fig. 1.a). A sobrepresão interna que se estabeleceu auxiliou a sucção externa (inclinação do telhado: 12°), arrancando todo o telhado (cobertura e estrutura) e grande parte das vigas de ancoragem do mesmo (fig. 1.b). Um dos extremos de uma destas vigas estava por sua vez ancorado com dois ferros de 2 m em uma parede de pedra. Estes ferros foram arrancados (fig. 1.c). Em outro local, onde a viga de ancoragem estava melhor ancorada, o parafuso que solidarizava tesoura e viga levou consigo um cilindro perfeito de concreto, de base delimitada pela placa inferior de ancoragem (fig. 1.d).

b) Depósito de cereais em Carazinho. Com este depósito ocorreu uma série de acidentes. No primeiro deles o vento arrancou diversas telhas, o que levou os responsáveis a ancorarem-nas melhor. Uma segunda ventania levou então telhas e terças, arrancando as peças em U, com pontas de lança, que uniam terças e arcos de madeira (fig. 2). A ligação danificada foi refeita com várias voltas de ferro comum de construção. A ventania de 26/9/61, com rajadas de 67 km/h, encontrando uma boa ancoragem na parte superior, partiu pela base os pilares de concreto armado de barlavento. Neste lado a ancoragem dos arcos nos pilares já tinha sido reforçada com ferros de $\phi 1/2''$, em braçadeiras (as duas pontas mergulhadas no pilar). Na parede de sotavento isto fora feito apenas em alguns pilares. Na maioria deles ("zona danificada" da

fig.) ainda estava a ancoragem primitiva, de ferros ϕ 3/8" apenas dobrados em gancho. Estes ganchos foram retificados e os arcos foram levantados a sotavento pela força ascensional do vento. Estabeleceu-se no interior uma sucção, que aliada a sobrepressão externa na parede de barlavento, empurrou esta para dentro da construção. Os pilares de concreto armado de barlavento ruíram, em virtude da justaposição insuficiente das barras de aço das "esperas" das fundações. Mesmo ruindo os pilares conservaram-se solidários aos arcos, que se apoiaram intermediariamente nos pilares de sotavento (fig. 2). Os arcos ficaram intactos. A cobertura era de telhas de alumínio de 5,50 m, e poucas foram arrancadas. Uma parte da parede lateral mais de barlavento ruiu para o interior do pavilhão.

c) Praia do Curumim. Temporal de 30/11/61. Diversas residências de veraneio tiveram os telhados danificados, sendo que de uma delas voaram tôdas as telhas, de fibrocimento. O acidente mais notável foi o ocorrido no clube social.

O telhado do clube "arfava", movendo-se como uma membrana, para cima e para baixo. Em dado momento os vidros das janelas da frente não resistiram à sobrepressão e estalaram (fig. 3.a). Imediatamente o telhado levantou vôo, levando junto lâmpadas e lustres que nêle estavam fixados. O conjunto passou por sobre uma parede interna e a dos fundos, indo cair a cêrca de 40 metros (fig. 3.b). A cobertura era de telhas de fibrocimento; telhado de duas águas de pequena inclinação.

Causa do acidente: alta sobrepressão interna, devido à ruptura dos vidros, aliada a alta sucção externa, provocaram uma força de sustentação superior ao pêso próprio; não havendo ancoragem do telhado nas paredes, êle foi levantado.

Uma segunda ventania, dias apôs, derrubou uma das paredes, que ficara livre em seu extremo superior.

d) Prêdio nos arredores de Pôrto Alegre. 1962 e 1963. No temporal de 3/12/62 o vento incidiu oblíquamente à ala sul. Observa-se na fig. 4 que o telhado completo (cobertura de alumínio, terças e tesouras) foi arrancado em seus primeiros 20 metros, indo parte cair no solo e parte na ala vizinha. Em outro temporal, mais violento, em

16/3/63, os 9 metros mais de barlavento do telhado foram arrancados , indo parar a mais de 100 metros de distância. Também neste caso a incidência do vento foi oblíqua.

A causa do arrancamento do telhado, em ambos os casos, foi a falta de ancoragem.

