

8.ª JORNADA
**COMISIÓN
PERMANENTE**

del Código Modelo Sísmico para
América Latina y El Caribe

Diseño por Viento, Análisis Numérico y Túnel de Viento

Acir Mércio Loredó-Souza

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

San Salvador, El Salvador

9 de octubre de 2025

www.codigomodelosismico.org

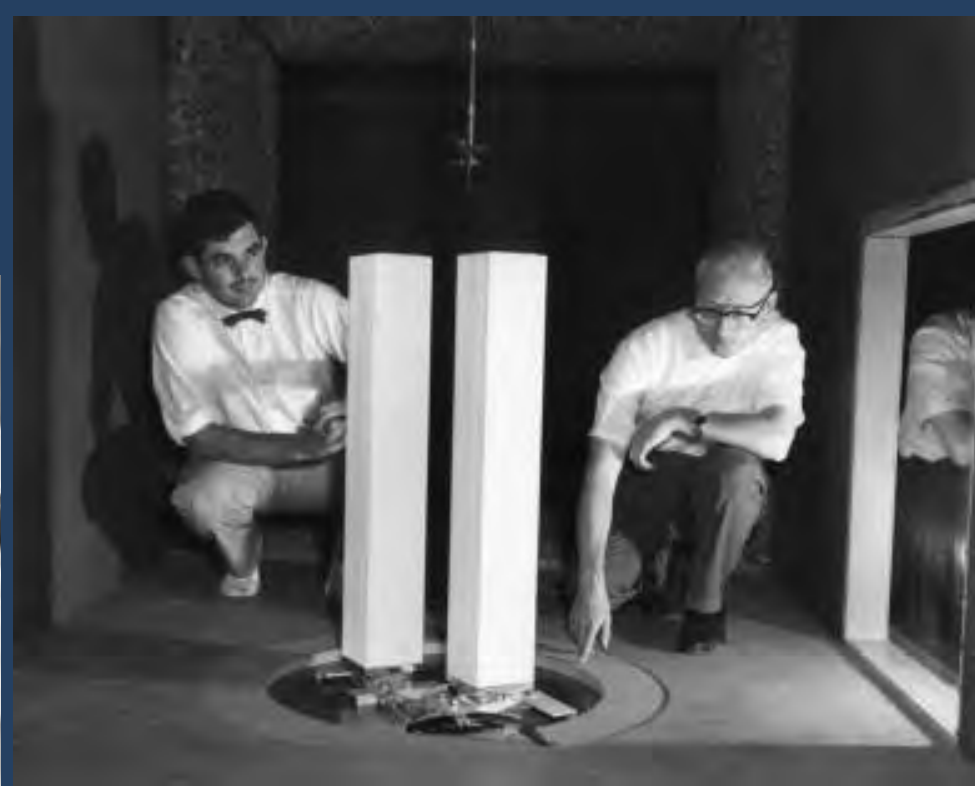
8° Jornada CMS
San Salvador, El Salvador
9 de octubre de 2025



Diseño por Viento, Análisis Numérico y Túnel de Viento



Prof. Acir Mércio Loredou-Souza, Ph.D.
Laboratório de Aerodinâmica das Construções
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

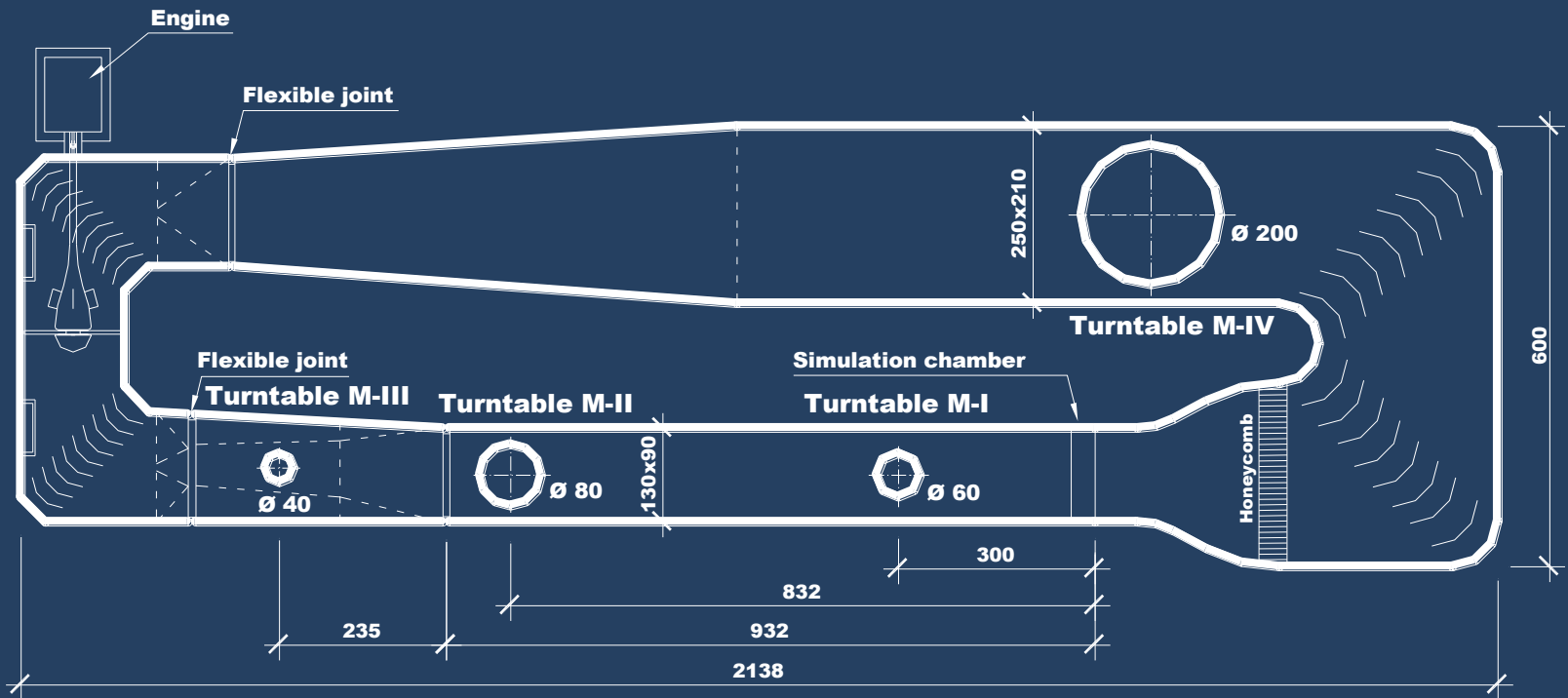


Alan Davenport & Jack Cermak

1965

Túnel de Vento de Capa Límite

Prof. Joaquim Blessmann - UFRGS - Brasil



The designer's guide to wind loading of building structures

Part 2 Static structures

N J Cook



bre

Butterworths

74 Measurement of drag data for an inclined plate

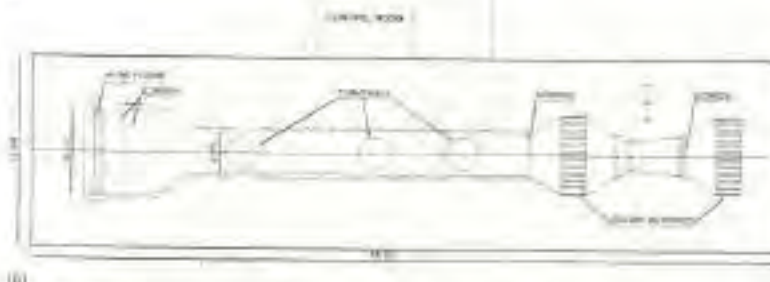
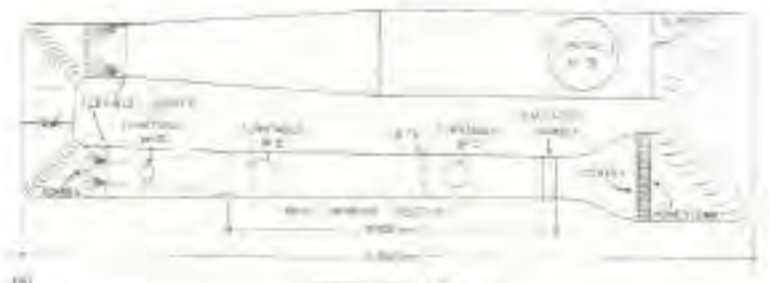


Figure 13.18 Two typical boundary-layer wind tunnels: (a) closed return tunnel (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil from reference 120); (b) open return tunnel (Dortch Marine Institute from reference 128)

and (b) open return, where the flow is drawn in at one end and is discharged at the other. Each system has advantages and disadvantages: the closed circuit requires less power, the working area is near atmospheric pressure and it retains tracer smoke, model sand or snow particles and other pollutants, but the flow gradually heats up and it is more expensive to build; the open circuit is cheaper to build and maintains constant flow temperature by dissipating heat to the laboratory, but the working section is usually above or below atmospheric pressure requiring elaborate seals around doors and turntables to prevent leaks and the laboratory soon becomes polluted by tracer smoke or gases.

Certain generic features are common to most wind tunnels. All will have one or more fans to drive the air through the tunnel. Early tunnels were always driven by axial propellers, but centrifugal fans, which are more tolerant of turbulent flow, are now becoming popular. Wind speed is usually controlled by varying the speed of the fan, but some axial fans rotate at constant speed and the pitch angle of the blades is varied instead. With open return tunnels the fan is often downstream of the working section so that turbulence from the fan does not contaminate the flow. Centrifugal fans do not give the flow the rotation or 'swirl' characteristic of axial fans. Sometimes these are placed upstream of the working section to give a 'blower tunnel', which has the advantages that the working section near the open end of the tunnel, where acoustic noise is least (see below) and where the static pressure is close to atmospheric. One or more turntables in the working section floor on which

NBR-6123 – Forças devidas ao vento em edificações

Presión devida al viento: $F / A = q C$

$q = K * V_k^2$: Presión Dinámica

C : Coeficiente Aerodinámico

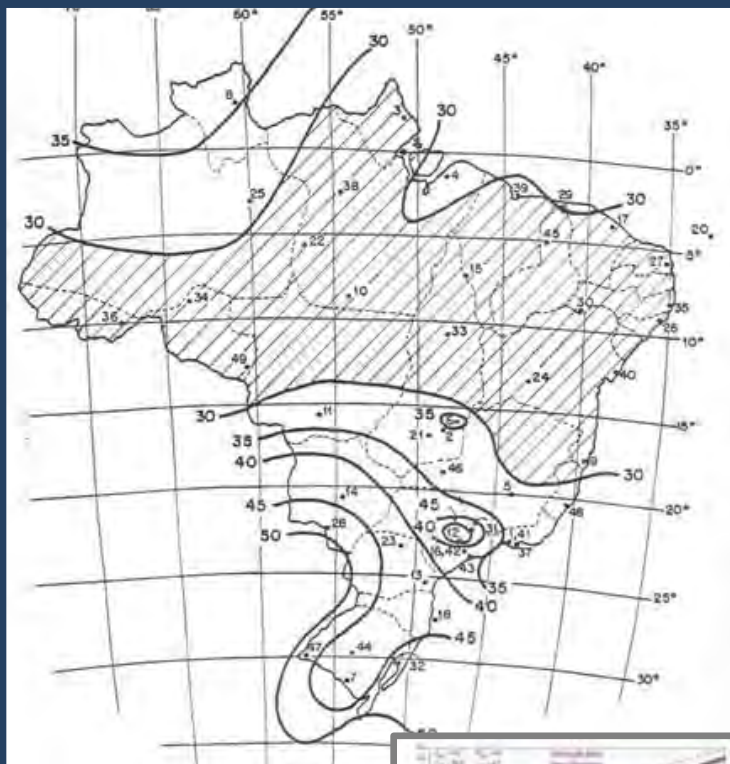
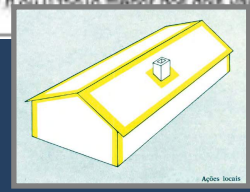
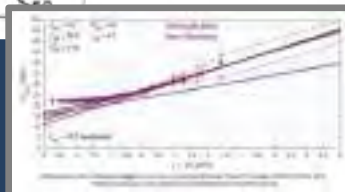
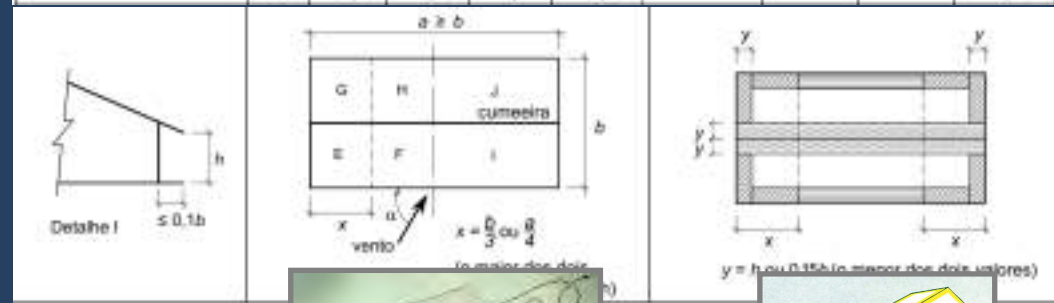


Tabela 7 — Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular $a \times b$, sendo b a menor dimensão (continua)

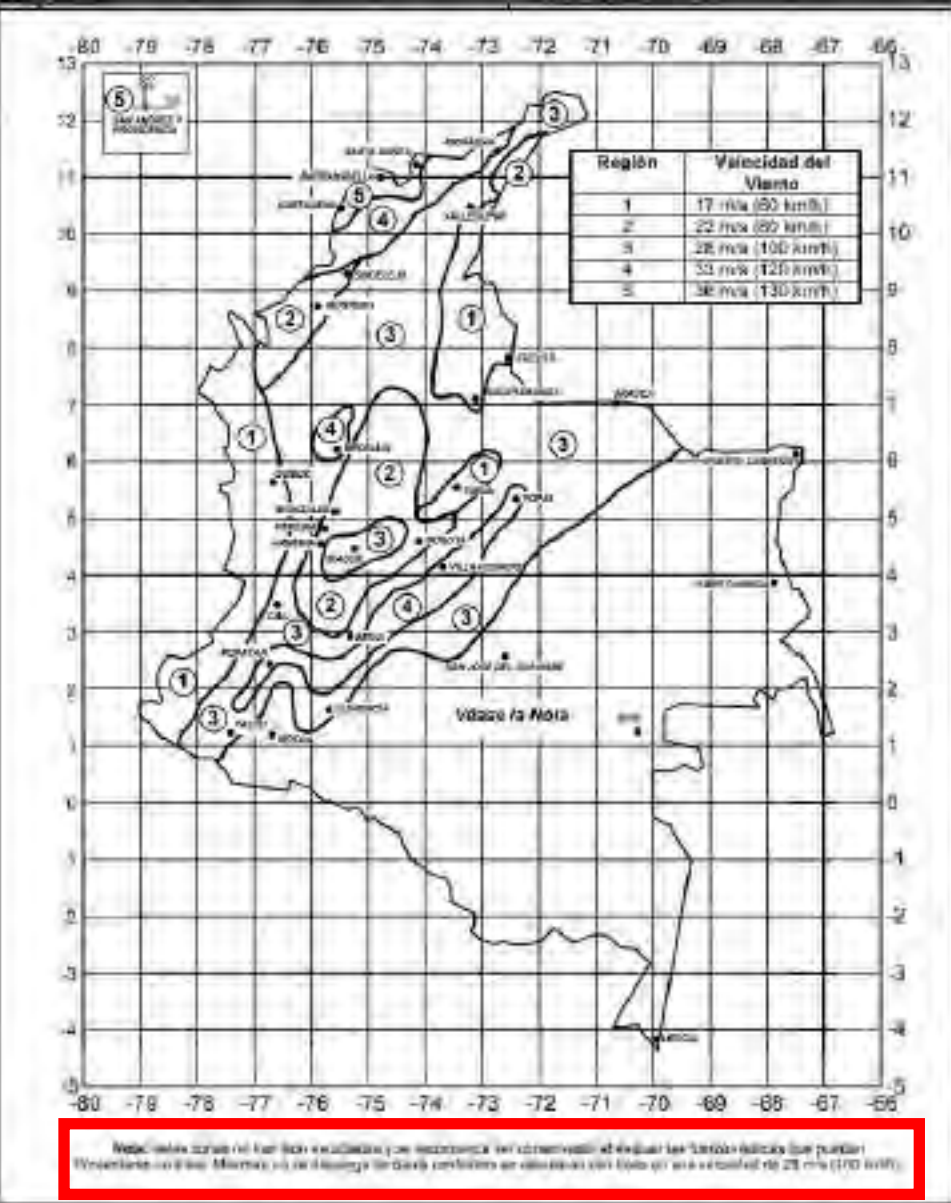
Altura Relativa	θ	Valores de C_{pe} para				C_{pe} médio			
		$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 0^\circ$					
		EF	GH	EG	FH				
	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	—
	5°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2		-1,2
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0			-1,2
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8			-1,1
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1
	60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6				-1,1



CAPÍTULO B.6
FUERZAS DE VIENTO

Presión debida al viento: $F / A = q C$

$q = K * V_k^2 = \text{Presión Dinámica}$
 $C = \text{Coeficiente Aerodinámico}$



Coeficientes de Presión en Muros, C_p

Superficie	U/B	C_p	Usar con
Muro en barlovento	Todos los muros	0.9	q_s
Muro en sotavento	0.1	-0.4	q_s
	0.2	-0.5	q_s
	0.4	-0.7	q_s
Muros laterales	Todos los muros	-0.7	q_s

Coeficientes de Presión en Cubiertas, C_{pi} , para usar con q_s

Dirección del viento	Barlovento								Sotavento			
	Ángulo θ en grados											
	k/L	10	15	20	25	30	35	40	$\geq 60^\circ$	15	10	≥ 20
Normal a la cubierta para $\theta \leq 15^\circ$	≥ 25	-0.70	-0.80	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
	≥ 15	-0.70	-0.80	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
	≥ 10	-0.70	-0.80	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
	≥ 5	-0.70	-0.80	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
	≥ 0	-0.70	-0.80	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
	≤ -5	-0.70	-0.80	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
Normal a la cubierta para $\theta > 15^\circ$ y paralela a la cubierta para todo θ	≥ 25	-0.70	-0.80	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
	≥ 15	-0.70	-0.80	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
	≥ 10	-0.70	-0.80	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
	≥ 5	-0.70	-0.80	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
	≥ 0	-0.70	-0.80	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
	≤ -5	-0.70	-0.80	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90

Nota: Las zonas 1 y 2 son las únicas que se encuentran en el territorio de México. Las zonas 3, 4 y 5 son las únicas que se encuentran en el territorio de los Estados Unidos.

NBR-6123 – Forças devidas ao vento em edificações

Presión devida al viento: $F / A = q C$

$q = K * V_k^2$: Presión Dinámica

C : Coeficiente Aerodinámico

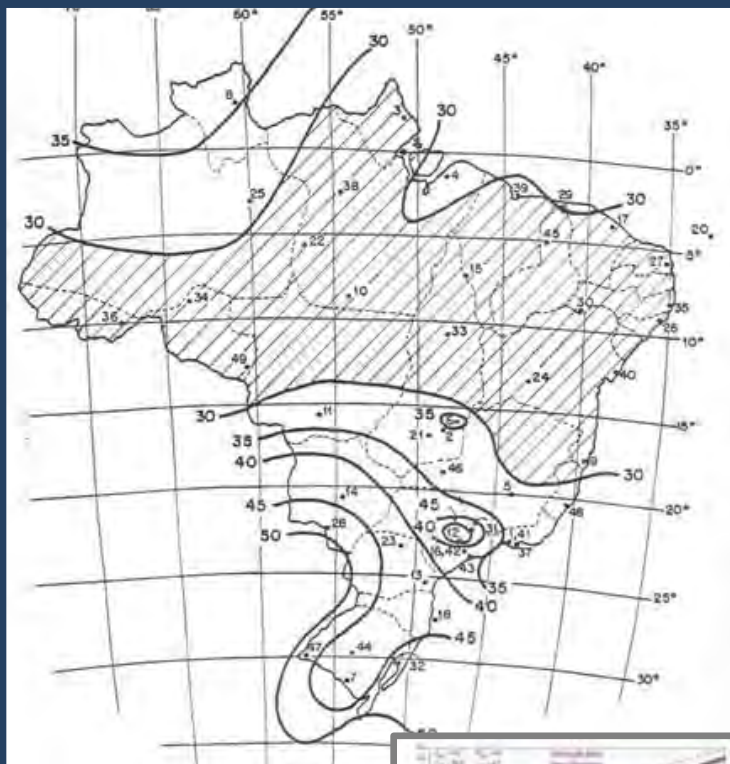
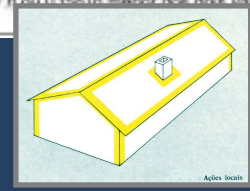
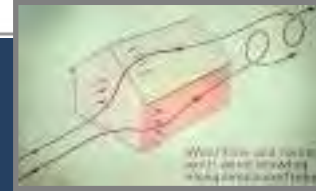
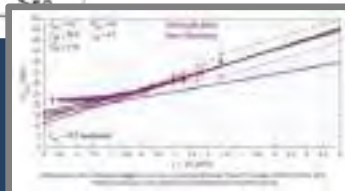
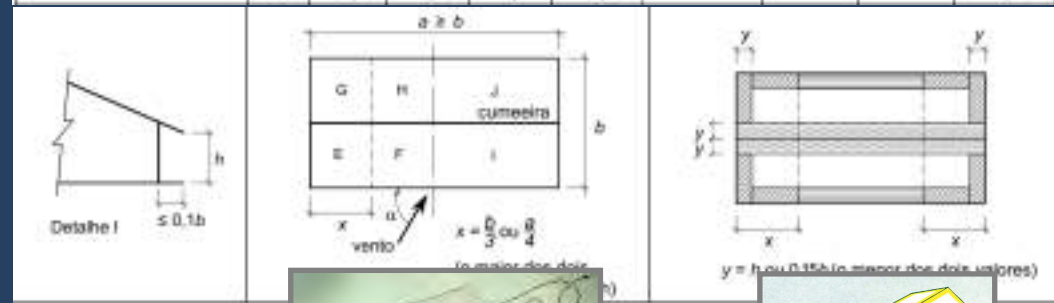


Tabela 7 — Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular $a \times b$, sendo b a menor dimensão (continua)

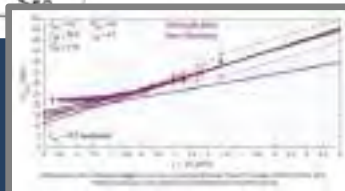
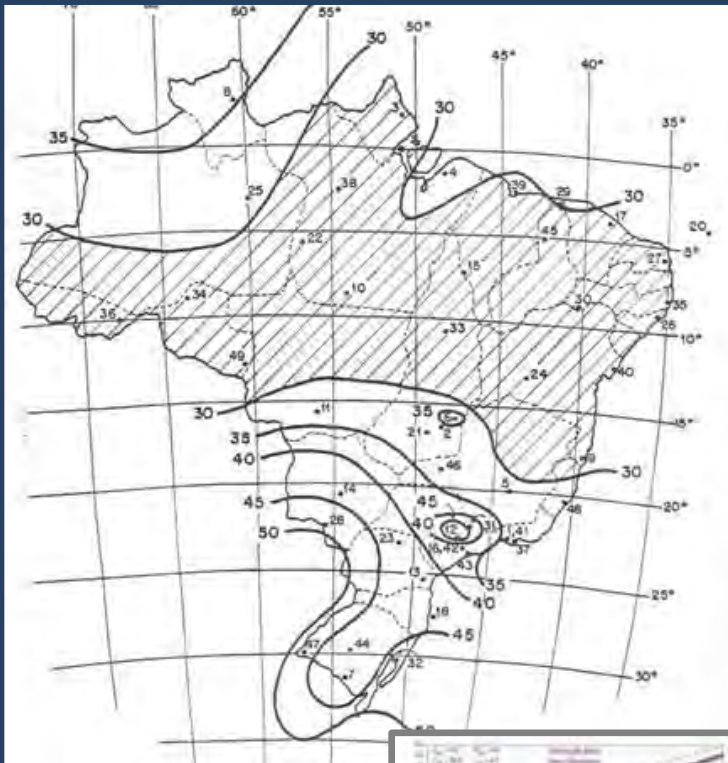
Altura Relativa	θ	Valores de C_{pe} para				C_{pe} médio			
		$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 0^\circ$					
		EF	GH	EG	FH				
	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	—
	5°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2		-1,2
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0			-1,2
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8			-1,1
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1
	60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6				-1,1



NBR-6123 – Forças devidas ao vento em edificações

Presión devida al viento: $F / A = q C$

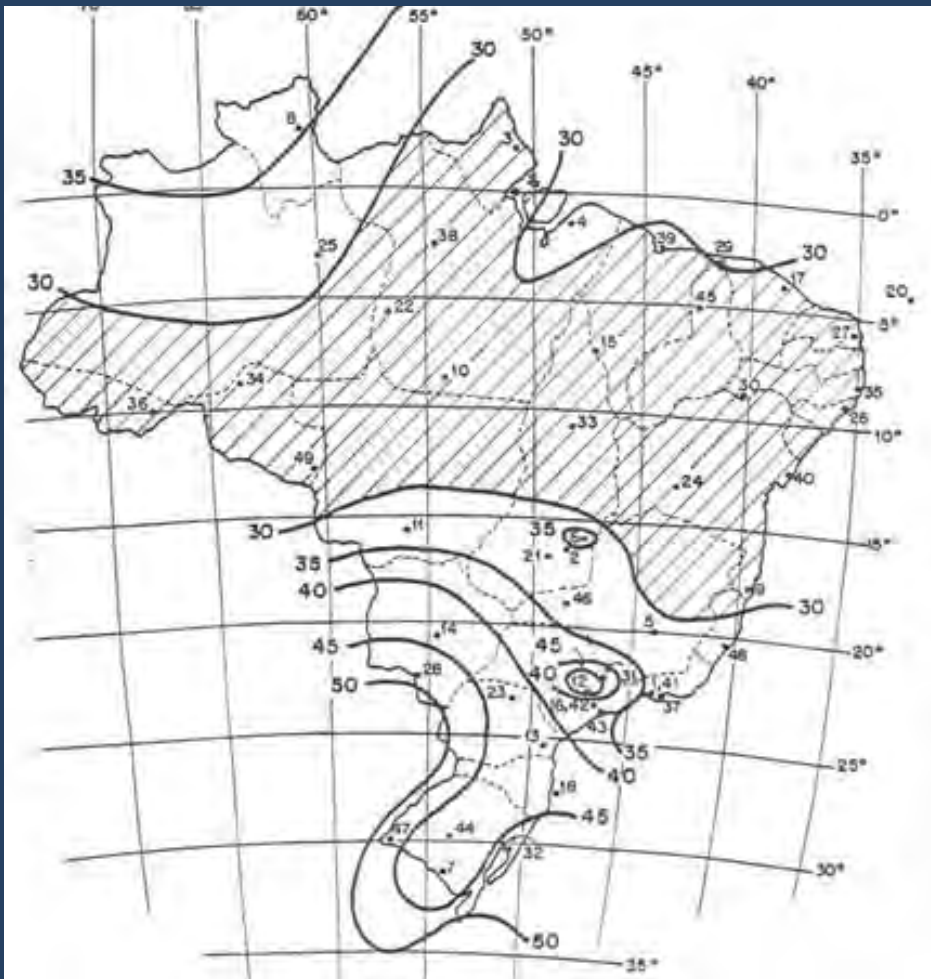
$q = K * V_k^2$: Pressão Dinâmica



*¿Qué necesitamos
saber sobre el viento?*

Mapas das Isopletas da Velocidade Básica do Vento no Brasil

NBR-6123 – Vigente



NBR-6123 – Proposta

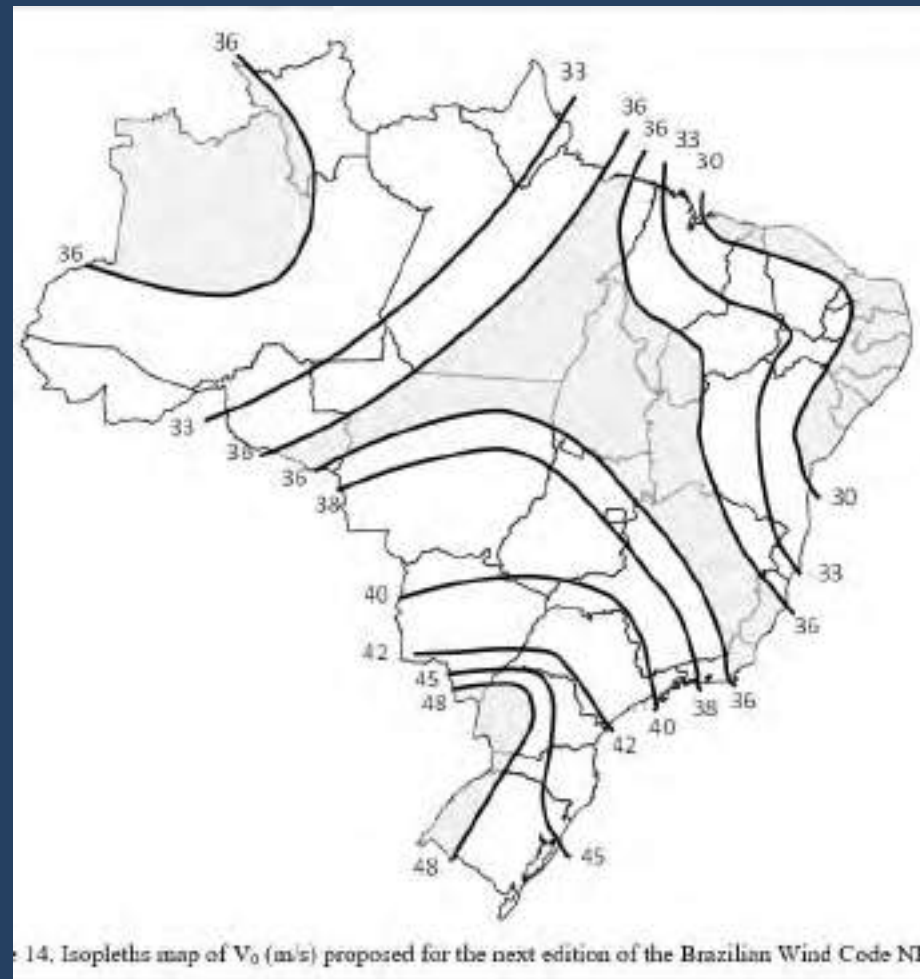
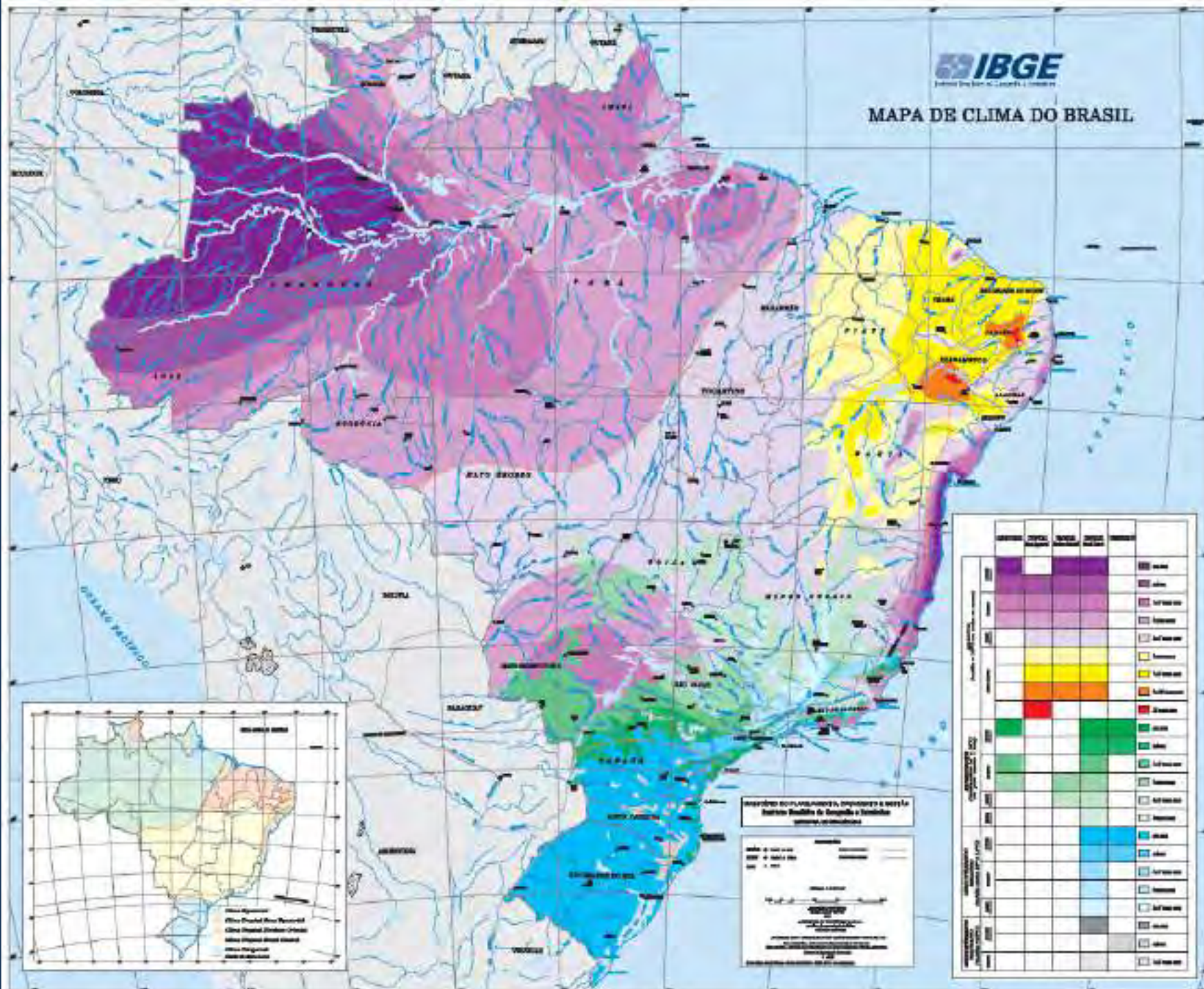
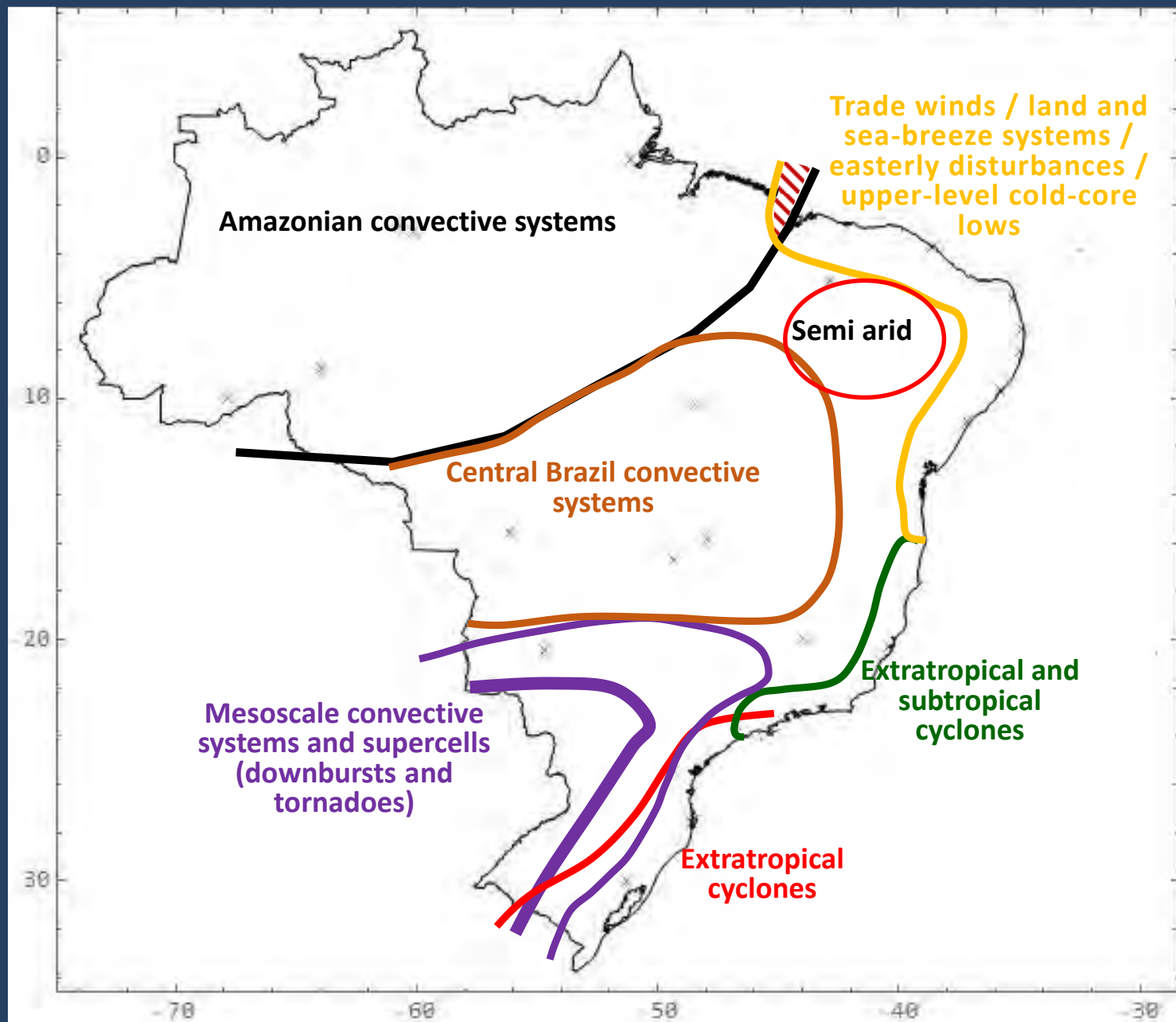


Fig. 14. Isopleth map of V_0 (m/s) proposed for the next edition of the Brazilian Wind Code NBR-6123.

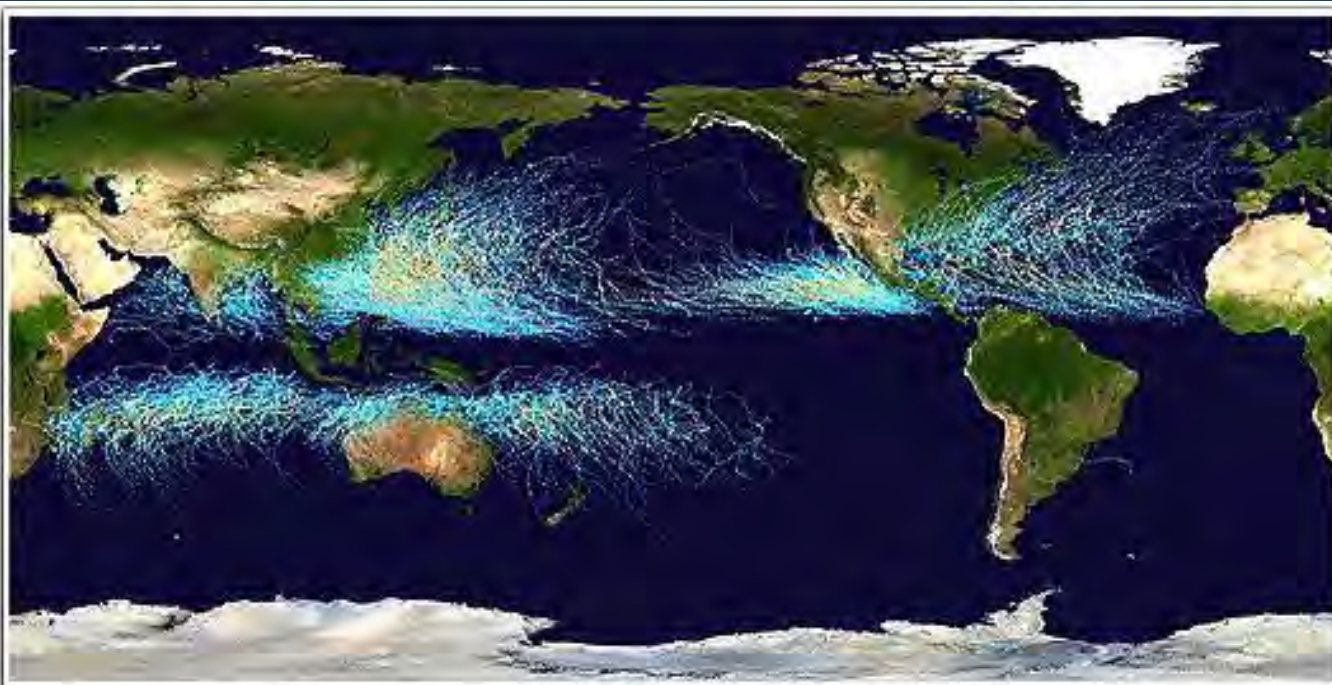
MAPA DE CLIMA DO BRASIL





Geographical delineation of regions that share similar regimes of atmospheric phenomena that generate intense surface winds in Brazil.

Ciclones Tropicales ($V > 119 \text{ km/h} =$ Hurricanes)



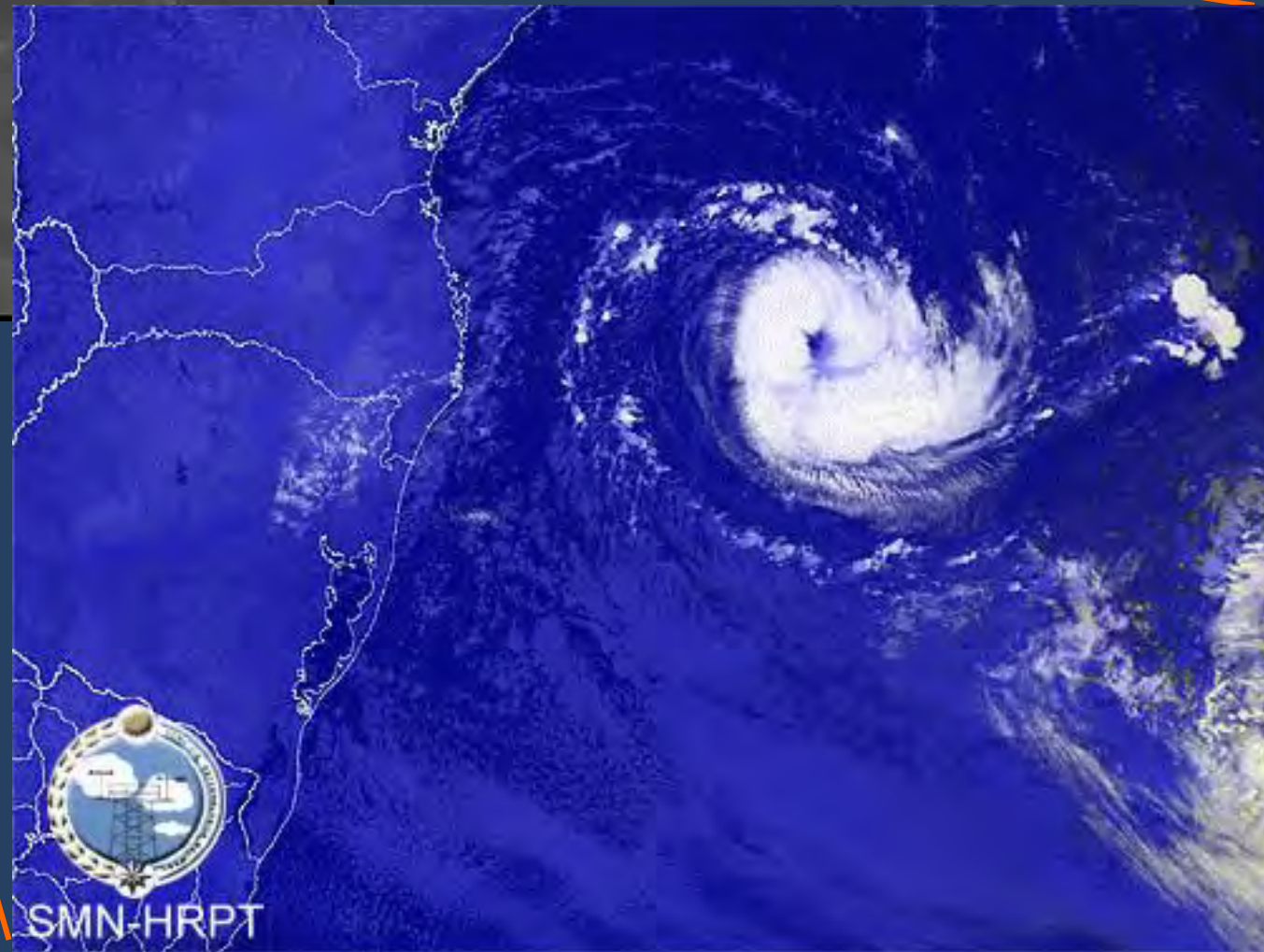
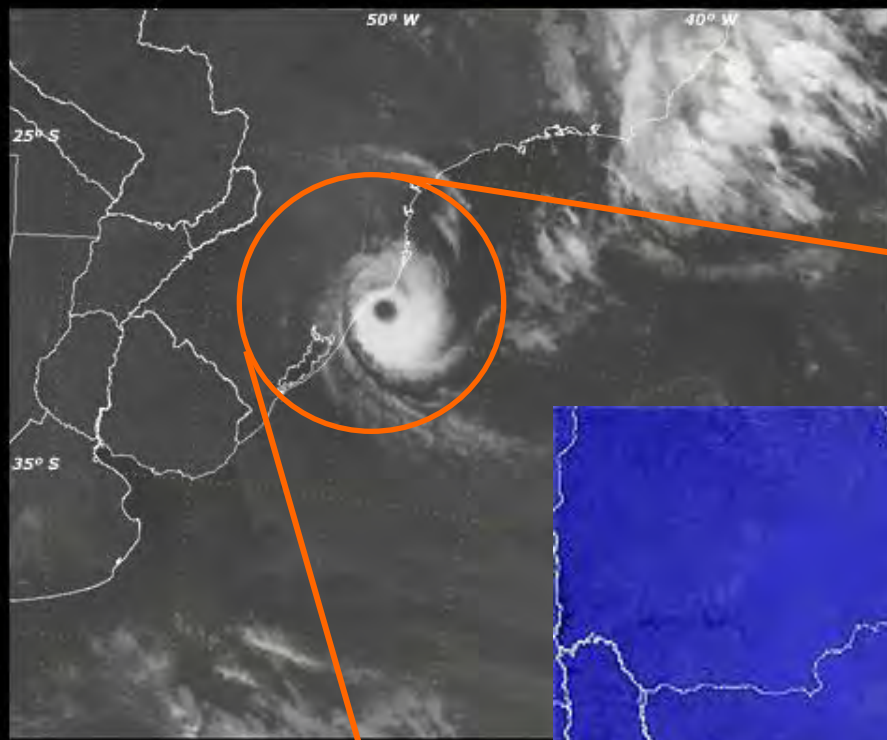
Map of the cumulative tracks of all tropical cyclones during the 1985-2005 time period. The Pacific Ocean west of the International Date Line sees more tropical cyclones than any other basin, while there is almost no activity in the Atlantic Ocean south of the Equator. Credit: NASA