Também outras construções situadas nas proximidades tiveram seus telhados arrancados total ou parcialmente, e lançados alguns deles a grandes distâncias.

e) Pavilhão da FENAC. Nôvo Hamburgo. Em abril de 1963 o vento danificou o pavilhão da FENAC, que mede 40×100 m, com telhado curvo revestido com telhas de fibrocimento. A estrutura do telhado é constituída por arcos tri-articulados, de treliça metálica. O vento agiu quase axialmente, pela frente. Ainda não estavam colocados os vidros do oitão da frente. Os portões têm dimensões 3×4 m. Estavam abertos os 3 portões da frente e os 4 das paredes laterais (2 em cada). Os 2 portões da parede dos fundos estavam fechados, e o oitão desta parede já tinha os vidros colocados. Nestas condições, o esforço de sobre - pressão interna somou seus efeitos à sucção externa. A fôrça ascensional levantou a cumeeira do telhado e inverteu o sentido do empuxo nos dois apoios. A vinculação destes era incompleta, apta a resistir apenas a empuxo para fora. Com a inversão deste, os dois extremos dos arcos correram para dentro e o telhado caiu no interior do pavilhão (figuras 5.a e 5.b).

De acôrdo com a norma brasileira NB-5, o coeficiente de forma é constituído de um coeficiente de pressão interna de 0,5 e de um coeficiente de pressão externa de -0,5, supostos uniformemente distribuídos. Portanto, o coeficiente de forma será numêricamente igual à sua soma:

$$C = 1,0$$

Ensaaios e normas mais atualizadas indicam um coeficiente de pressão interna de 0,8, e um externo de -1,1 (nas condições da obra em estudo e na região mais de barlavento). Assim sendo, o coeficiente de forma na região mais de barlavento será

$$C = 1,9$$

Isto é, um valor praticamente duplo do da NB-5, e que ocasiona um esforço para cima de

$$F = C q = 1,9 \cdot 60 = 114 \text{ kgf/m}^2 \text{ (de 6-20 m)}$$

superior ao peso próprio do telhado.

A causa do acidente foi, portanto, o esforço ascensional muito superior ao de cálculo, aliado a uma ancoragem deficiente.

f) Cinema em construção, em Caxias do Sul. Temporal em 1963. Todo o telhado (com cobertura de alumínio) subiu com a força ascensional do vento e depois caiu no interior vazio da construção. Foi rapidamente retirada a alvenaria dos painéis superiores das paredes, para aliviar o esforço na estrutura e evitar sua ruína. Mesmo assim a parede lateral de sotavento ficou fortemente encurvada, com nítidas fissuras de corte nas ligações vigas-pilares. Observe-se na fig. 6 que as paredes eram estruturadas em seus planos. As tesouras não estavam ancoradas nas paredes, o que ocasionou o arrancamento do telhado e consequente deformação das paredes, que ficaram sem apoio na parte superior.

g) Acampamento para construção de barragens, em Santiago. Temporal de 23/8/63. Foram arrancadas as coberturas dos telhados, de folhas onduladas de ferro galvanizado, de todas as construções do acampamento. Em alguns casos parte das terças foram arrancadas, solidárias às telhas, indo cair o conjunto algumas dezenas de metros adiante. No escritório, também as tesouras foram levadas pelo vento, bem como as tampas dos reservatórios de fibrocimento. A porta que ficava no fim do patamar foi arrancada (fig. 7.a).

Na fig. 7.b aparece um dos pavilhões para máquinas. Observe-se que os pilares e tesouras, convenientemente contraventados, resistiram ao esforço do vento. A parede dos fundos permaneceu intacta; a parte da frente era aberta. A sobrepressão interna somou seus efeitos à sucção externa.

h) Depósitos da Petrobrás, em Canoas. 12/4/1964. De um conjunto de 16 tanques de petróleo (12 de 15.000 barris e 4 de 5.000 barris), o vento danificou 15, sendo que 13 foram fortemente amassados (fig. 8.b) e 2 tanques tiveram 2 chapas deformadas. O anel inferior dos tan

ques maiores era de chapa ϕ 5/16" (êste anel não foi deformado), e os 4 anéis acima dêste de chapas ϕ 1/4".

O vento incidiu oblíquamente ao eixo do conjunto de tanques (fig. 8.a). Note-se que não houve efeito de proteção: os tanques situados na esteira dos demais sofreram danos iguais ou maiores que êstes.

Os tanques estavam em construção; não tinham ainda tampa nem anel superior de enrijecimento. A velocidade do vento não foi muito alta. Estimaram-na em 40 km/h; cremos que deve ter sido maior, embora não excepcionalmente alta.

O acidente foi causado pela sobrepressão exercida na parte de barlavento, e pelas altas sucções laterais. Aos efeitos da sobrepressão adicionaram-se os efeitos da sucção interna (que diminuiu mas não anulou as sucções laterais).

i) Escola Municipal nos arredores de Pôrto Alegre. Destruída por uma ventania em 1966. Causa: apesar de já estar colocado o revestimento externo de madeira e a cobertura do telhado, a estrutura de madeira ainda não estava contraventada. Tombou inteira para um dos lados (fig. 9).

j) Os acidentes descritos acima aconteceram com ventos fortes, porém não excepcionais, em geral com velocidades abaixo do máximo previsto pela norma brasileira. São acidentes evitáveis, se levarmos na devida conta os fenômenos aerodinâmicos ao projetar a estrutura.

Porém, em alguns casos excepcionais, como o ciclone de Lajeado de 1967, não será possível evitar todos os danos.

Neste ciclone, que durou apenas 3 minutos, a velocidade do vento foi estimada em 200 km/h (não há medição oficial). Os prejuízos foram orçados, só na cidade, em 1 bilhão de cruzeiros (370 mil dólares, ao câmbio da época), além de 6 mortos e 40 feridos. Foram danificadas 214 casas, sendo que outras 22 foram totalmente demolidas. Postes e árvores foram arrancados. Casas de madeira foram tiradas de sobre as fundações. O pavilhão de feiras (FENAL) teve seu telhado completamente destruído, à semelhança da FENAC.

O pavilhão paroquial (fig. 10.a) teve todo seu telhado e parte das paredes demolidos, danificando ainda os carros estacionados nas proximidades. Quase nada sobrou da cobertura e dos oitões da casa da fig. 10.b, que além disso teve uma parede tombada para dentro.

O parque de exposição de animais, de madeira, ficou totalmente destruído (fig. 10.c).

k) Poder-se-iam encher páginas e páginas com relato de acidentes causados pelo vento no Rio Grande do Sul. Cada uma destas ventanias destrói ou danifica dezenas de casas de madeira e mesmo de alvenaria, bem como fábricas, escolas, igrejas, hangares, estádios esportivos e pavilhões que, via de regra, têm seus telhados arrancados total ou parcialmente, seguindo-se em muitos casos o tombamento parcial ou total das paredes.

São muros, postes e painéis de propaganda que são destruídos às dezenas. São paredes não estruturadas que são demolidas, como foi o caso de um cinema em Pôrto Alegre, em 9/10/63, cuja parede nos fundos foi arrancada pela sucção do vento.

Em muitos casos o acidente se dá durante a construção, por inexistência de um contraventamento provisório. Em 1958 um cinema em construção na cidade de Lages, estado de Santa Catarina, ainda sem a estrutura do telhado, teve uma das paredes laterais totalmente demolida. Acidente análogo ocorreu em dois cinemas nos arredores de Buenos Aires, em 1959.

Há acidentes pitorescos, como o da árvore que foi arrancada e lançada contra um portão de campo de futebol, rompendo-o. Ou o do carro-tanque ferroviário, com cerca de 30 toneladas de peso, que foi tombado pela força do vento (Santa Maria, 1963).

1) Estes acidentes, repetimos, salvo casos excepcionais, podem ser evitados. Isto porque o problema maior é o da insuficiência dos coeficientes aerodinâmicos adotados, muito menores que os obtidos em ensaios em túneis aerodinâmicos.

pavilhões iguais construídos em Gravataí, Rio Grande do Sul. A estrutura do telhado é constituída por arcos em treliça metálica. Um dêles foi calculado de acôrdo com a NB-5 e o outro, construído mais recentemente, conforme os resultados experimentais. Em um temporal ocorrido há poucos anos o telhado do pavilhão antigo entrou em colapso por flambagem das barras inferiores da treliça, enquanto que o pavilhão nôvo resistiu. É que a inversão de esforços nas barras, em virtude da grande força ascencional, fôra prevista no cálculo do segundo pavilhão.