CATARINA
27MAR2004

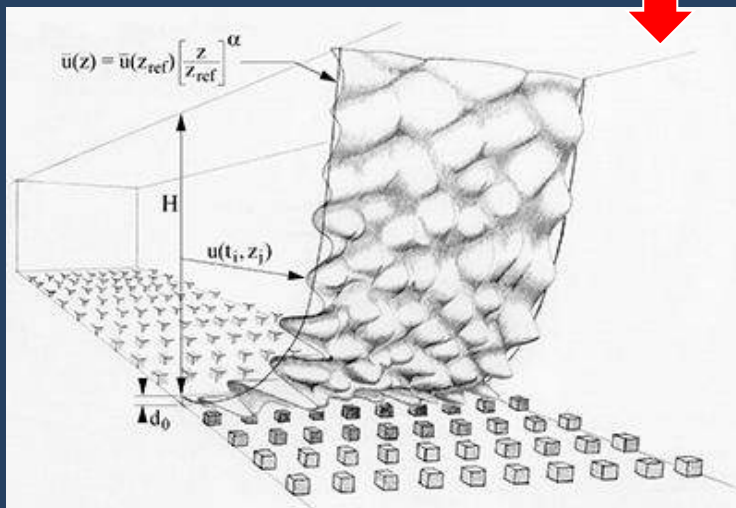
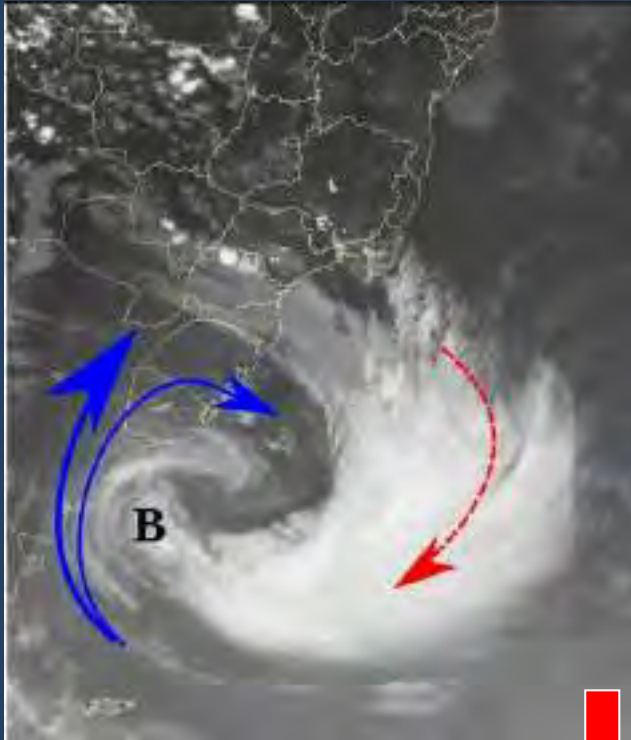
ANITA
11MAR2010



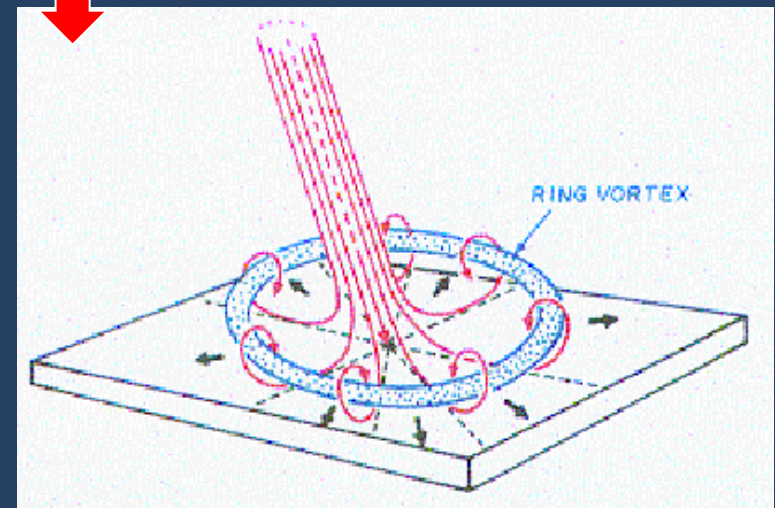
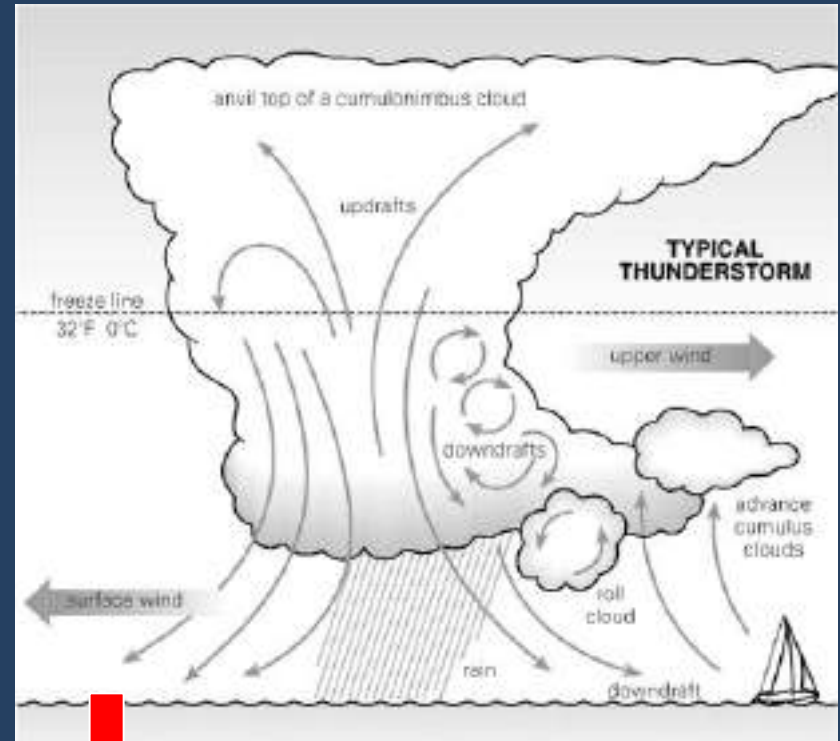
CATARINA 27MAR2004



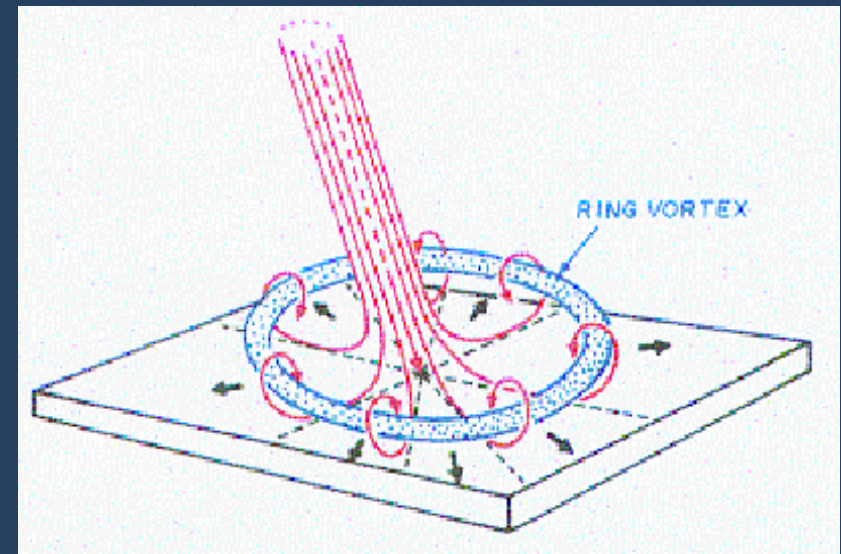
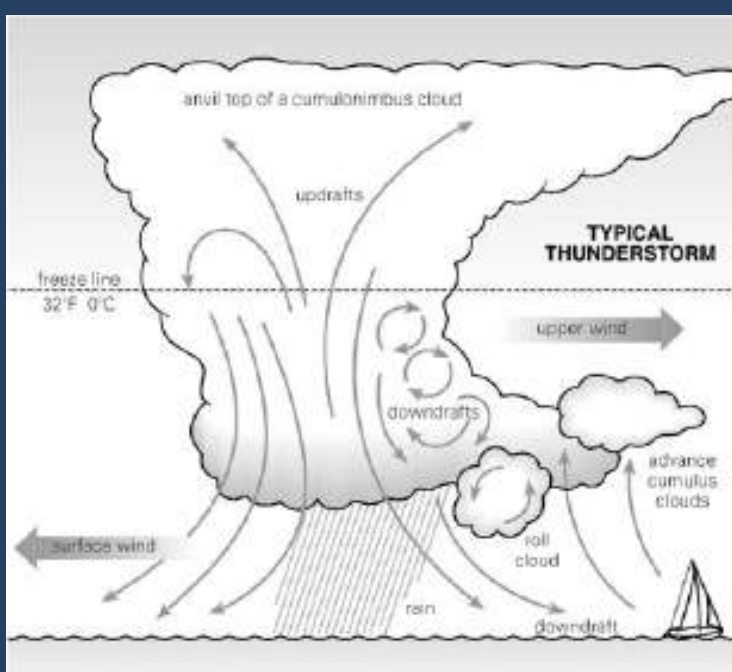
Ciclones Extratropicales



Downbursts



Downbursts



5 Velocidade característica do vento

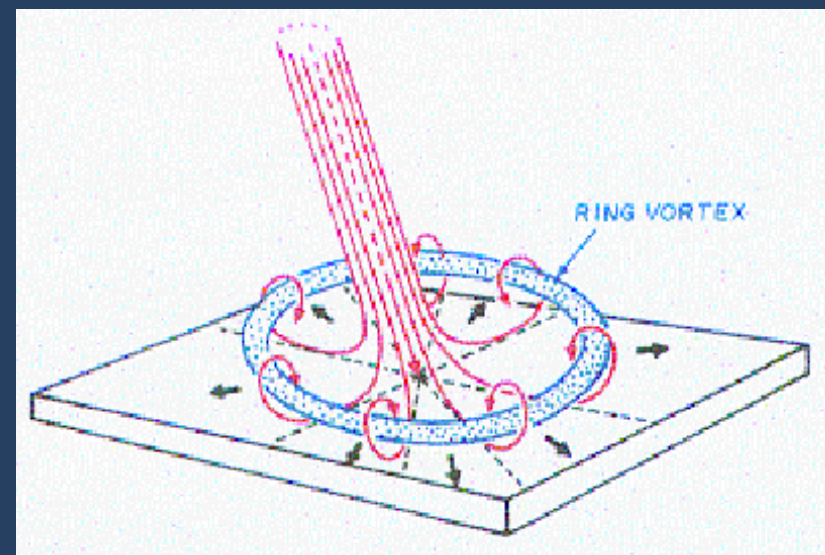
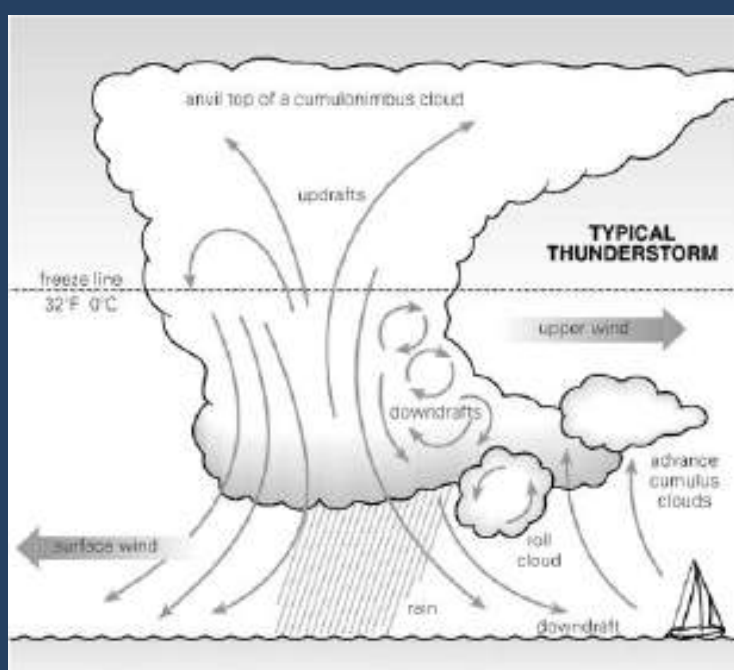
5.1 Velocidade básica do vento, V_0

A velocidade básica do vento, V_0 , é a velocidade de uma rajada de 3 s, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano, excedida em média uma vez em 50 anos.

A Figura 1 apresenta o gráfico das isopletras da velocidade básica no Brasil, com intervalos de 5 m/s.

Como regra geral é admitido que o vento básico pode soprar de qualquer direção horizontal. Em caso de obras de excepcional importância é recomendado um estudo específico para a determinação de V_0 . Para incluir o efeito de direcionalidade do vento no cálculo das forças aerodinâmicas, a determinação de V_0 deve considerar o tipo de evento meteorológico que dá origem aos valores máximos registrados de velocidade. O efeito de direcionalidade do vento não se aplica nos casos de vento originado de tempestades convectivas locais (por exemplo, *downbursts*).

Downbursts



5 Velocidade característica do vento

5.1 Velocidade básica do vento, V_0

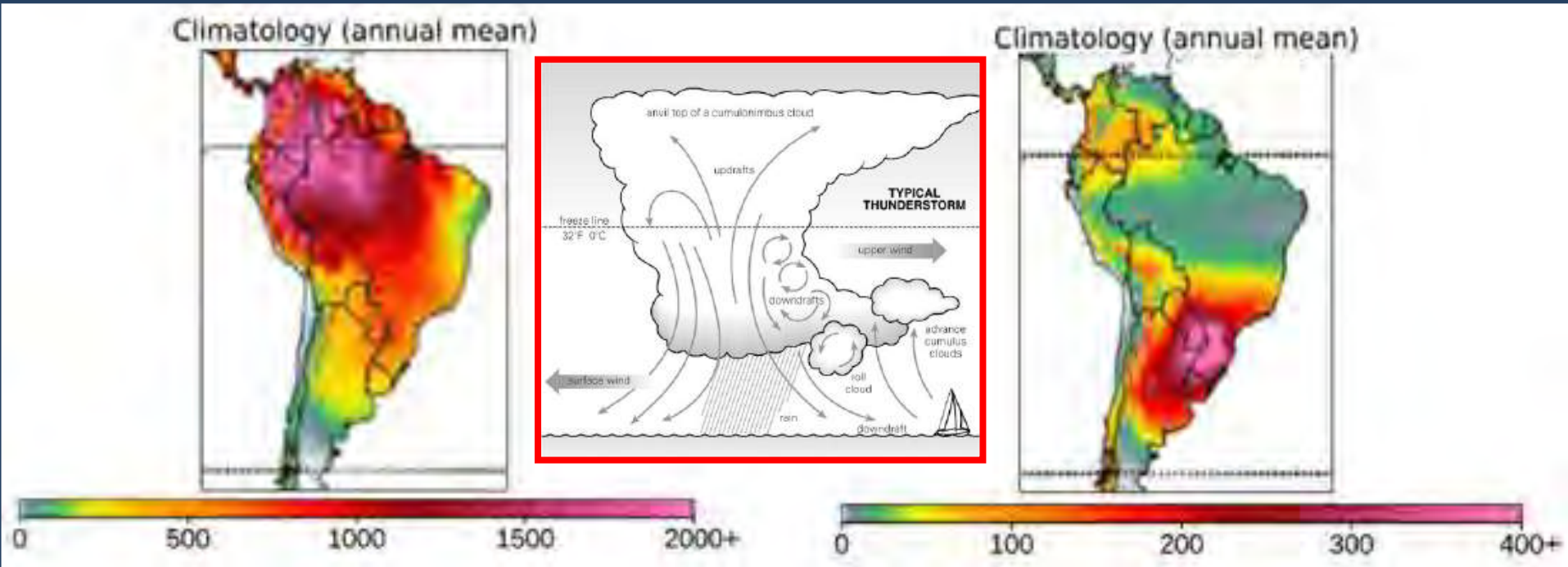
A velocidade básica do vento, V_0 , é a velocidade de uma rajada de 3 s, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano, excedida em média uma vez em 50 anos.

A Figura 1 apresenta o gráfico das isopletras da velocidade básica no Brasil, com intervalos de 5 m/s.

Como regra geral é admitido que o vento básico pode soprar de qualquer direção horizontal. Em caso de obras de excepcional importância é recomendado um estudo específico para a determinação de V_0 . Para incluir o efeito de direcionalidade do vento no cálculo das forças aerodinâmicas, a determinação de V_0 deve considerar o tipo de evento meteorológico que dá origem aos valores máximos registrados de velocidade. O efeito de direcionalidade do vento não se aplica nos casos de vento originado de tempestades convectivas locais (por exemplo, *downbursts*).

BRAZILIAN CLIMATOLOGY: SPATIAL DISTRIBUTION OF THE ATMOSPHERIC PHENOMENA RESPONSIBLE FOR STRONG WINDS.

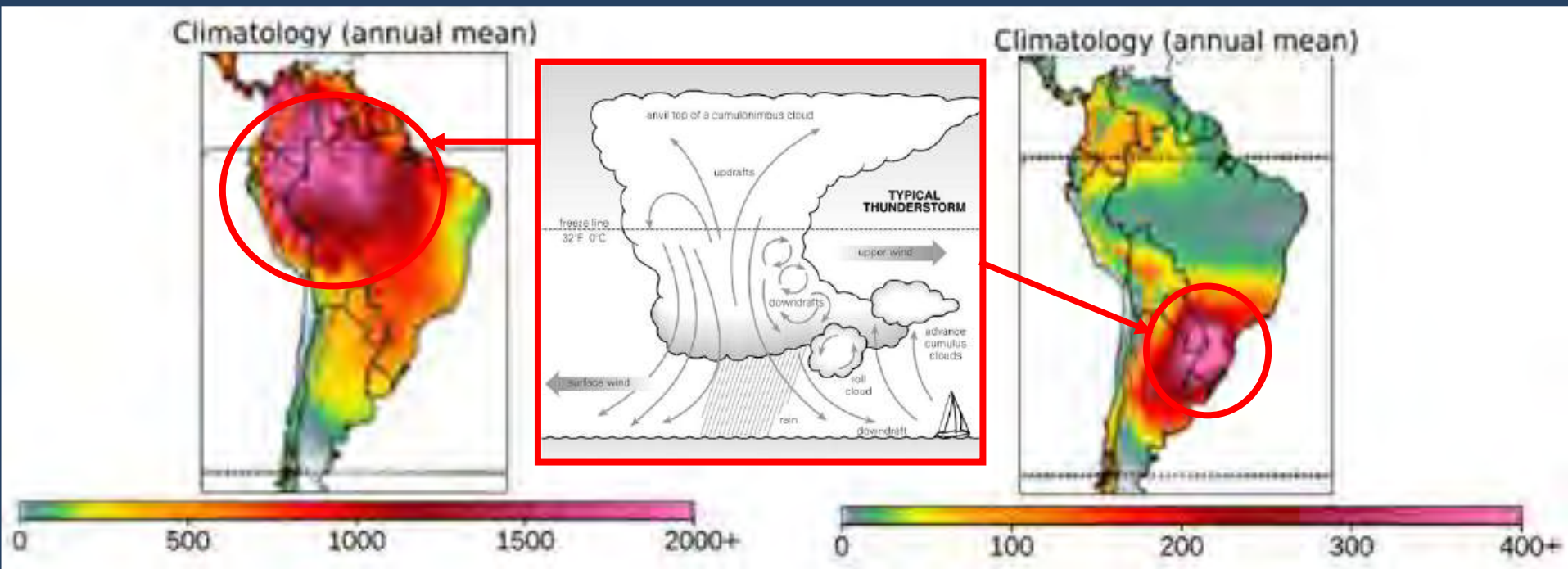
Climatology of non-synoptic winds.



Annual frequency, in terms of the mean number of hours per year (see color convention), of atmospheric conditions that are favorable to the occurrence of (a) convective storms in general, and (b) severe convective storms, in South America. The climatology refers to the 1979 to 2019 period and is based on the 5th Generation of the European Center for Medium-Range Weather Forecasting reanalysis (ERA5) dataset. (Adapted from Taszarek et al., 2021).

BRAZILIAN CLIMATOLOGY: SPATIAL DISTRIBUTION OF THE ATMOSPHERIC PHENOMENA RESPONSIBLE FOR STRONG WINDS.

Climatology of non-synoptic winds.



Annual frequency, in terms of the mean number of hours per year (see color convention), of atmospheric conditions that are favorable to the occurrence of (a) convective storms in general, and (b) severe convective storms, in South America. The climatology refers to the 1979 to 2019 period and is based on the 5th Generation of the European Center for Medium-Range Weather Forecasting reanalysis (ERA5) dataset. (Adapted from Taszarek et al., 2021).

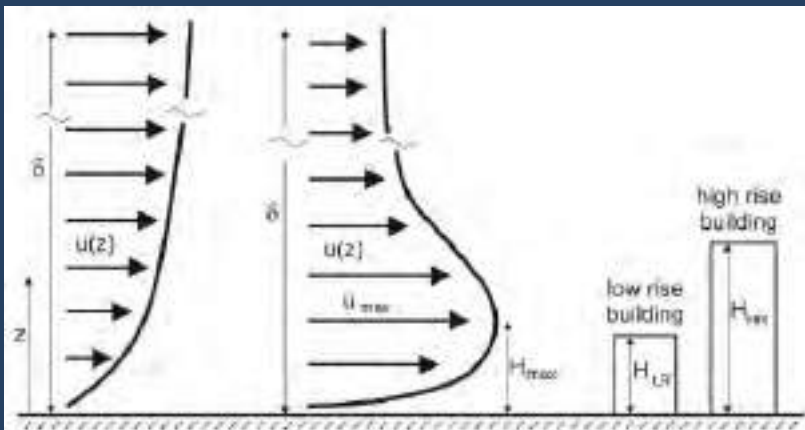
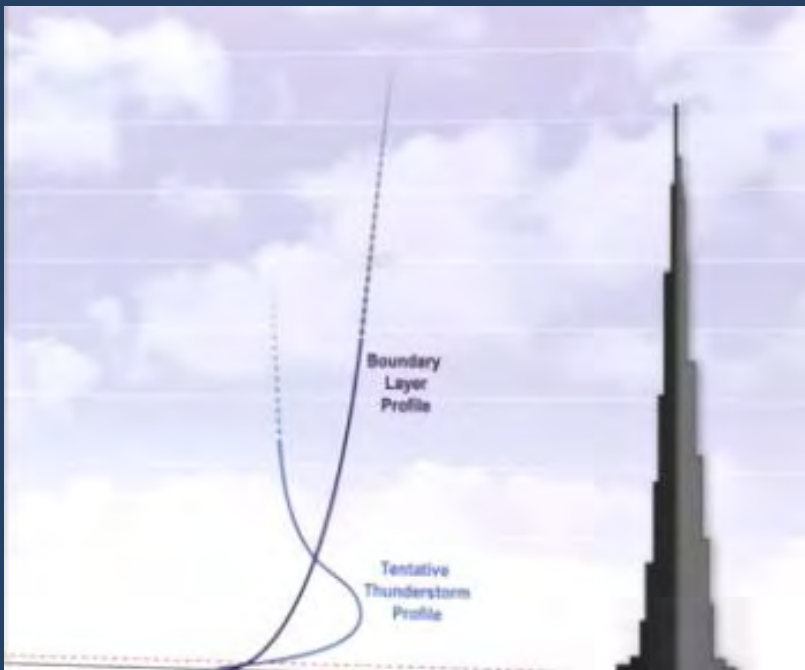
Colapso de edifício / estrutura de concreto – Belém, PA – 29JAN2011



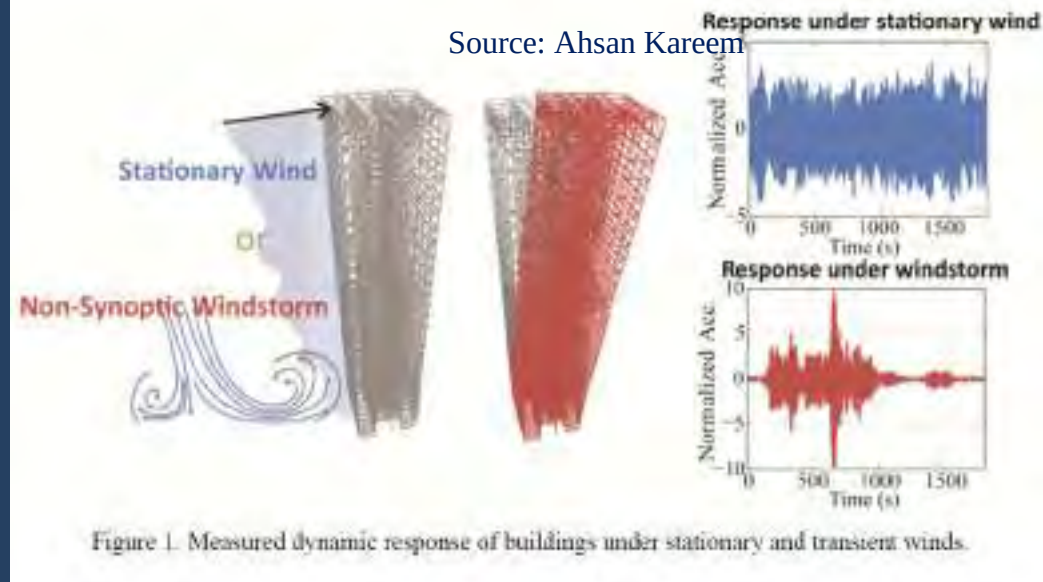
Diferença entre um perfil vertical de velocidades oriundo de ventos estacionários ou **sinóticos** (camada limite tradicional) e de ventos **não sinóticos** (*downburst* e outros).

&

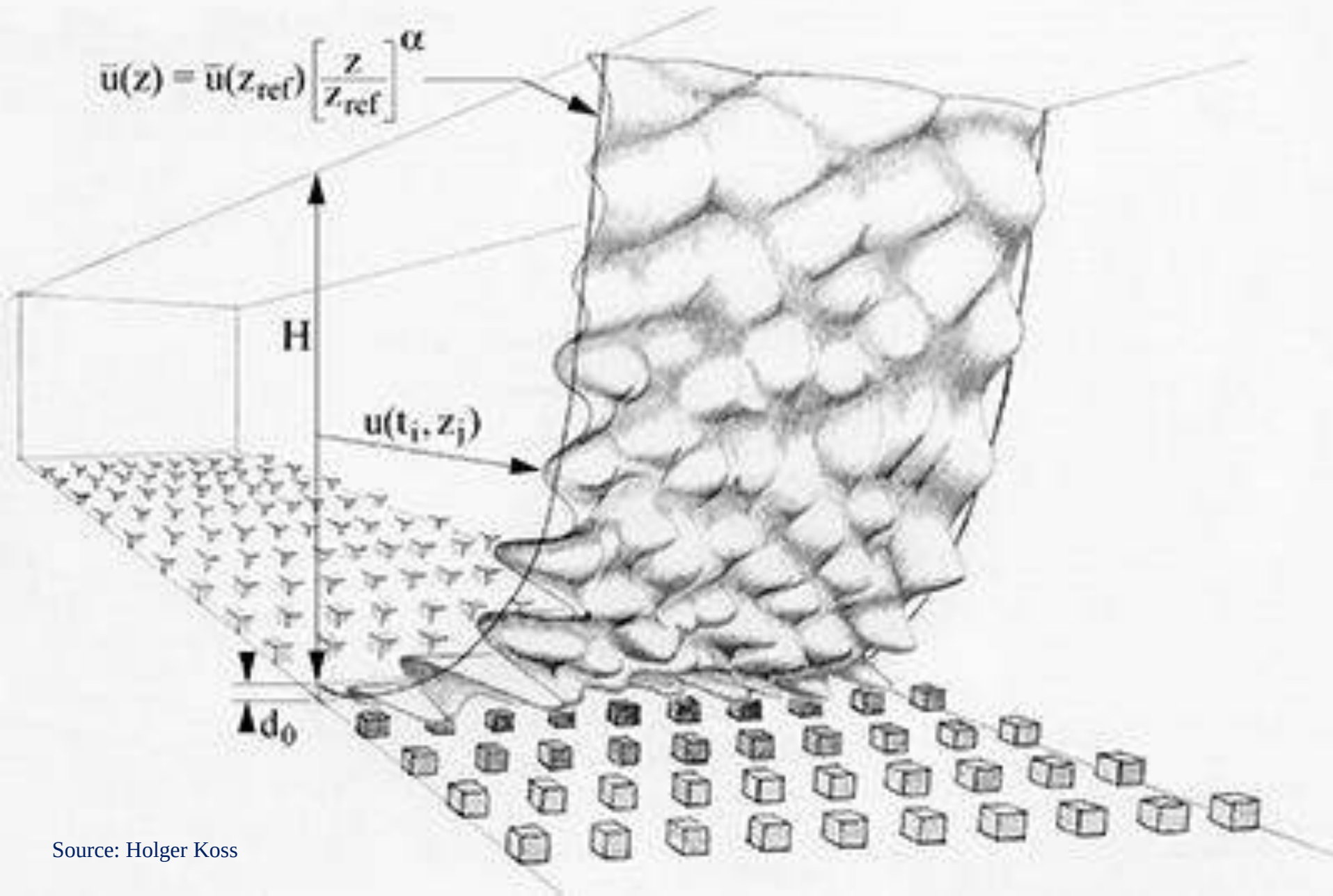
Resposta dinâmica de edifícios sob ação de ventos estacionários e transientes.



Source: Ahsan Kareem

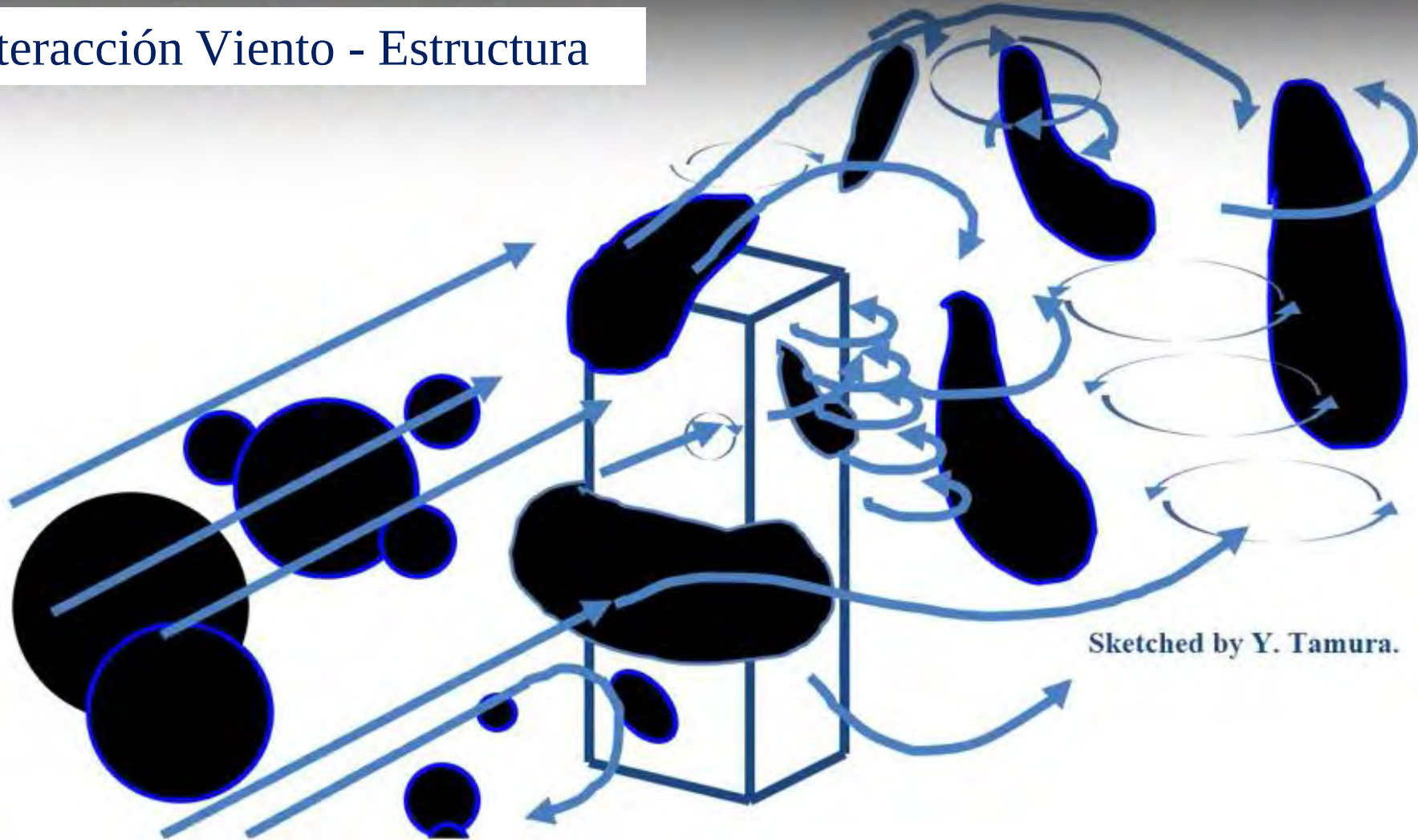


Simulación en Túnel de Viento de Capa Límite



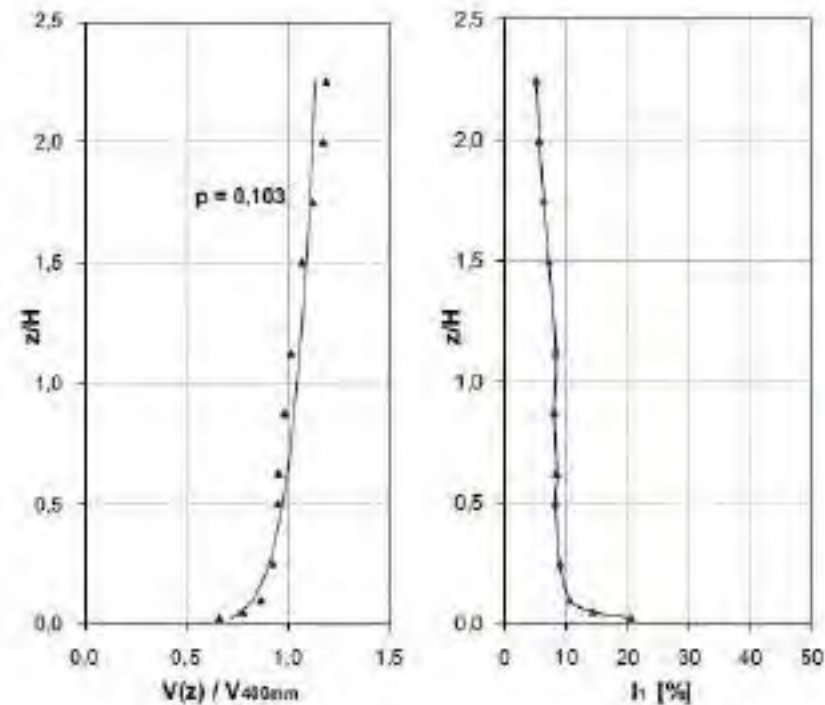
Efectos de la turbulencia en edificaciones

Interacción Viento - Estructura



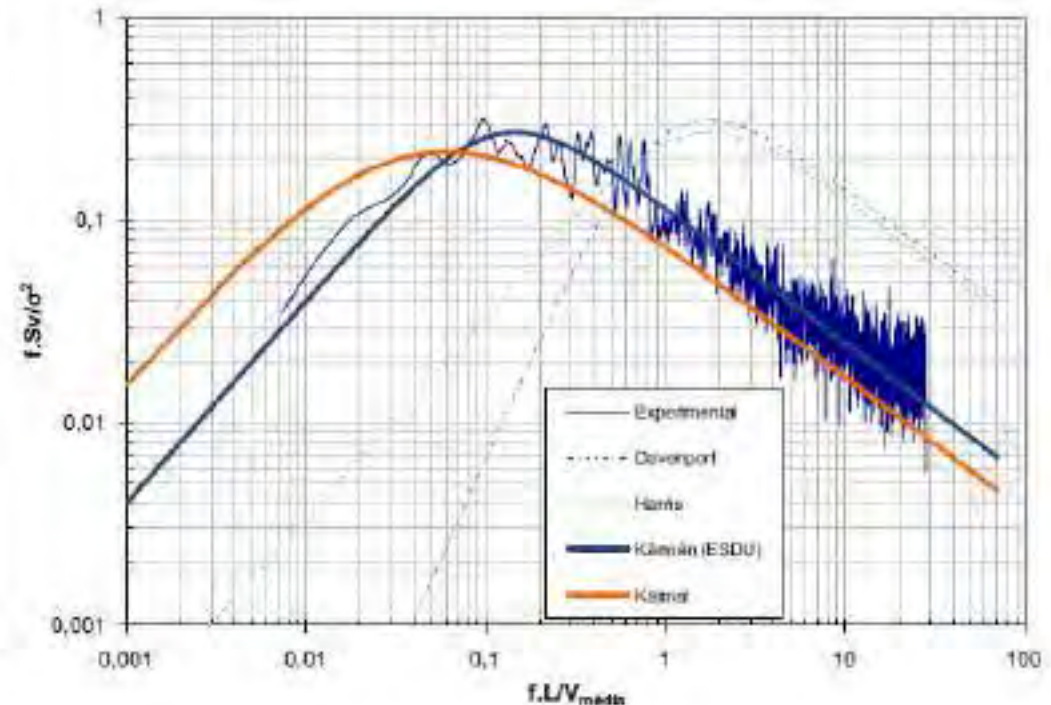
Características de un viento simulado sobre una gran extensión de agua en el Túnel de Viento de Capa Límite

Prof. Joaquim Blessmann de LAC / UFRGS



Perfil Vertical
de la Velocidad
Media

Perfil Vertical
de la Intensidad
de la Turbulencia



Espectro de Potencia de la
Componente Longitudinal
de la Turbulencia

NBR-6123 – Forças devidas ao vento em edificações

Pressões devidas ao vento: $F / A = q C$

$q = K * V_k^2$: Pressão Dinâmica

C : Coeficiente Aerodinâmico

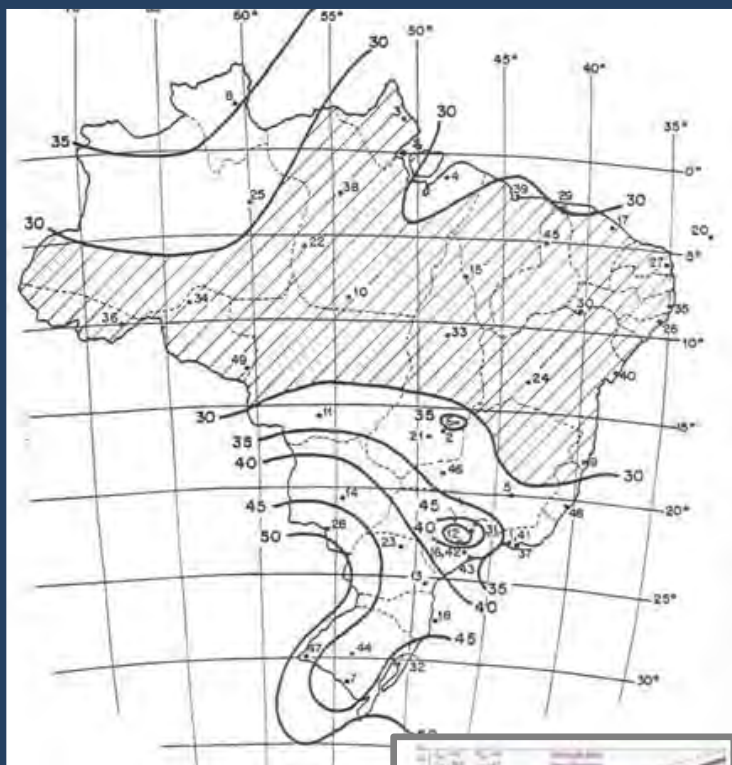
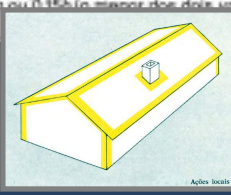
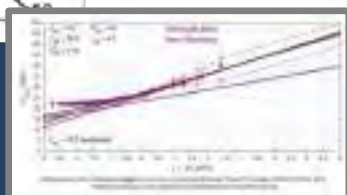
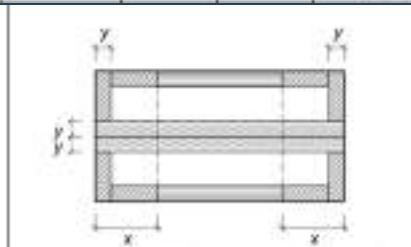
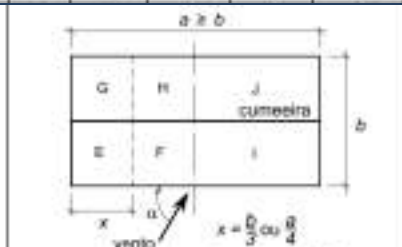
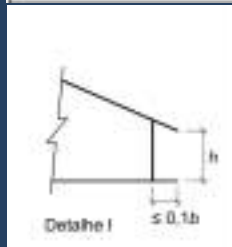


Tabela 7 — Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular $a \times b$, sendo b a menor dimensão (continua)

Altura Relativa	θ	Valores de C_{pe} para				C_{pe} médio			
		$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 0^\circ$					
		EF	GH	EG	FH				
	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	—
	5°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2		-1,2
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0			-1,2
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8			-1,1
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1
	60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6				-1,1



NBR-6123 – Forças devidas ao vento em edificações

Pressões devidas ao vento: $F / A = q C$

C : Coeficiente Aerodinâmico

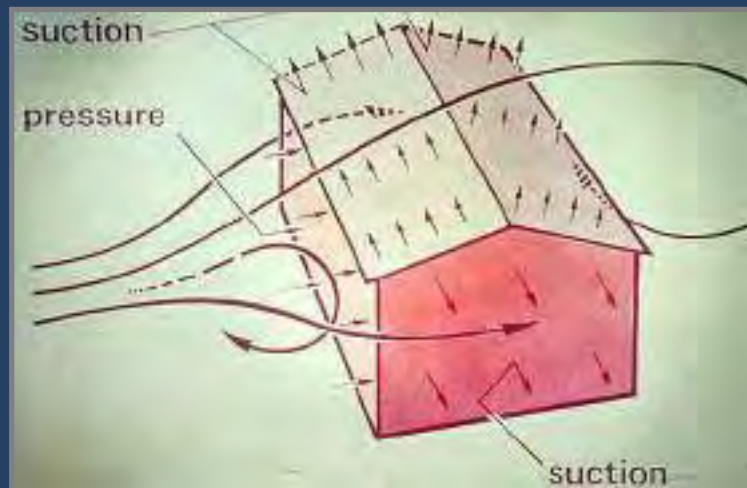
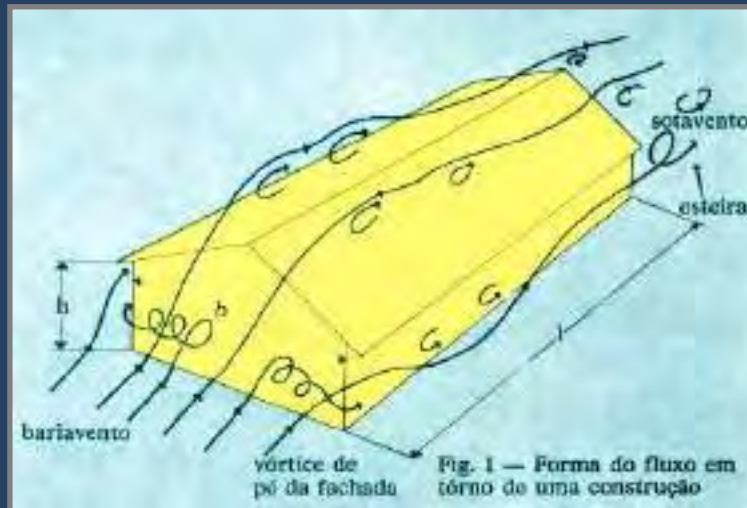
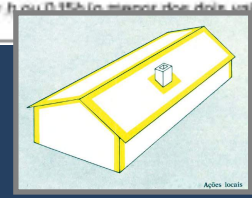
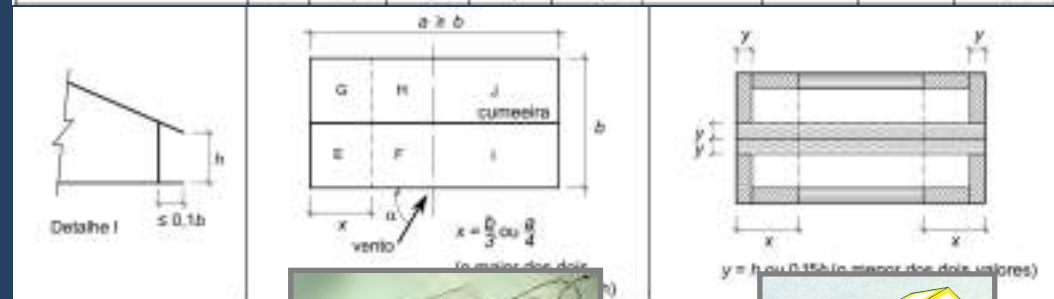


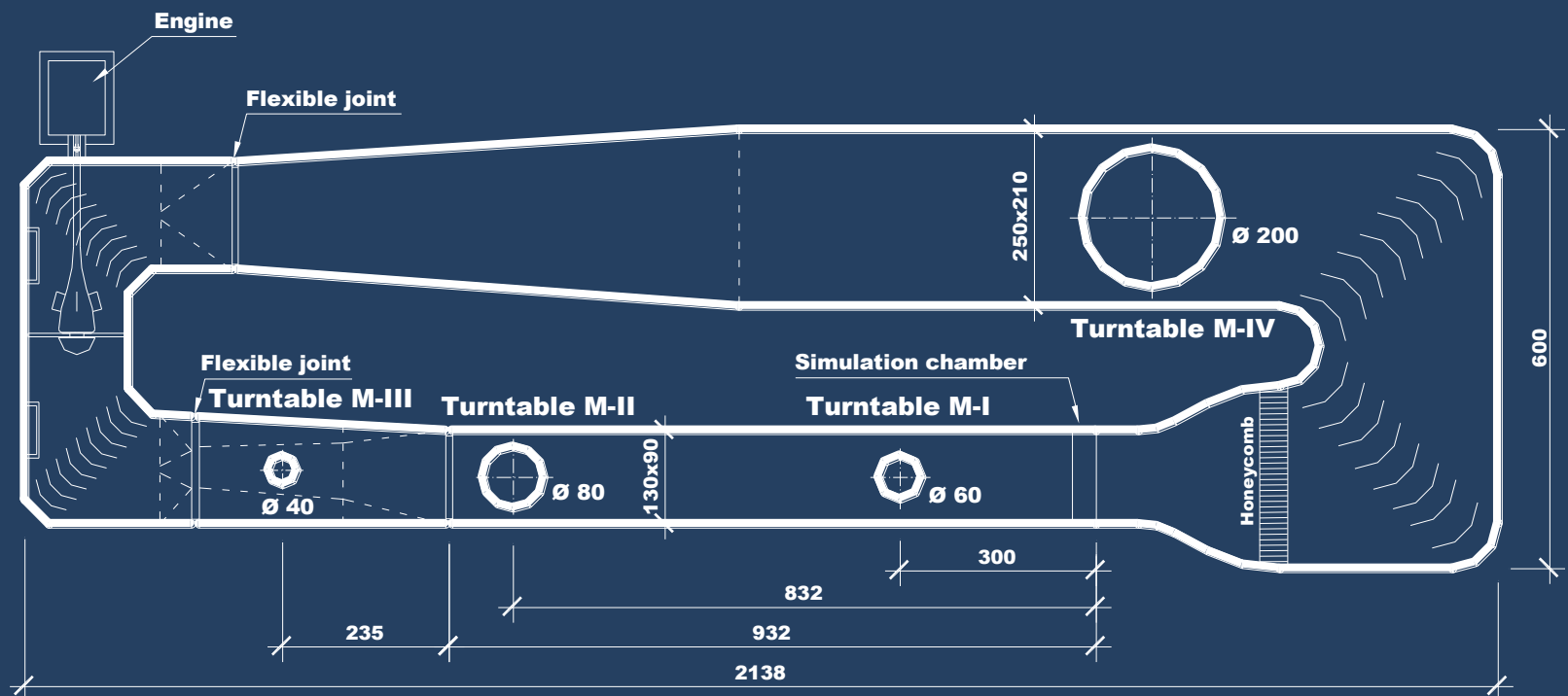
Tabela 7 — Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular $a \times b$, sendo b a menor dimensão (continua)