6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

a) Os acidentes causados pelo vento em geral são evitáveis.

b) Para isso é necessário levar em conta os coeficientes aerodinâmicos reais. Eles podem ser obtidos de normas atualizadas ou de ensaios realizados para obras semelhantes a em estudo. Em caso de formas novas ou de obras excepcionais, recomenda-se o estudo direto em túnel aerodinâmico.

c) Grande importância deve ser dada às sucções externas, que aparecem principalmente em telhados pouco inclinados ou curvos. Também as pressões internas devem ser levadas em consideração. Não esquecer que se os vidros forem rompidos, ou se portas e janelas forem forçadas pela pressão do vento, no interior da construção aparecerá uma forte sobrepressão que somará seus efeitos à sucção externa (isto acontecerá quando os elementos rompidos estiverem na zona em sobrepressão externa, se estiverem na zona em sucção, esta se transmitirá ao interior).

d) A sobrepressão interna poderá ser impedida de aparecer, em muitos casos, pela disposição judiciosa de aberturas situadas na esteira. Por exemplo: lanternins, aberturas tipo válvula nos oitões, venezianas, etc.

e) Os vidros e as ferragens de portas e janelas devem ser suficientemente fortes para resistir aos esforços do vento.

f) Os valôres da pressão de obstrução deverão ser objeto de um estudo mais aprofundado, variando seu valor de acôrdo com a região. Para êste estudo é indispensável um levantamento estatístico das velocidades máximas do vento registradas nos postos meteorológicos. A velocidade máxima a considerar depende também das dimensões e da vida útil da construção, bem como do risco de vida e de considerações de ordem econômica.

g) Grande número de acidentes evitáveis deve-se à falta de ancoragem seja dos elementos da cobertura na estrutura do telhado, seja desta estrutura no restante da construção, ou desta nas fundações. Também a falta de contraventamento tem sido o motivo de muitos acidentes.

h) As fundações devem ser suficientemente pesadas e profundas para evitarem tombamento ou ascensão da estrutura.

i) As ligações entre os diferentes elementos estruturais devem ser capazes de resistir aos esforços horizontais e verticais do vento.

j) As paredes, tanto de alvenaria como de painéis de fibrocimento ou metálicos, devem ser suficientemente ancoradas na estrutura, a fim de não serem arrancadas pelos esforços do vento.

k) As obras rurais serão muito mais resistentes ao vento se forem convenientemente contaventadas e ancoradas suas peças constituintes. Isto pode ser conseguido mediante simples peças, de baixo custo. Recomendamos os estudos feitos pelos americanos. ^{13, 14, 15}