Atura Relativa	θ	Valores de C_{pe} para				C_{pe} médio			
		$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 0^\circ$					
		EF	GH	EG	FH				
	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	—
	5°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4	-1,2	-1,2
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2	-1,2	-1,2
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0	-1,2	-1,2	-1,2
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8	-1,2	-1,2	-1,1
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6	-0,8	-1,2	-1,2	-1,1
	60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6	-0,8	-1,2	-1,2	-1,1



Túnel de Vento de Camada Limite

Prof. Joaquim Blessmann
UFRGS - Brasil



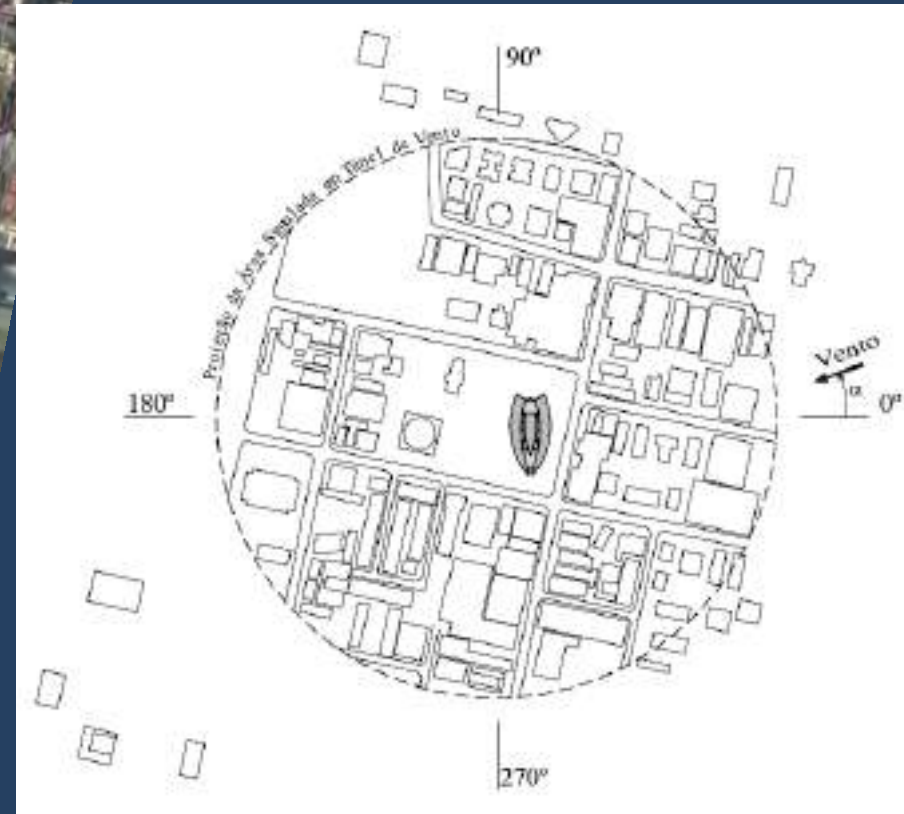
Empreendimento YUNY Leopoldo Green, São Paulo – SP

YUNY Incorporadora



Empreendimento YUNY Leopoldo Green, São Paulo – SP

Referência para o ângulo de incidência e área simulada no Túnel de Vento



Empreendimento YUNY Leopoldo Green, São Paulo – SP

1. Medida de Pressões



Configuração I
COM Heliponto



Configuração II
SEM Heliponto

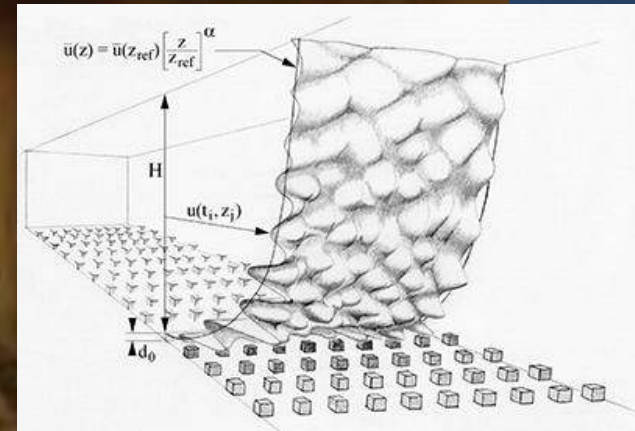
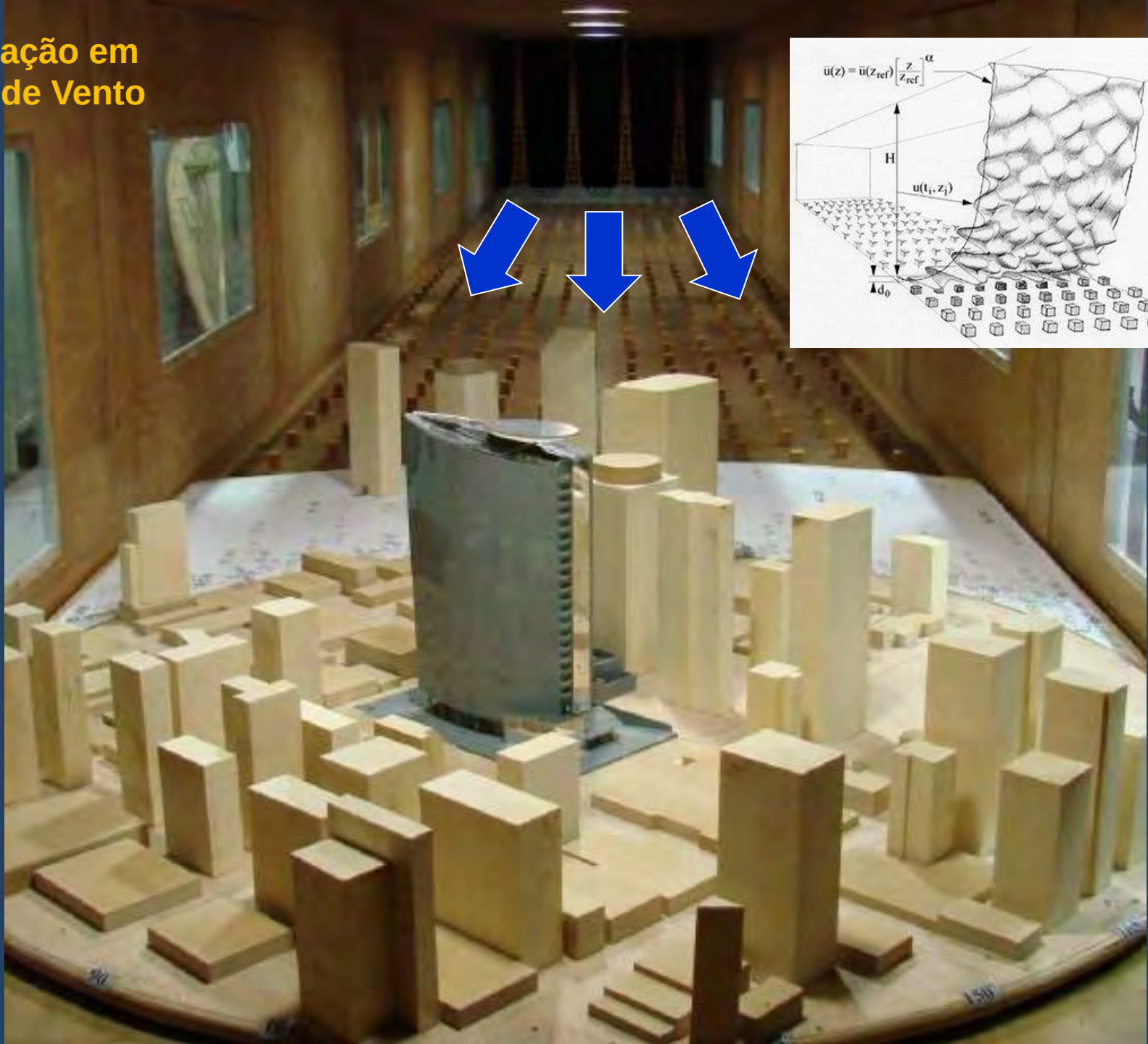
Simulação em Túnel de Vento



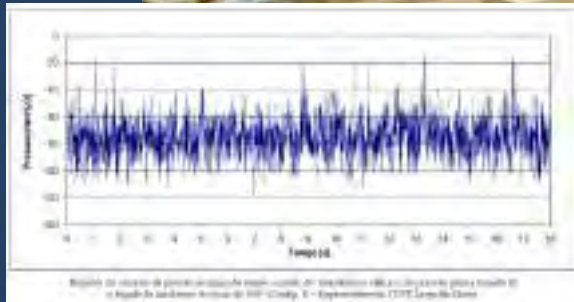
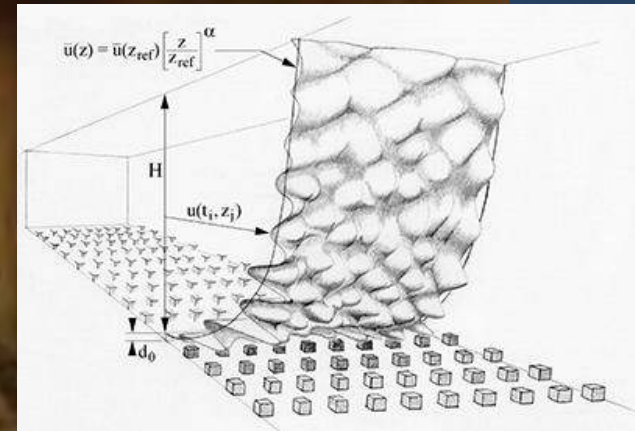
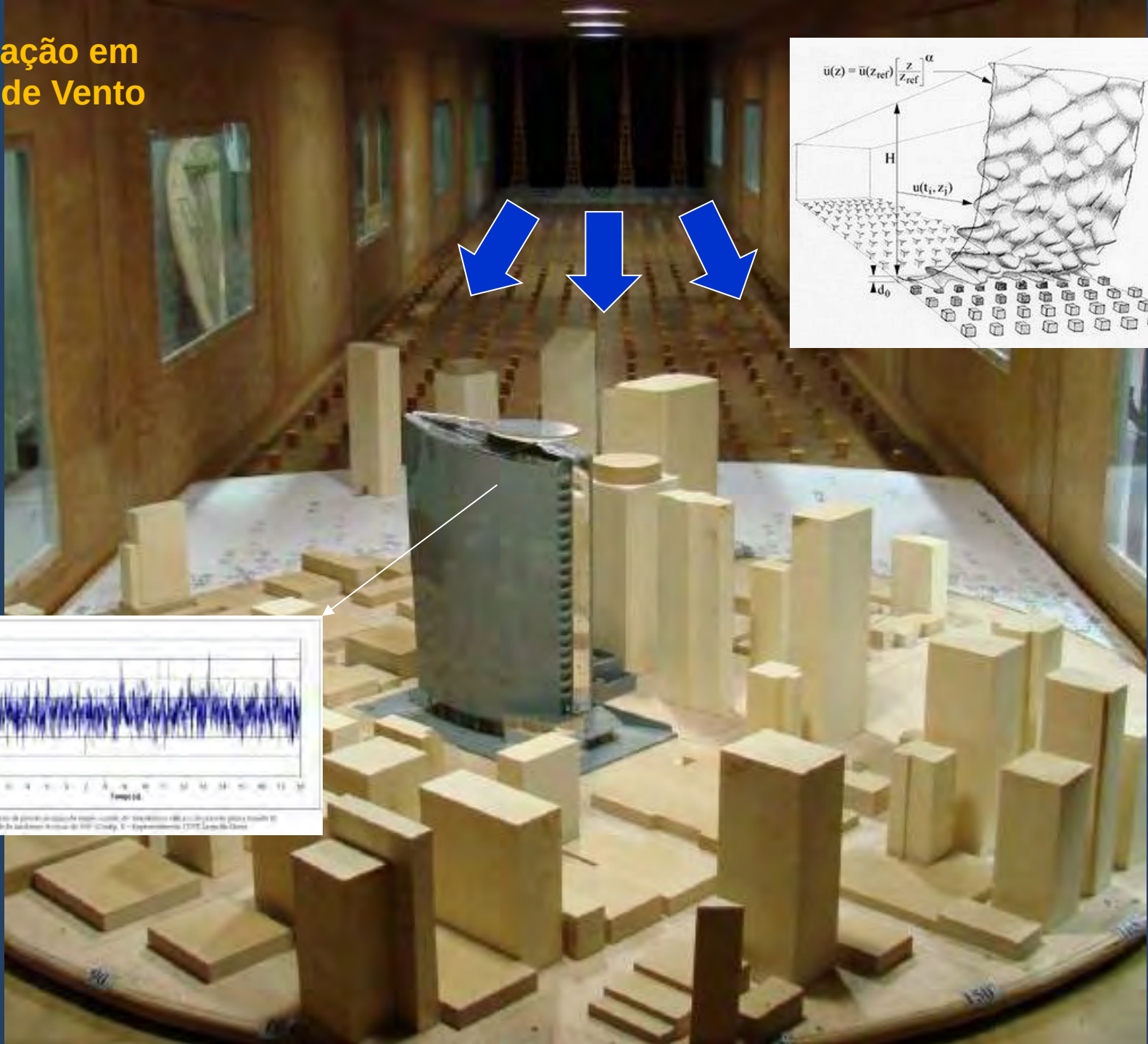
Simulação em Túnel de Vento



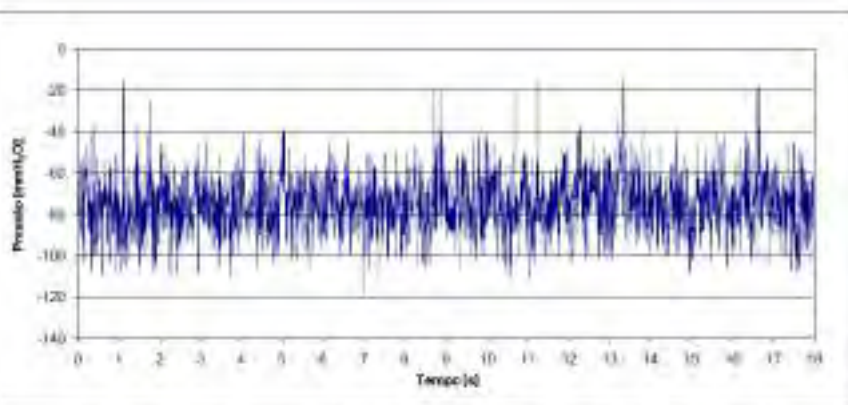
Simulação em Túnel de Vento



Simulação em Túnel de Vento



Cálculo dos Coeficientes de Pressão



Registro da vibração de pressão ao longo do tempo, a partir dos transdutores elétricos de pressão, para a incidência do ângulo de incidência do vento de 300°. Config. 11 - Experimento TUMT Engenharia Civil.

Coeficiente de pressão média

$$\bar{c}_p = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt}{q}$$

Coeficiente de pressão rms

$$\tilde{c}_p = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (p(t) - \bar{p})^2 dt}}{q}$$

Coeficiente de pressão máximo

$$\hat{c}_p = \frac{p_{max}}{q}$$

Coeficiente de pressão mínimo

$$\check{c}_p = \frac{p_{min}}{q}$$

Tabela 1a - Coeficientes de pressão
Evaporador - p=0,11 - Isa

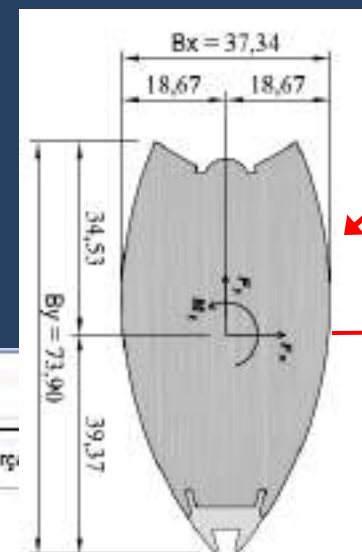
Tempo	min	méd	max	rms
1	-0,88	-0,57	-0,34	0,00
2	-0,70	-0,51	-0,28	0,07
3	-0,60	-0,50	-0,33	0,08
4	-1,03	-0,60	-0,38	0,00
5	-1,14	-0,58	-0,45	0,11
6	-0,88	-0,53	-0,34	0,10
7	-0,93	-0,55	-0,38	0,11
8	-1,0	-0,55	-0,35	0,08
9	-0,79	-0,60	-0,34	0,08
10	-0,77	-0,47	-0,34	0,07
11	-0,59	-0,52	-0,33	0,08
12	-1,00	-0,59	-0,36	0,11
13	-1,40	-0,60	-0,39	0,18
14	-0,89	-0,55	-0,23	0,10
15	-1,18	-0,71	-0,38	0,14
16	-1,17	-0,72	-0,35	0,12
17	-0,64	-0,81	-0,37	0,07
18	-0,32	-0,57	-0,29	0,08
19	-1,21	-0,53	-0,36	0,10
20	-1,38	-0,58	-0,41	0,18
21	-1,29	-0,73	-0,28	0,12
22	-0,76	-0,58	-0,21	0,14
23	-0,91	-0,51	-0,21	0,08
24	-0,11	-0,53	-0,33	0,14
25	-0,34	-0,40	-0,31	0,12
26	-1,17	-0,75	-0,41	0,11
27	-1,13	-0,62	-0,28	0,11
28	-0,72	-0,38	-0,18	0,10
29	-0,59	-0,44	-0,23	0,07
30	-0,54	-0,48	-0,22	0,08
31	-0,93	-0,54	-0,23	0,08
32	-1,14	-0,65	-0,24	0,10
33	-1,12	-0,71	-0,35	0,11
34	-0,15	-0,31	-0,17	0,13
35	-0,40	-0,60	-0,42	0,10
36	-0,08	-0,54	-0,14	0,13
37	-0,35	-0,38	-0,19	0,11
38	-1,60	-0,55	-0,23	0,11
39	-1,07	-0,48	-0,14	0,09
40	-0,8	-0,38	-0,38	0,12
41	-0,70	-0,47	-0,22	0,08
42	-0,18	-0,51	-0,38	0,07
43	-1,00	-0,50	-0,31	0,07
44	-0,92	-0,58	-0,27	0,08
45	-0,16	-0,37	-0,25	0,14
46	-0,45	-1,00	-1,25	0,15
47	-0,06	-0,42	-0,18	0,12
48	-0,59	-0,55	-0,23	0,10
49	-1,04	-0,51	-0,22	0,08
50	-0,3	-0,52	-0,28	0,08
51	-0,55	-0,54	-0,27	0,07
52	-0,60	-0,47	-0,10	0,07
53	-0,73	-0,48	-0,21	0,08
54	-0,80	-0,47	-0,21	0,07
55	-1,09	-0,54	-0,21	0,09
56	-0,48	-1,04	-1,16	0,15
57	-0,01	-0,45	-0,28	0,12
58	-0,99	-0,60	-0,25	0,08
59	-1,07	-0,51	-0,25	0,11
60	-1,0	-0,52	-0,25	0,10

Ângulo de incidência 0°

Tempo	min	méd	max	rms
1	-0,70	-0,47	-0,18	0,07
2	-0,20	-0,53	-0,29	0,07
3	-0,31	-0,45	-0,25	0,07
4	-1,12	-0,59	-0,24	0,11
5	-1,04	-0,50	-0,23	0,11
6	-1,00	-0,40	-0,18	0,10
7	-0,87	-0,43	-0,11	0,14
8	-0,50	-1,07	-1,03	0,18
9	-0,11	-0,30	-0,41	0,12
10	-0,82	-0,57	-0,26	0,08
11	-0,88	-0,50	-0,27	0,08
12	-0,95	-0,45	-0,24	0,08
13	-0,75	-0,50	-0,26	0,07
14	-0,70	-0,39	-0,11	0,07
15	-0,35	-0,46	-0,19	0,09
16	-0,07	-0,41	-0,13	0,11
17	-1,10	-0,89	-0,26	0,12
18	-0,89	-0,80	-0,18	0,11
19	-0,07	-0,43	-0,43	0,13
20	-0,51	-0,90	-1,11	0,14
21	-0,15	-0,33	-0,17	0,12
22	-1,07	-0,64	-0,32	0,08
23	-1,01	-0,54	-0,25	0,08
24	-0,80	-0,51	-0,28	0,07
25	-0,79	-0,49	-0,23	0,07
26	-0,39	-0,48	-0,15	0,08
27	-0,95	-0,58	-0,27	0,09
28	-0,00	-0,68	-0,35	0,06
29	-1,09	-0,70	-0,37	0,15
30	-1,28	-0,77	-0,21	0,12
31	-1,70	-0,81	-0,29	0,20
32	-1,14	-0,81	-0,29	0,12
33	-0,90	-0,50	-0,38	0,10
34	-0,94	-0,51	-0,24	0,12
35	-0,88	-0,58	-0,24	0,08
36	-1,00	-1,10	-0,89	0,09
37	-0,13	-0,33	-0,03	0,12
38	0,00	0,00	0,00	0,00
39	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00
41	0,00	0,00	0,00	0,00
42	0,00	0,00	0,00	0,00
43	0,00	0,00	0,00	0,00
44	0,00	0,00	0,00	0,00
45	0,00	0,00	0,00	0,00
46	0,00	0,00	0,00	0,00
47	0,00	0,00	0,00	0,00
48	0,00	0,00	0,00	0,00
49	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,00	0,00	0,00
51	0,00	0,00	0,00	0,00
52	0,00	0,00	0,00	0,00
53	0,00	0,00	0,00	0,00
54	0,00	0,00	0,00	0,00
55	0,00	0,00	0,00	0,00
56	0,00	0,00	0,00	0,00
57	0,00	0,00	0,00	0,00
58	0,00	0,00	0,00	0,00
59	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,00	0,00	0,00	0,00