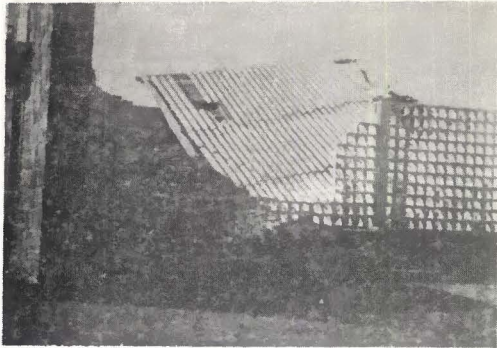


Fig. 1.a



Fig. 1.b

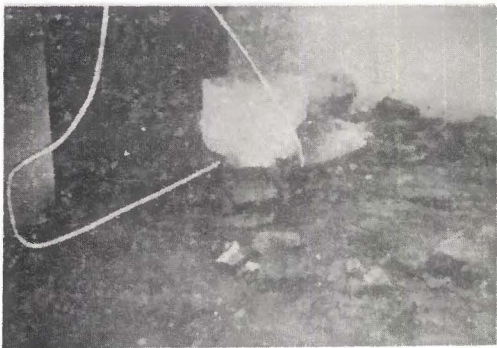


Fig. 1.c

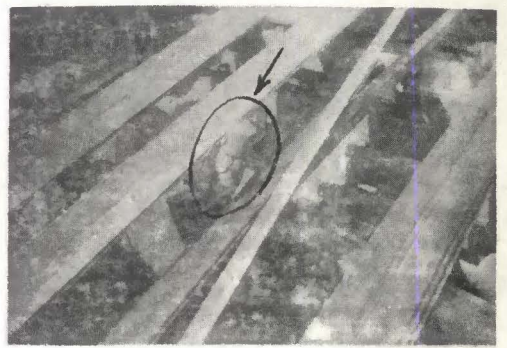


Fig. 1.d

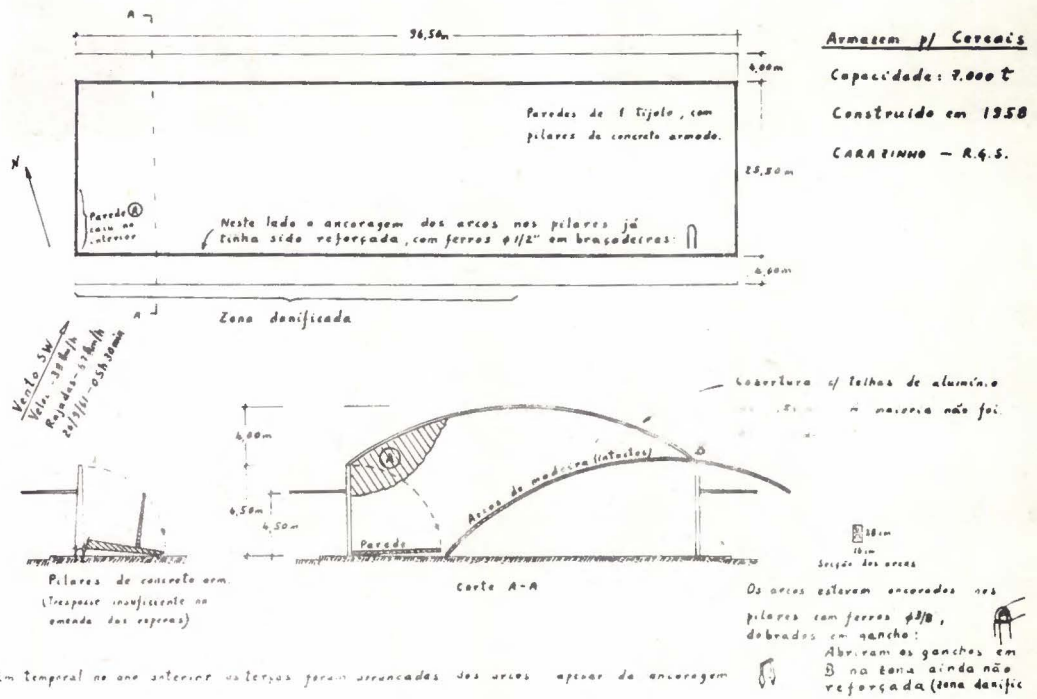


Fig. 2

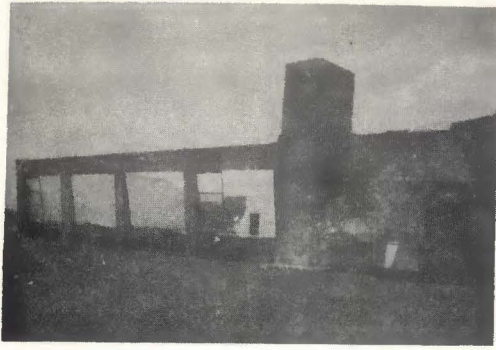


Fig. 3.a



Fig. 3.b



Fig. 4

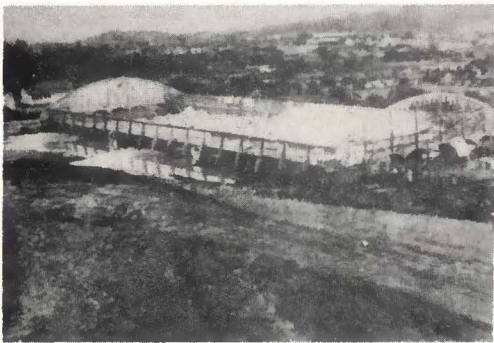


Fig. 5.a

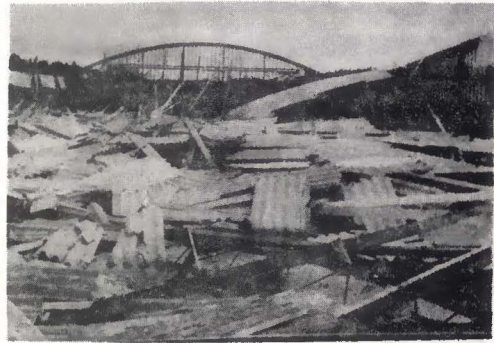
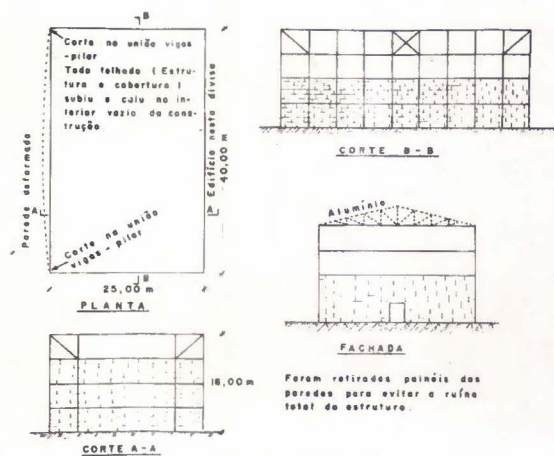