Empreendimento YUNY Leopoldo Green, São Paulo – SP

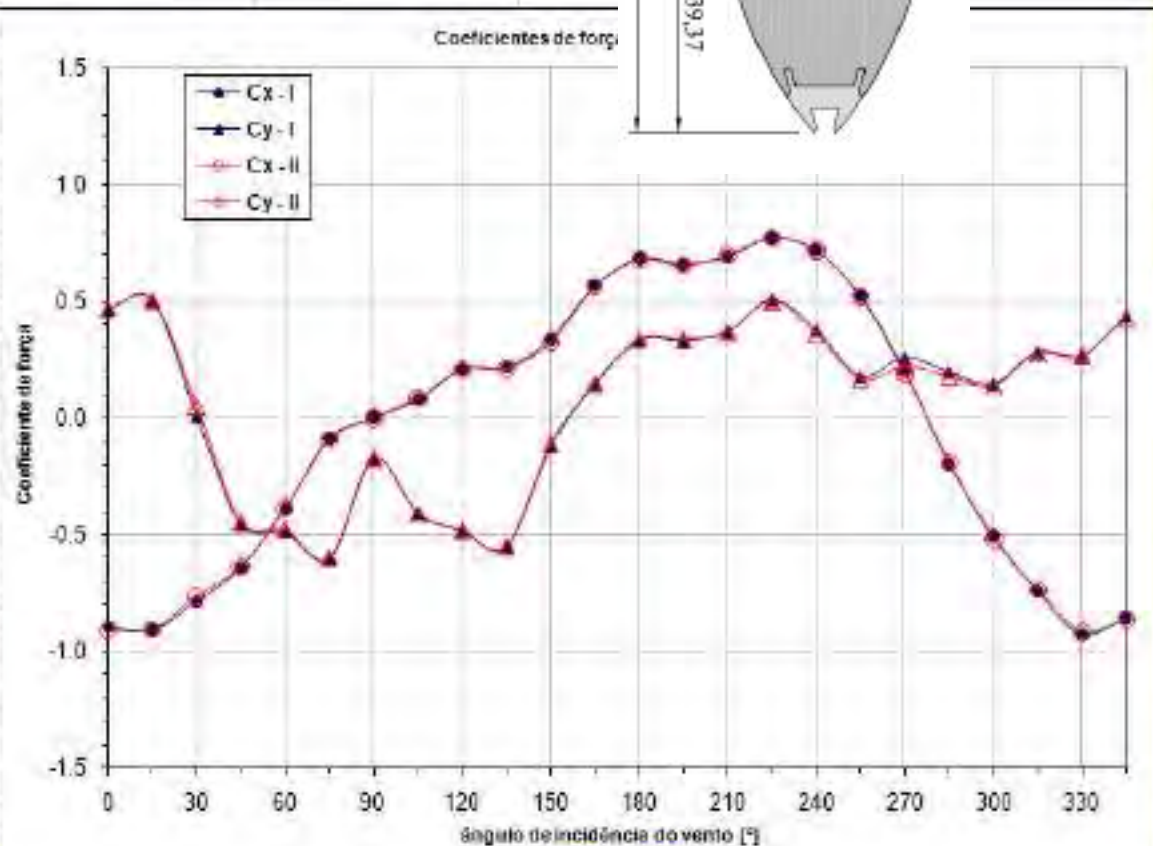
Coeficientes de Fuerza para Cargas Globales



YUNY Leopoldo Green - Comparação de coeficientes de forças - Configuração I x Configuração II

Coeficientes de força globais (Cx e Cy)

	Configuração I		Configuração II	
	Cx	Cy	Cx	Cy
0°	-0.90	0.47	-0.91	0.47
15°	-0.91	0.51	-0.91	0.51
30°	-0.79	0.01	-0.76	0.06
45°	-0.64	-0.45	-0.64	-0.44
60°	-0.39	-0.49	-0.38	-0.47
75°	-0.09	-0.60	-0.09	-0.59
90°	0.00	-0.17	0.00	-0.17
105°	0.08	-0.41	0.08	-0.41
120°	0.21	-0.48	0.21	-0.48
135°	0.22	-0.55	0.21	-0.54
150°	0.34	-0.12	0.32	-0.11
165°	0.57	0.15	0.56	0.15
180°	0.68	0.33	0.68	0.34
195°	0.66	0.34	0.65	0.34
210°	0.69	0.37	0.70	0.37
225°	0.77	0.51	0.77	0.51
240°	0.72	0.38	0.72	0.36
255°	0.52	0.18	0.52	0.17
270°	0.20	0.26	0.19	0.22
285°	-0.20	0.20	-0.19	0.18
300°	-0.50	0.15	-0.52	0.14
315°	-0.74	0.29	-0.73	0.28
330°	-0.93	0.27	-0.91	0.27
345°	-0.86	0.44	-0.86	0.43



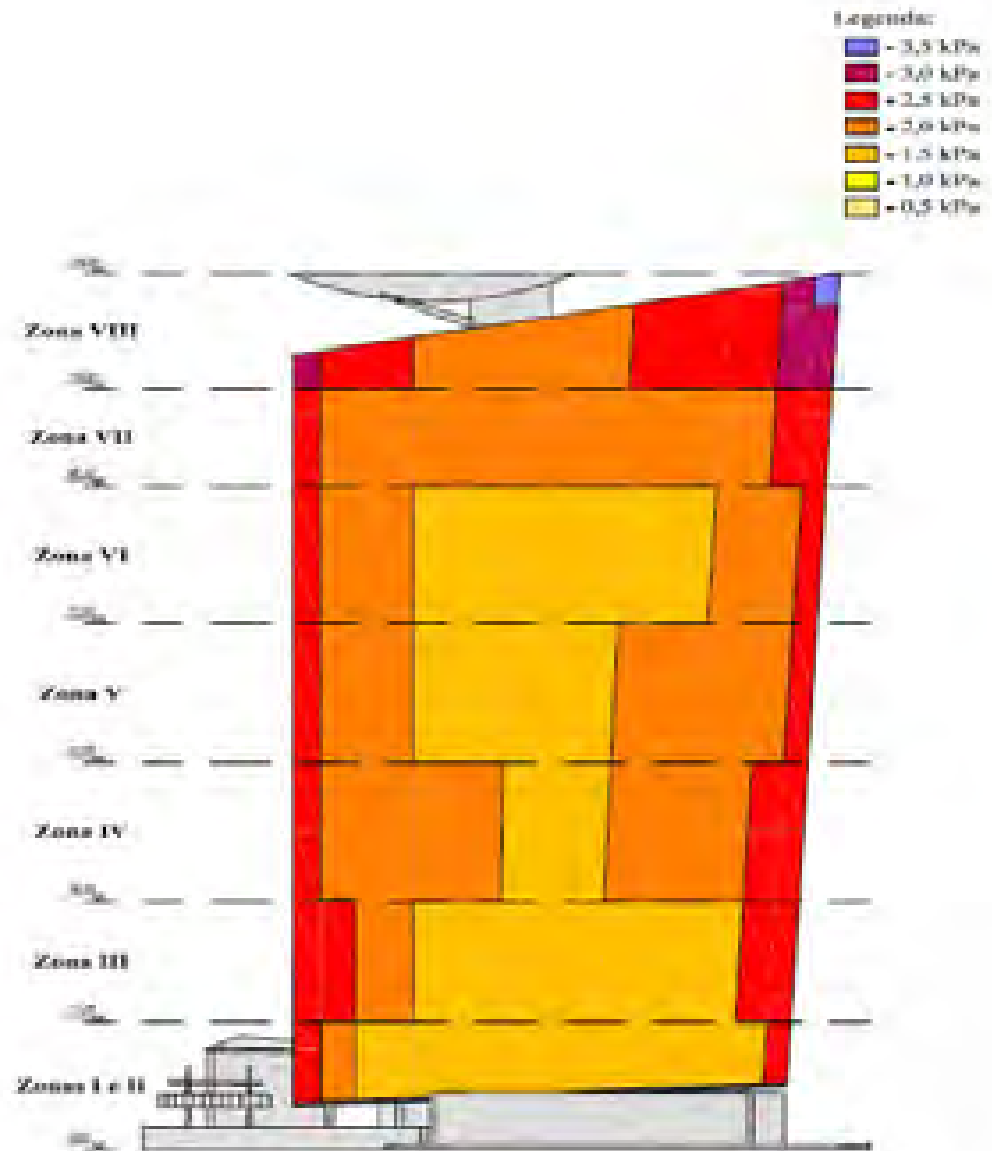


YUNY – Leopoldo Green

Distribución de presiones para el diseño
de elementos de fachada:

Envoltura de las Succiones Maximas
(Presiones Minimas)

Independiente
de la Incidencia
del Viento →



Fachada 1 - Leopoldo Green

Diagramas de bloques indicando a envoltória das pressões externas mínimas para um período de retorno de 50 anos (ver item 6.3).

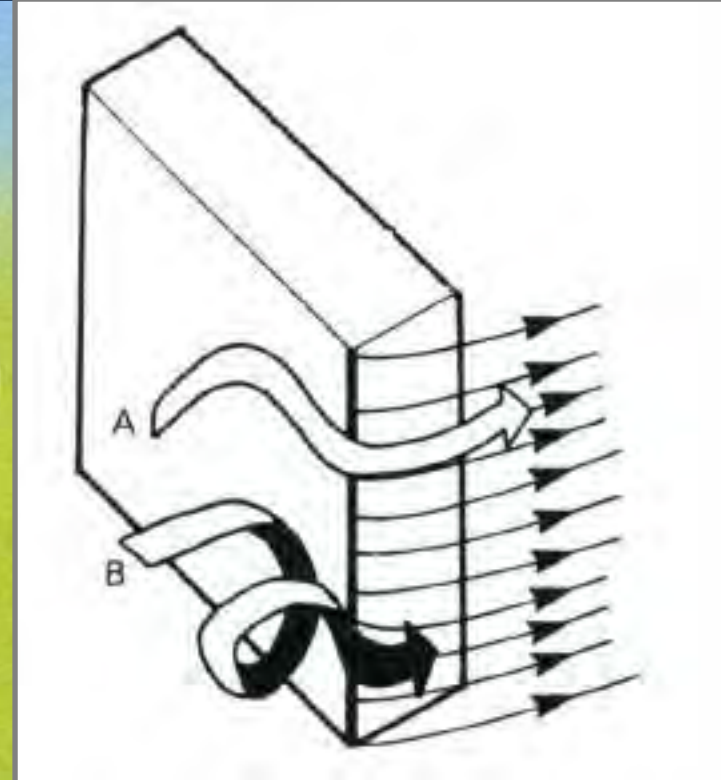
As pressões apresentadas não consideram o efeito das pressões internas. Estimase que as pressões acima possam sofrer acréscimos de até $\pm 1,5$ kPa.

Deflexão do vento na direção vertical

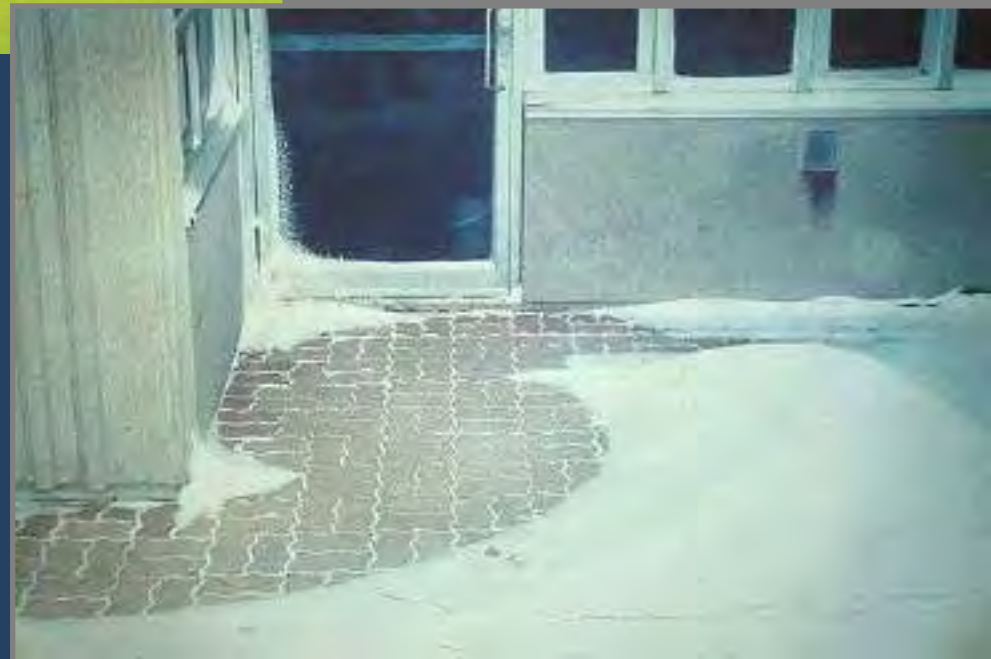


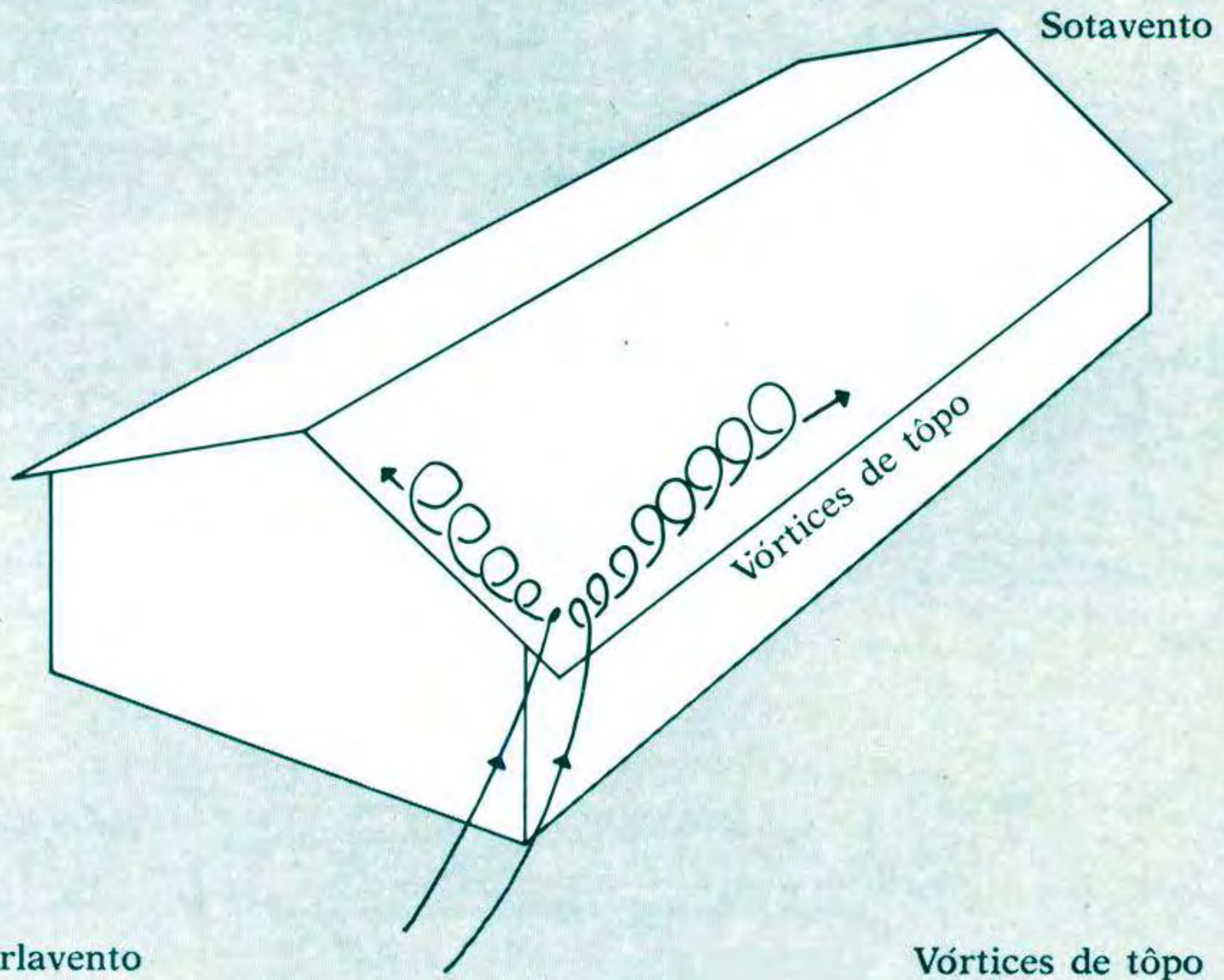
Turbulência da esteira

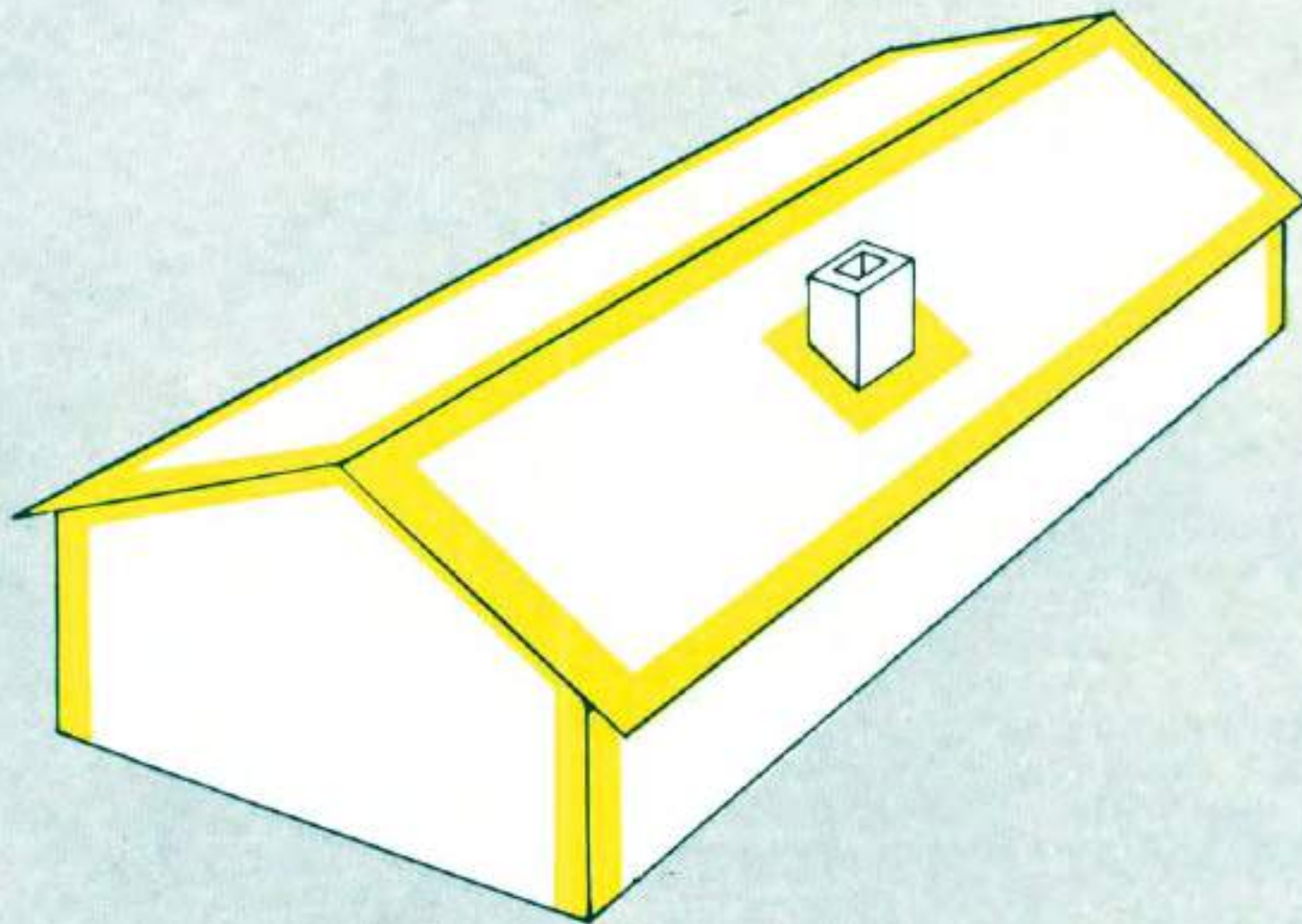




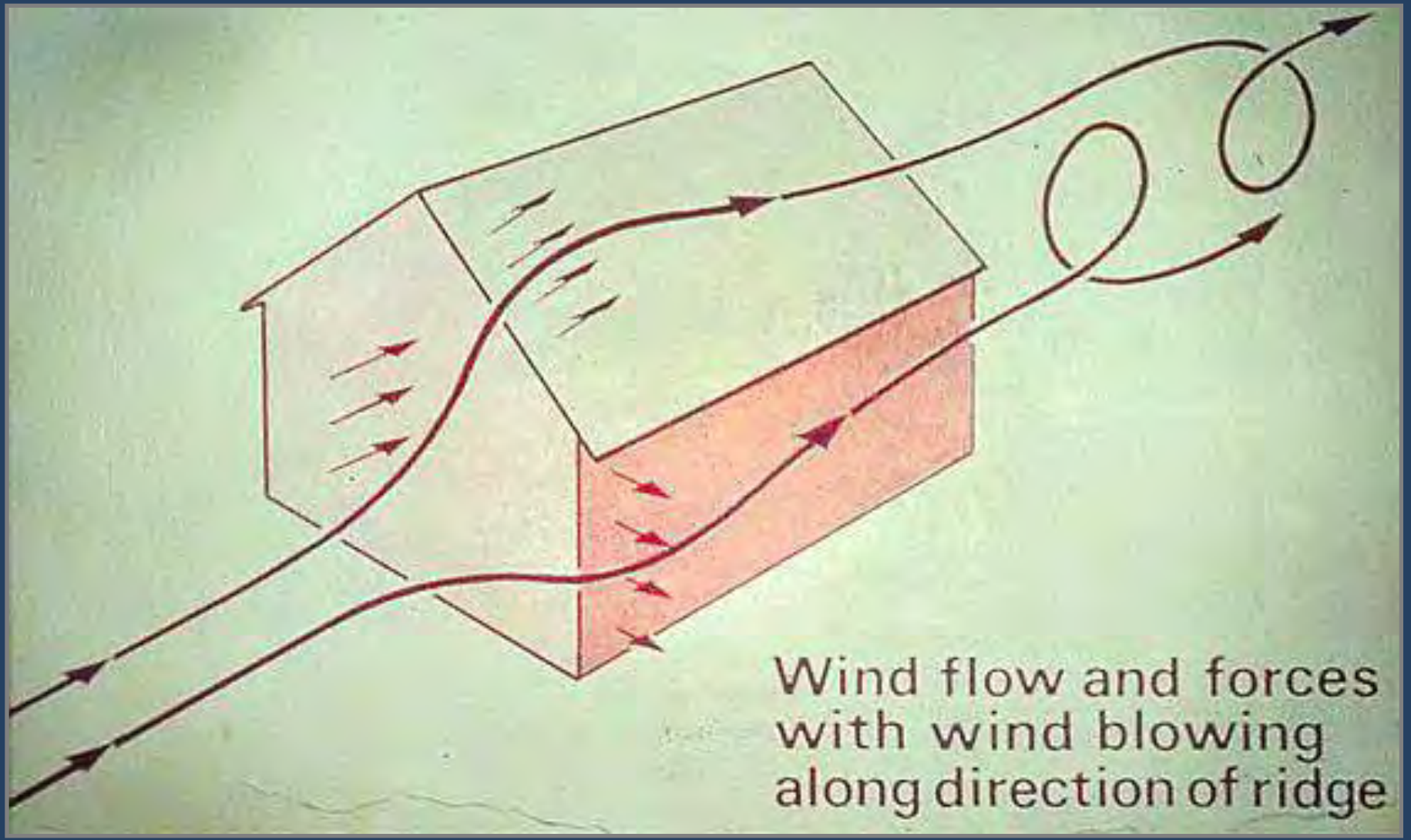
**Descolamento e
desprendimento de vórtices**