Fig. 5.b

Fig. 6



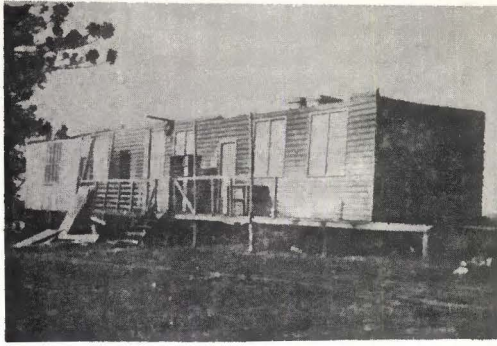


Fig. 7.a

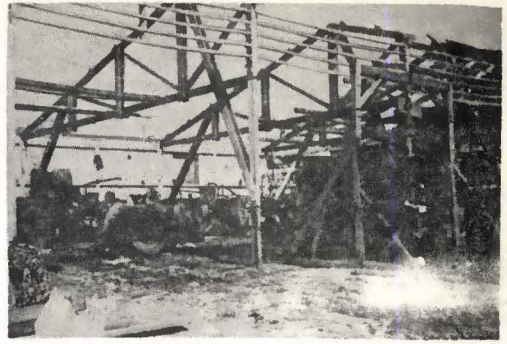


Fig. 7.b

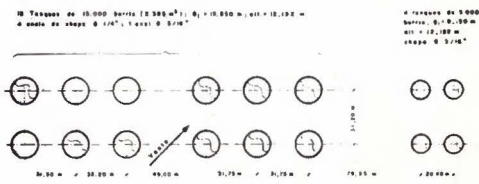


Fig. 8.a

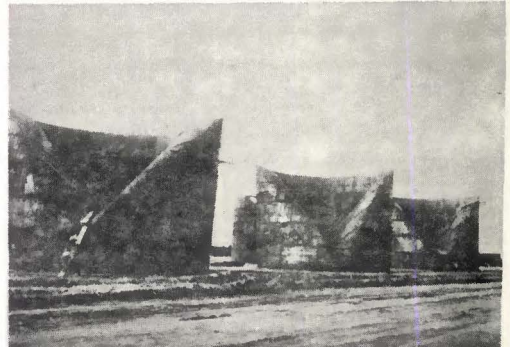


Fig. 8.b

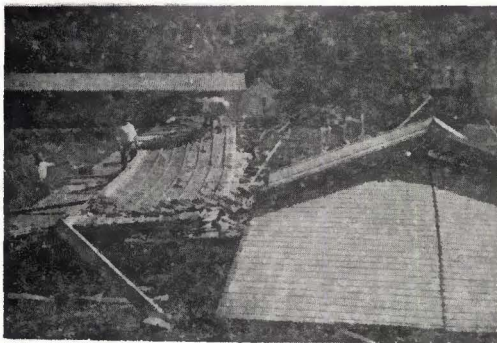


Fig. 9

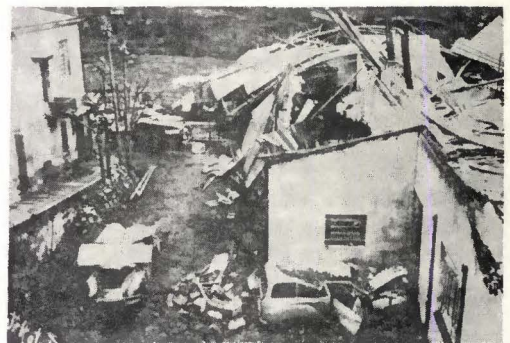


Fig. 10.a

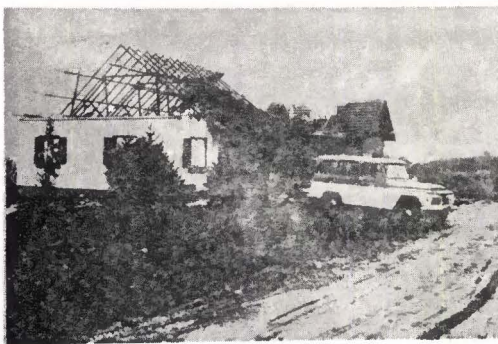


Fig. 10.b



Fig. 10.c

7 - BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ¹ ANDERSON, E. A. & SAFFIR, Herbert. Miami suffers slight structural damage in severe hurricane. *Civil Engineering*, New York, N. Y., 20(12):36, Dec. 1950.
- ² DODGE, J. Robert & MOLANDER, E. Gordon. *Preventing storm wind damage to form buildings*. Washington, United States Department of Agriculture, 1956. (Agriculture Information, B.144).
- ³ DOYLE, D.V. *Research in wind-resistant form building construction*. Madson, United States Department of Agriculture, Forest Service, 1959. (Forest Products Laboratory Report , 1930).
- ⁴ EDITORIAL. *Engineering News-Record*, New York, N. Y., 121, Dec. 1938.
- ⁵ ENGINEERING approach to designing glass for wind. *Architectural Record*, New York, N. Y., 77:163-6, Feb. 1967.
- ⁶ ESMAY, Merle L. & GIESE, Henry. Wind damage to form buildings. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, Mich., 32:275-7, May 1951.
- ⁷ FONT, M. Lessons from hurricanes in Puerto Rico. *Engineering News-Record*, New York, N. Y., 109(16):470-1, Oct. 1932.
- ⁸ KÁRMÁN, T. von. L'aérodynamique dans l'art de l'ingénieur. *Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils de France*, Paris, jul. 1948, p.155-78. Edição Especial.
- ⁹ PECK, R.L. & STINEMAN, N. M. The behavior of engineering structures in recent violent wind storms. *Proceedings of the American Concrete Institute*, Detroit, Mich., 24:275, 1927.

- 10 SAFFIR, H. S. The effects on structures of winds of hurricane force. Ann Arbor, American Society of Civil Engineers, 1953. Separata n.206 do *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, New York, N. Y., v.79, July, 1953.
- 11 SCRUTON, C. & NEWBERRY, C. W. On the estimation of wind loads for buildings and structural design. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, London, 25:95-126, June 1963.
- 12 STEINMAN, D. B. Design of bridges against wind: I - General considerations; aerostatic consideration. *Civil Engineering*, New York, N. Y., 15(10):469-72, Oct. 1945.
- 13 THOMPSON, R.A. *Protection of small buildings against high velocity winds*. Gainesville, University of Florida, Florida Engineering and Industrial Experiment Station, 1949. (Bulletin Series, 28).
- 14 TROTMAN, L. A. J. The effects of hurricanes on buildings structures. *Civil Engineering and Public Works Review*, London, 48(560):147-8, Feb. 1953.
- 15 WILSON, J. A. Windstorms and their effect on buildings. *Journal of the Boston Society of Civil Engineers*, Boston, Mass., 38(1):262-71, Jan. 1951.
- 16 WIND-BRACED high buildings in the Florida. *Engineering News-Record*, New York, N. Y., 100(9):151-3, Mar. 1928.

INDICE

- 1 - Introdução / 5

- 2 - Causas aerodinâmicas dos acidentes / 9
 - 2.1 - Coeficiente de forma e pressão / 9
 - 2.2 - Velocidade máxima do vento / 10
 - 2.3 - Pressão interna / 10

- 3 - Causas estruturais dos acidentes / 12

- 4 - Exemplos de acidentes no Exterior / 14

- 5 - Exemplos de acidentes no Rio Grande do Sul / 19

- 6 - Conclusões e recomendações / 26

- 7 - Bibliografia consultada / 33