Ações locais

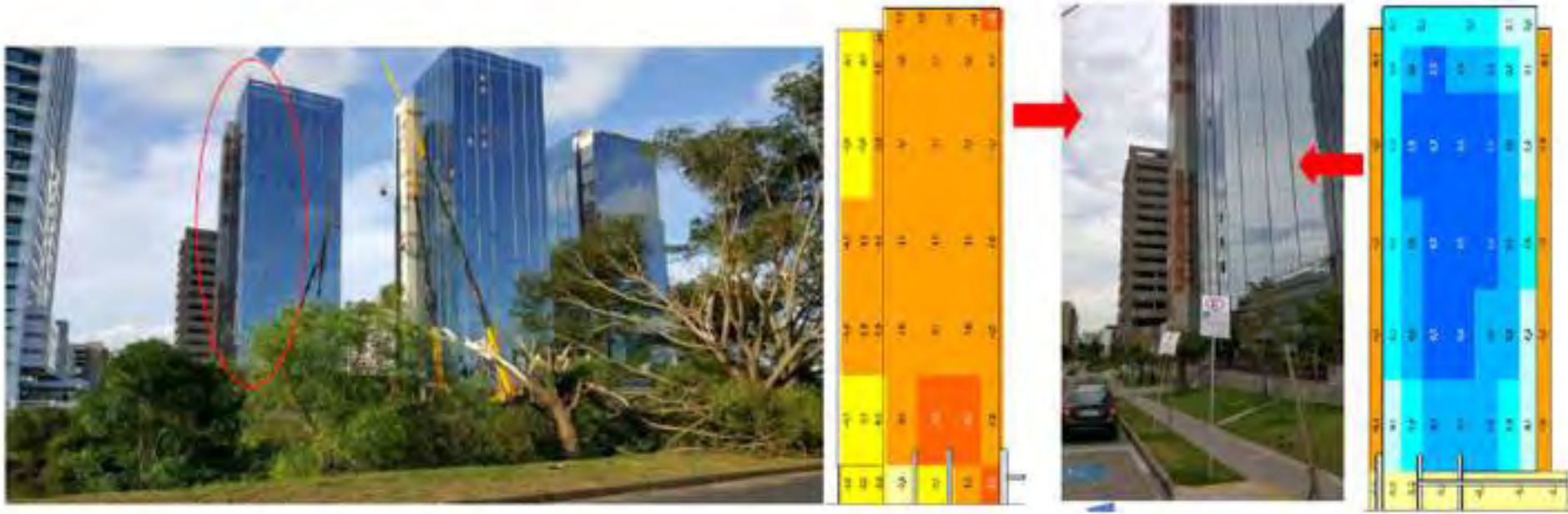


Tramandaí, RS – NOV 2009

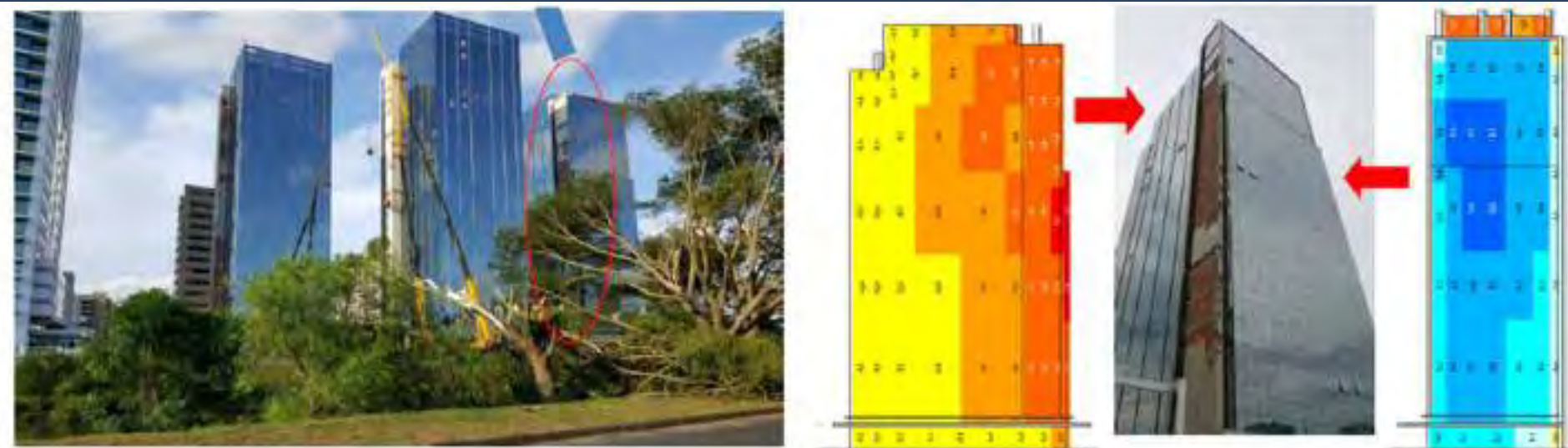


Tramandaí, RS – NOV 2009

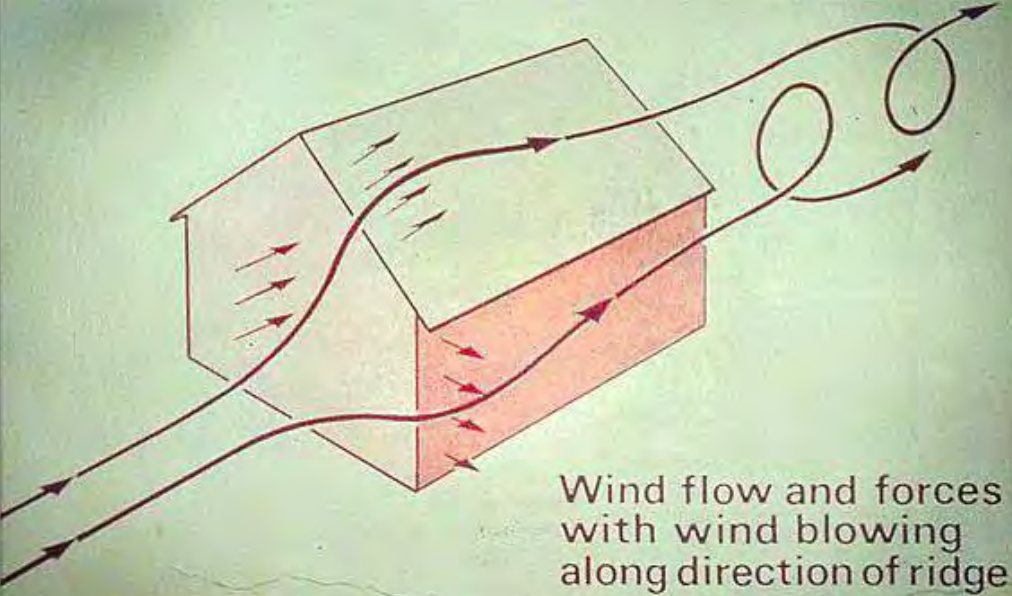




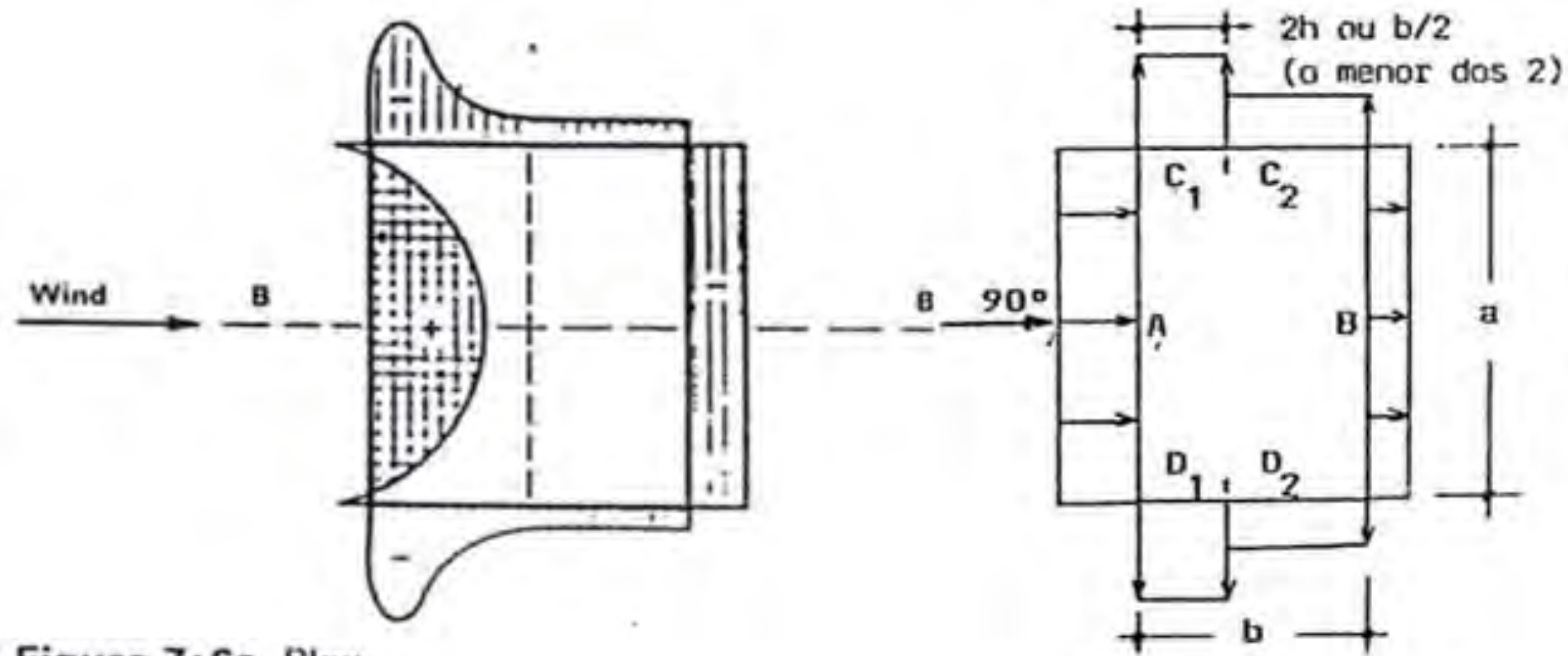
Full-scale damage caused by downburst and mean pressure coefficient diagrams on buildings façades from boundary layer wind tunnel tests (suction = red, yellow; pressure = blue) for Tower A



Full-scale damage caused by downburst and mean pressure coefficient diagrams on buildings façades from boundary layer wind tunnel tests (suction = red, yellow; pressure = blue) for Tower C

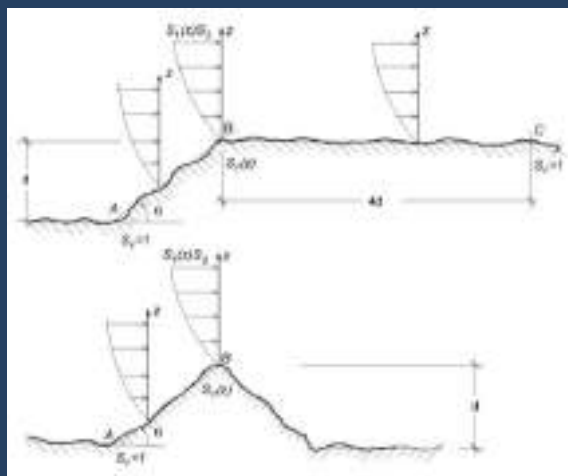


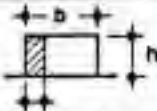
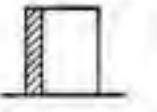
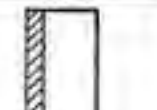
Simplificação dos diagramas de distribuição das pressões devidas ao vento em procedimentos normativos

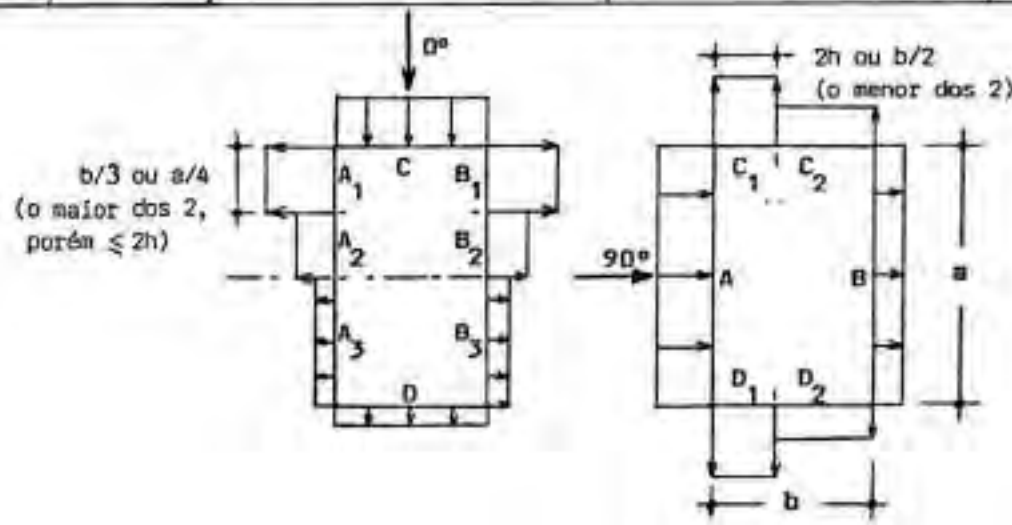


NBR-6123

Forças devidas ao vento em edificações

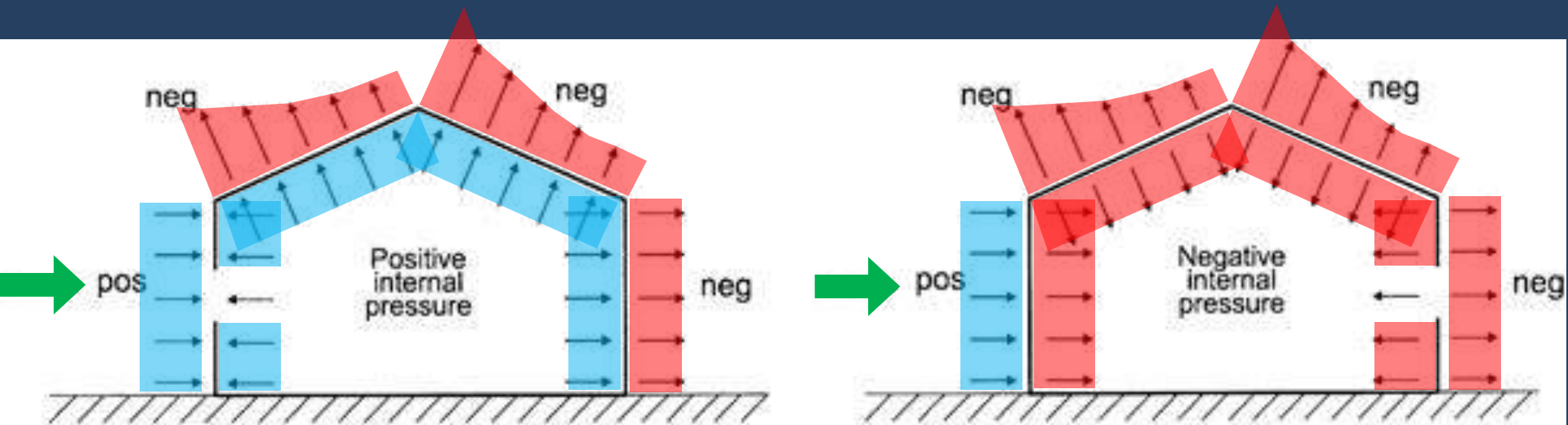


Altura relativa		Valores de C_e para								C_{pe} médio
		$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				
		A_1 e B_1	A_2 e B_2	C	D	A	B	C_1 e D_1	C_2 e D_2	
 0,2 b ou h (O menor dos 2) $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,8	-0,5	+0,7	-0,4	+0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0
 $\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,9	-0,5	+0,7	-0,5	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,1
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,9	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,6	-0,9	-0,5	-1,1
 $\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-1,0	-0,6	+0,8	-0,6	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-1,0	-0,5	+0,8	-0,3	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2



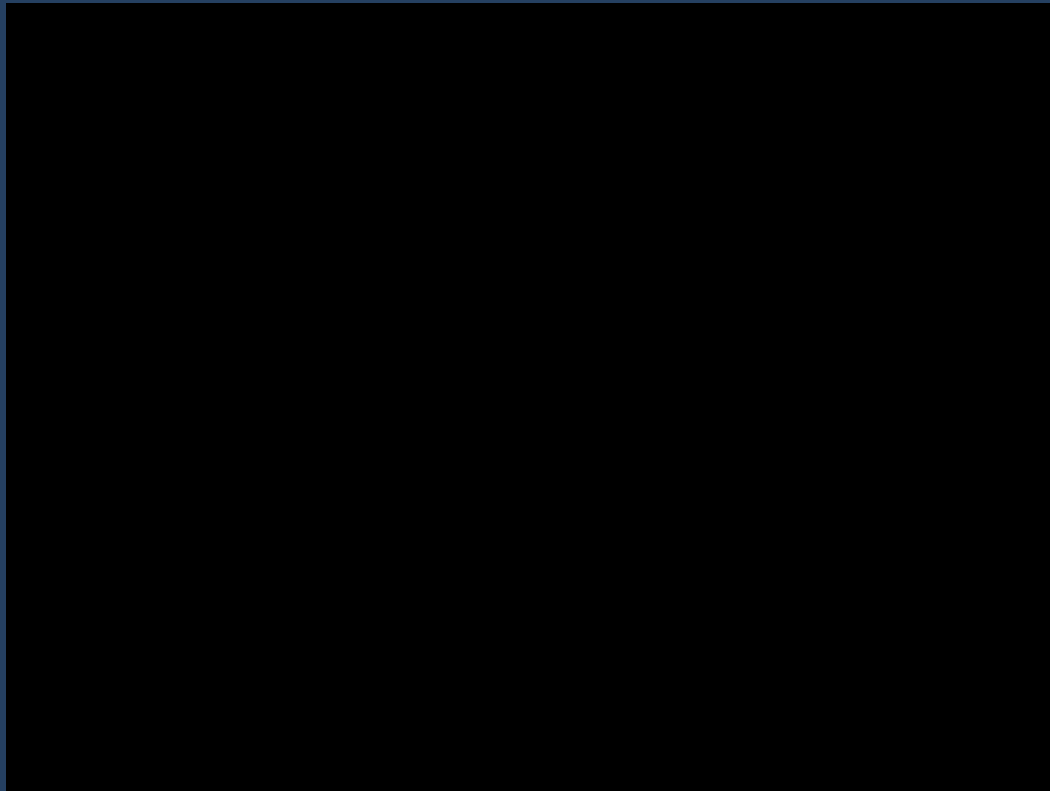
Considerações sobre Pressão Interna

- **Abertura dominante**



Considerações sobre Pressão Interna

- **Abertura dominante**



PRESSÕES INTERNAS

- Processo Simplificado

- os coeficientes de pressão interna são dados para casos específicos.

- Processo Detalhado

- os coeficientes de pressão interna são calculados pela fórmula

$$\sum_{j=1}^N \pm A_j \sqrt{|Ce_j - Ci|} = 0$$

→ **Balneário Camboriú, SC**



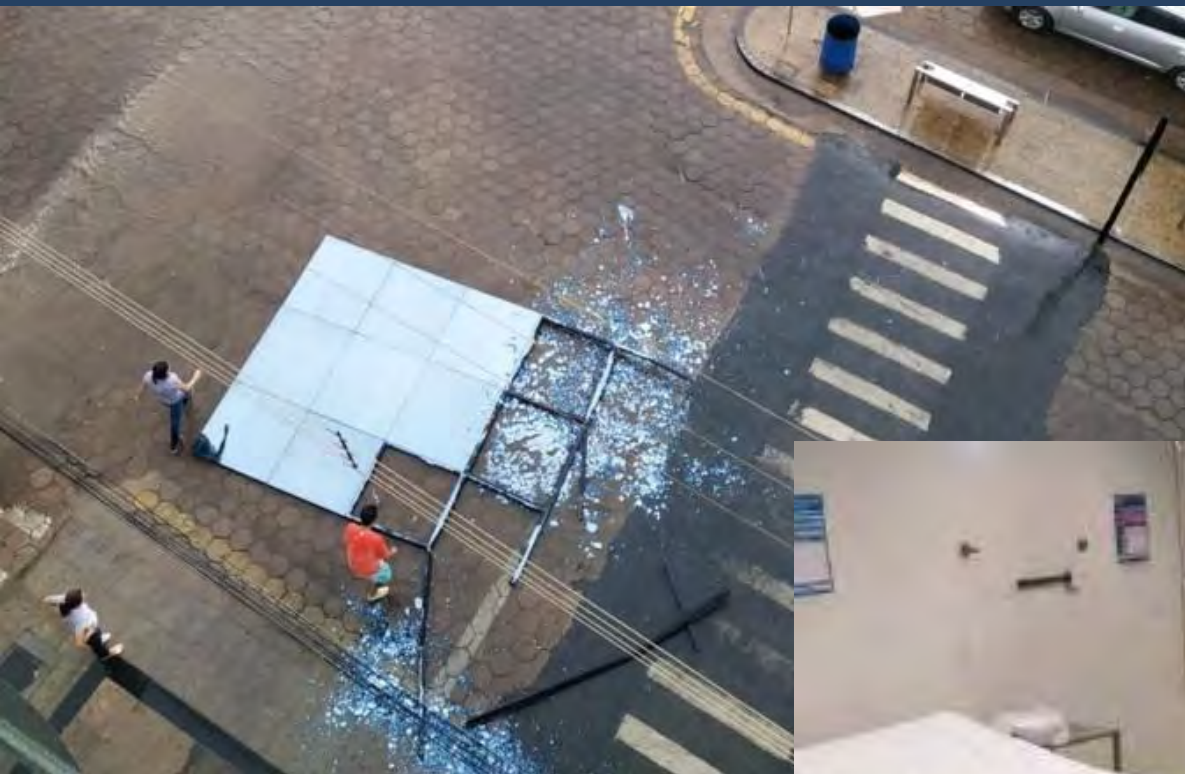






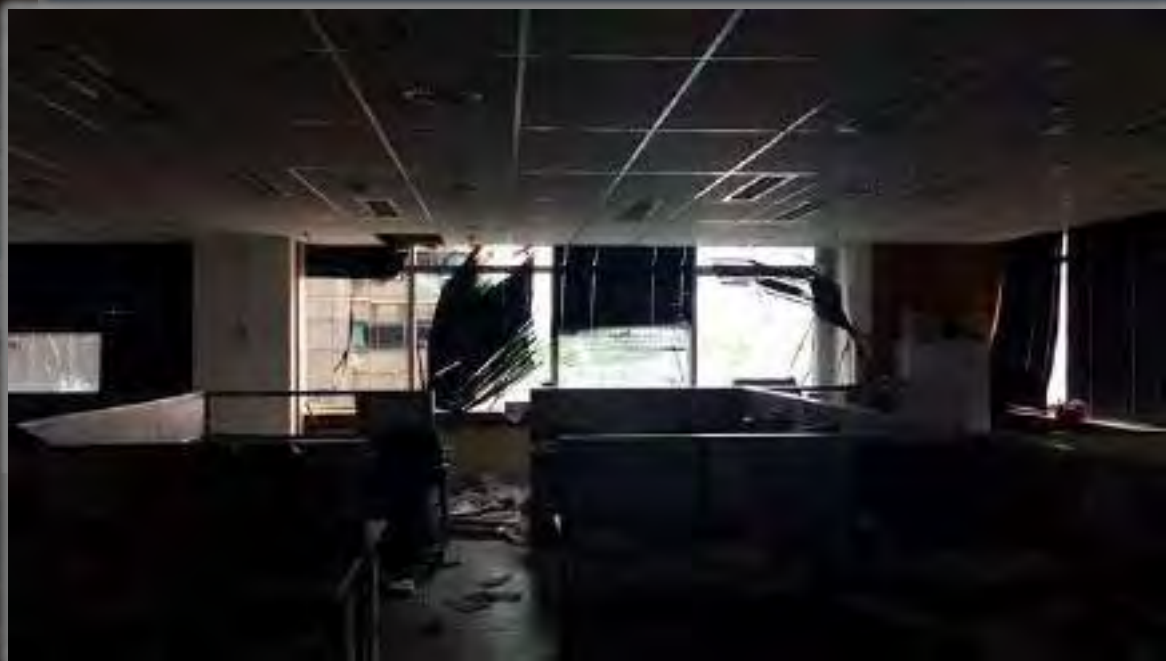
Curitiba, PR
30JUN2020
Ciclone Bomba



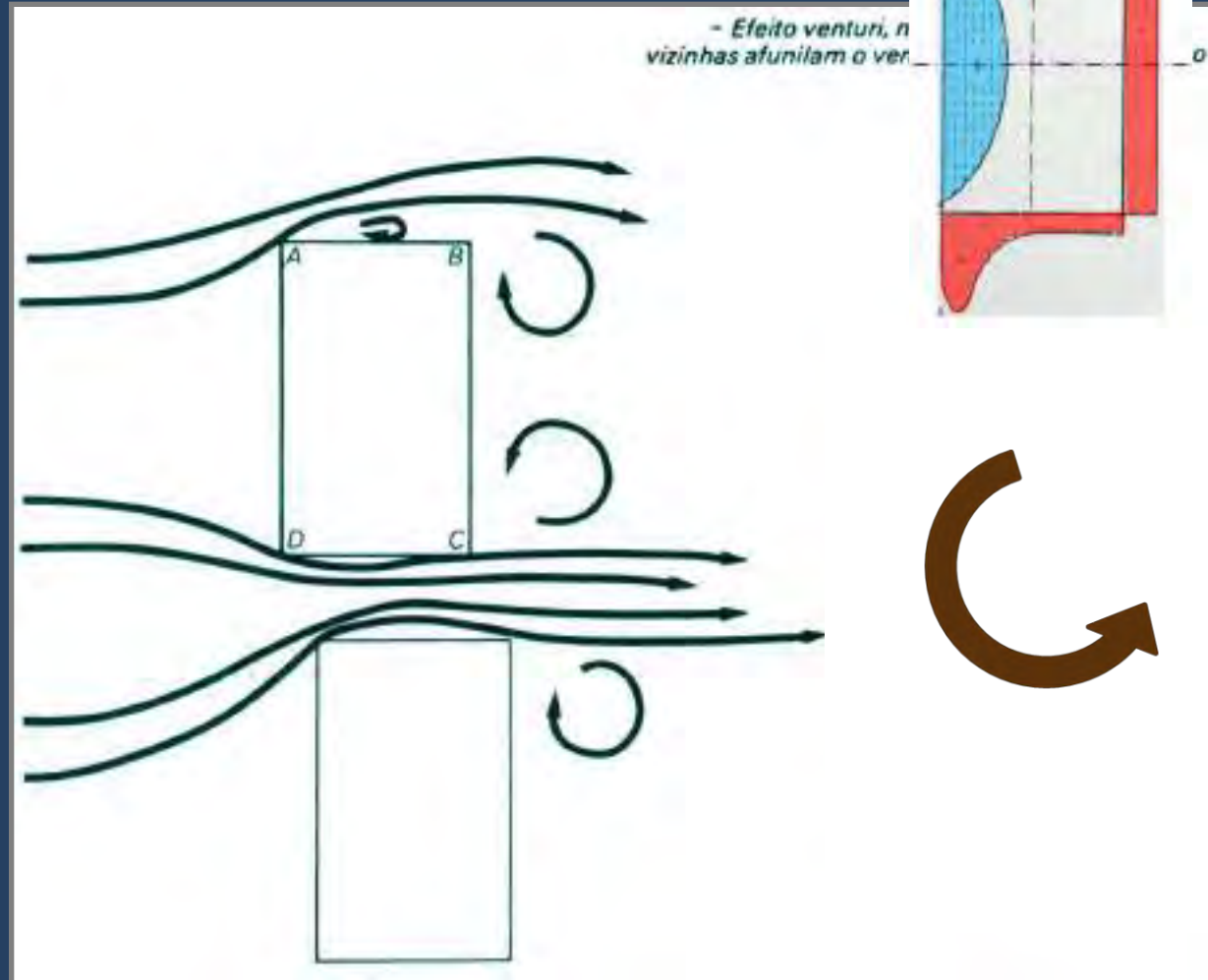
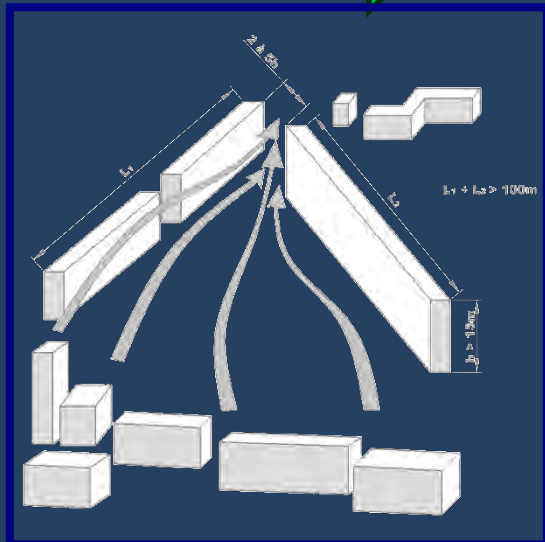
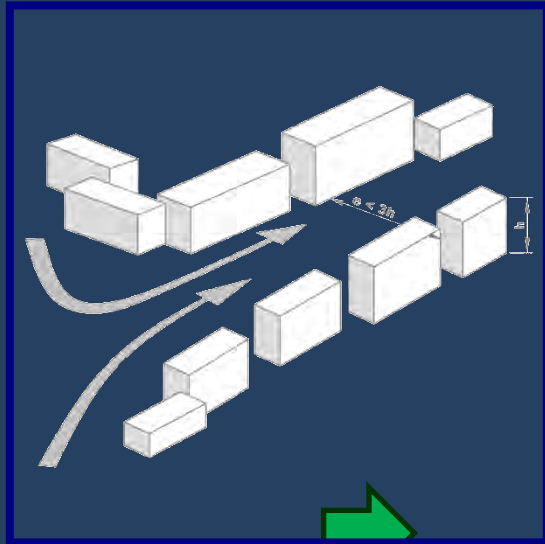




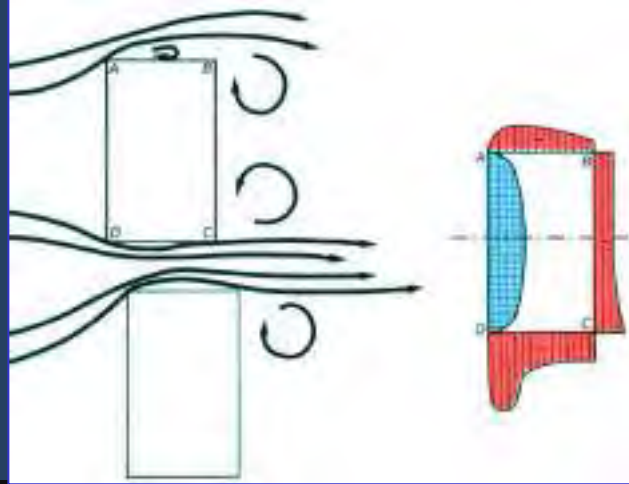




- Efeitos de vizinhança: Efeito Venturi











OR BMX (Parque da Cidade): Concepção inicial do empreendimento.

Glebas A, B e D: Prof. Francisco Graziano (Pasqua & Graziano)

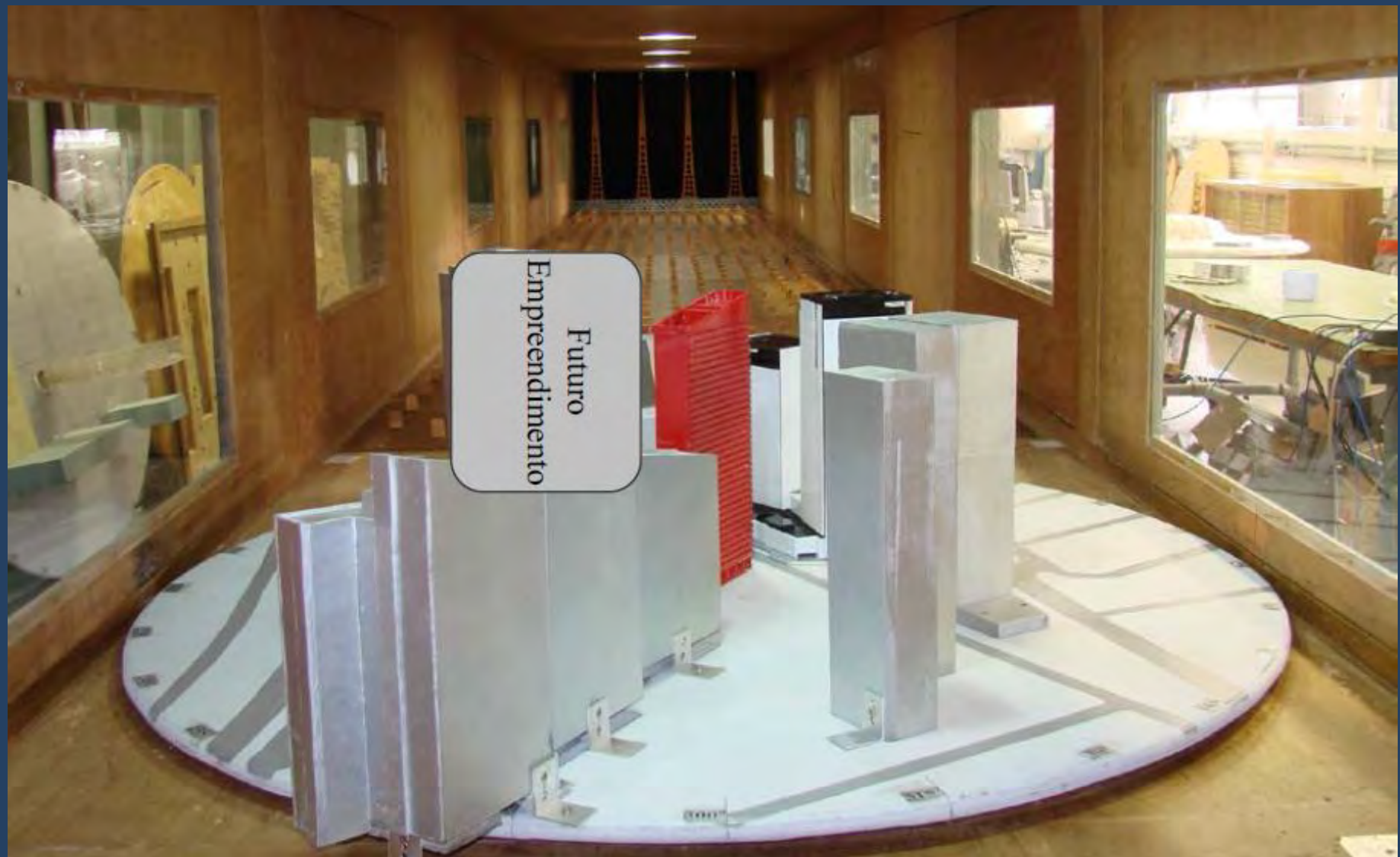
Gleba C: Prof. Ricardo França (França & Associados)



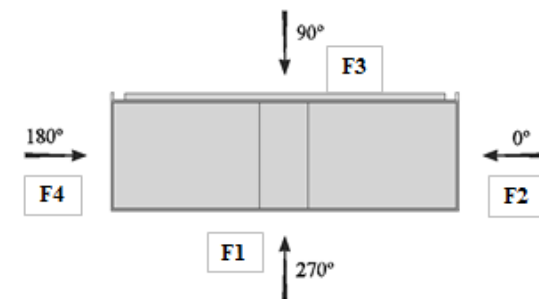
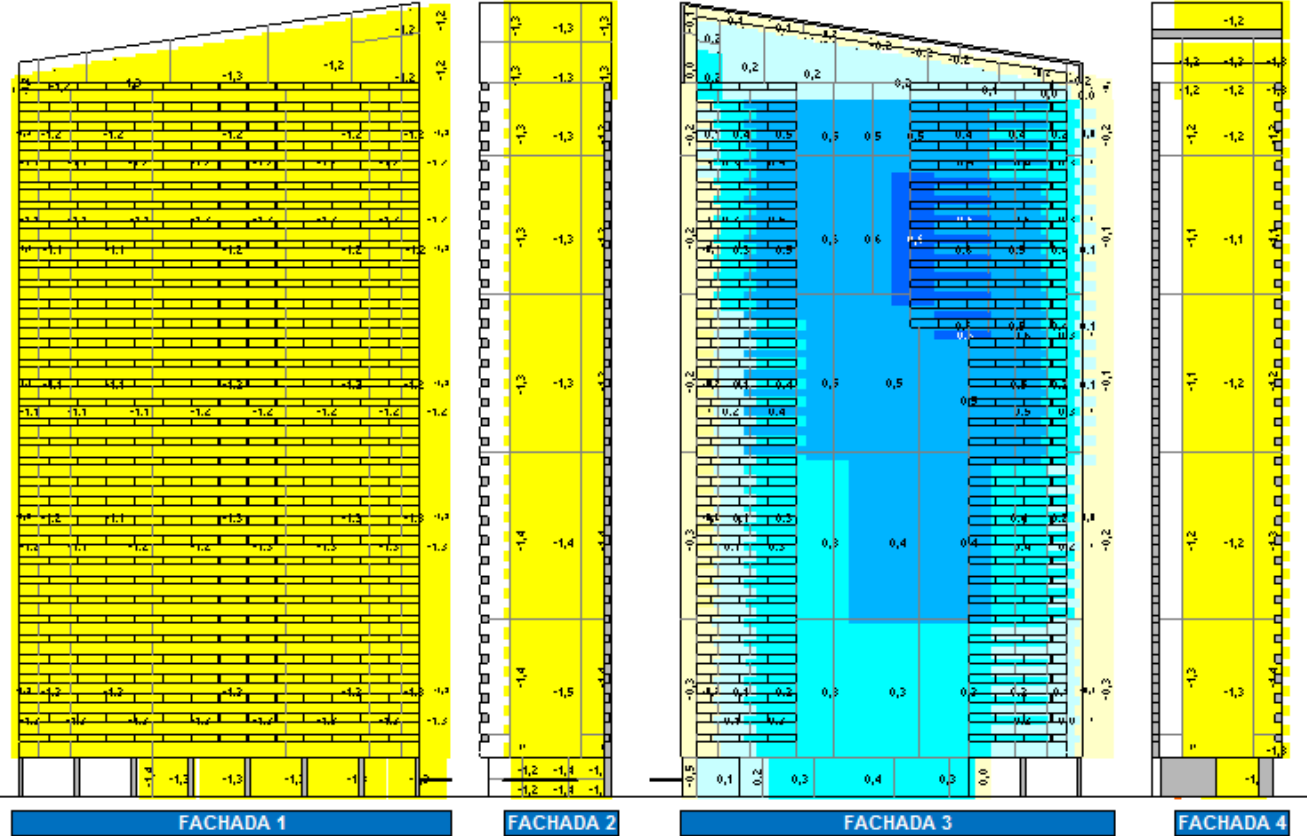
Configuração I: Gleba C



Configuração II: Gleba C + Gleba B



Configuração III: Gleba C + Gleba B + Gleba D + Futuro Empreendimento

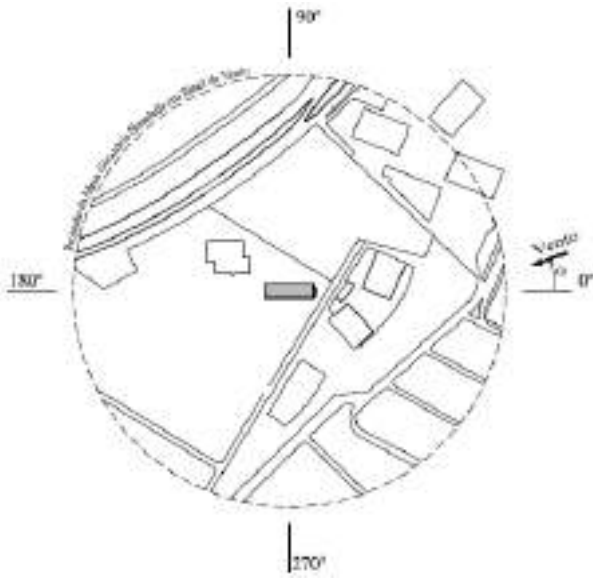


Legenda:

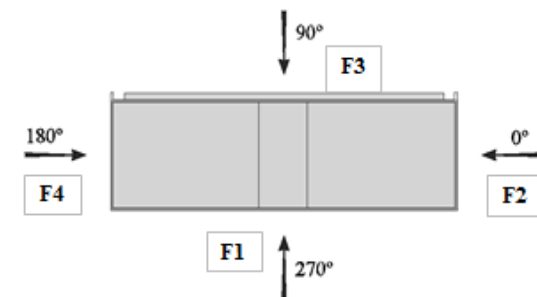
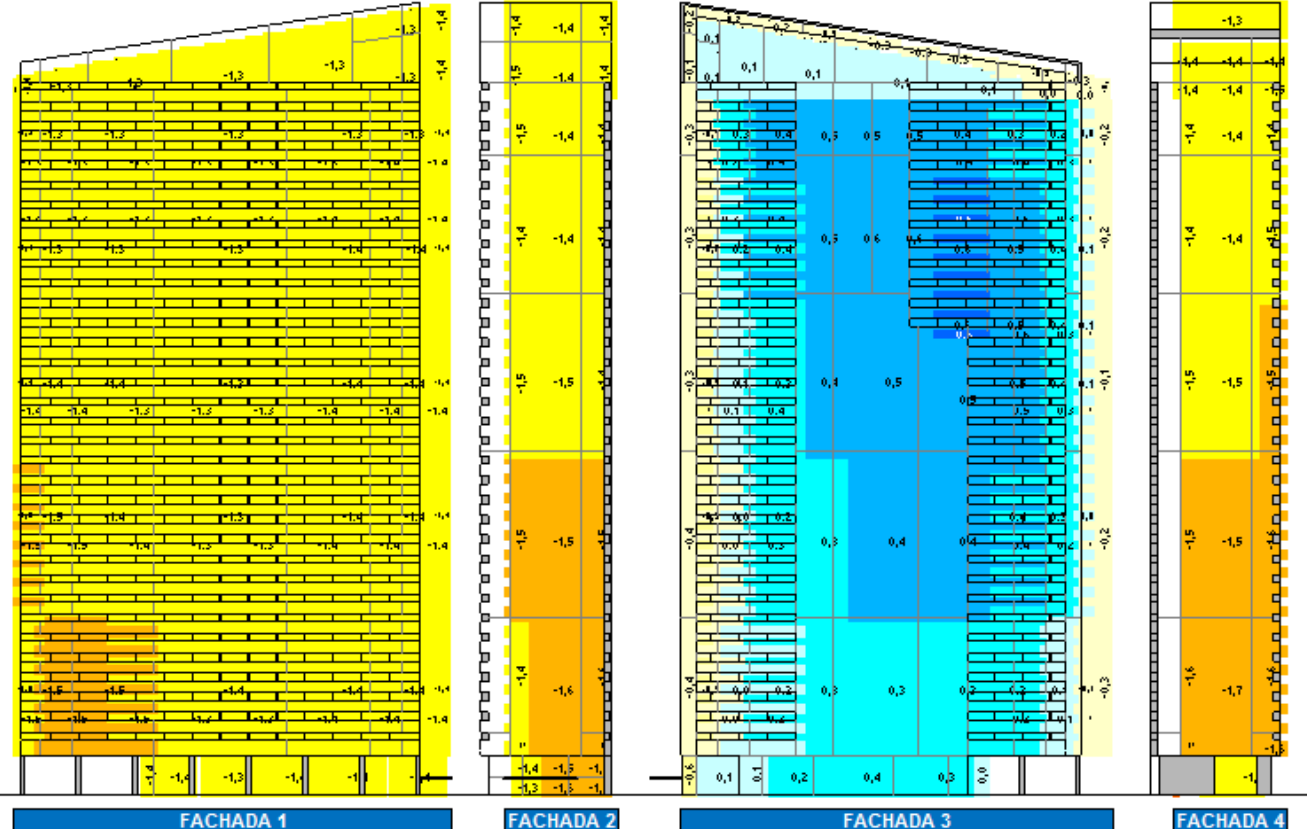
$cp > 1,2$	$cp < -3,5$
$1,0 < cp \leq 1,2$	$-3,0 > cp \geq -3,5$
$0,8 < cp \leq 1,0$	$-2,5 > cp \geq -3,0$
$0,6 < cp \leq 0,8$	$-2,0 > cp \geq -2,5$
$0,4 < cp \leq 0,6$	$-1,5 > cp \geq -2,0$
$0,2 < cp \leq 0,4$	$-1,0 > cp \geq -1,5$
$0,0 < cp \leq 0,2$	$-0,5 > cp \geq -1,0$
$cp = 0,0$	$0,0 > cp \geq -0,5$

Ângulo de incidência do vento

90



Configuração I: Gleba C
Referência para o ângulo de incidência do vento
BMX - Gleba C - Torre 2

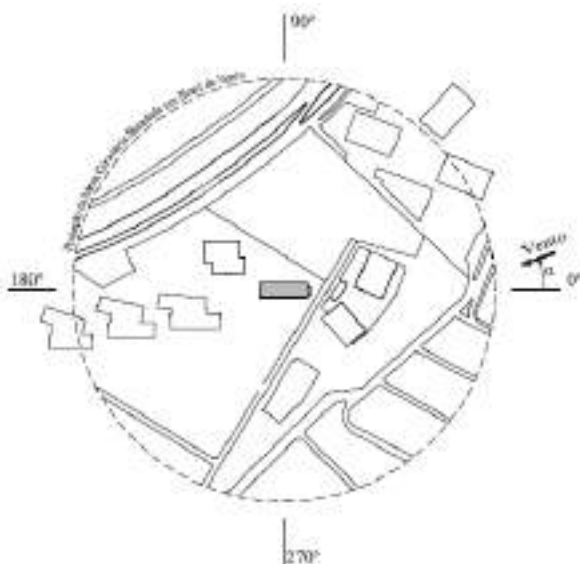


Legenda:

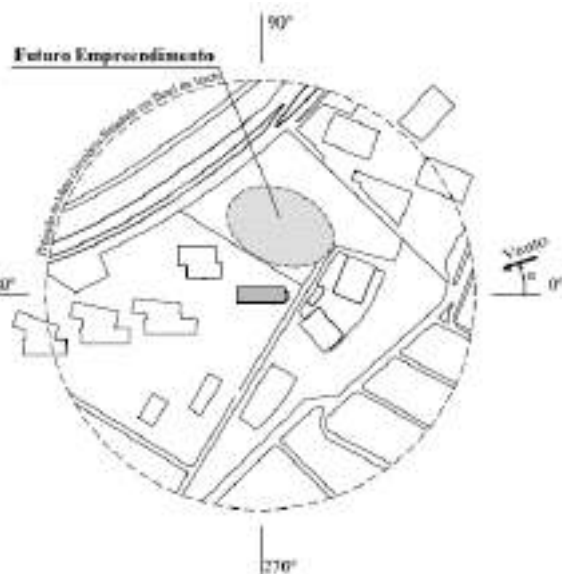
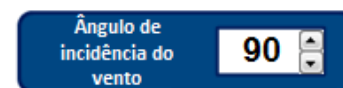
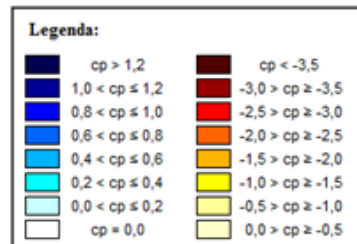
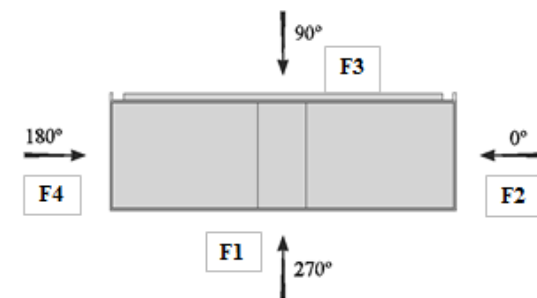
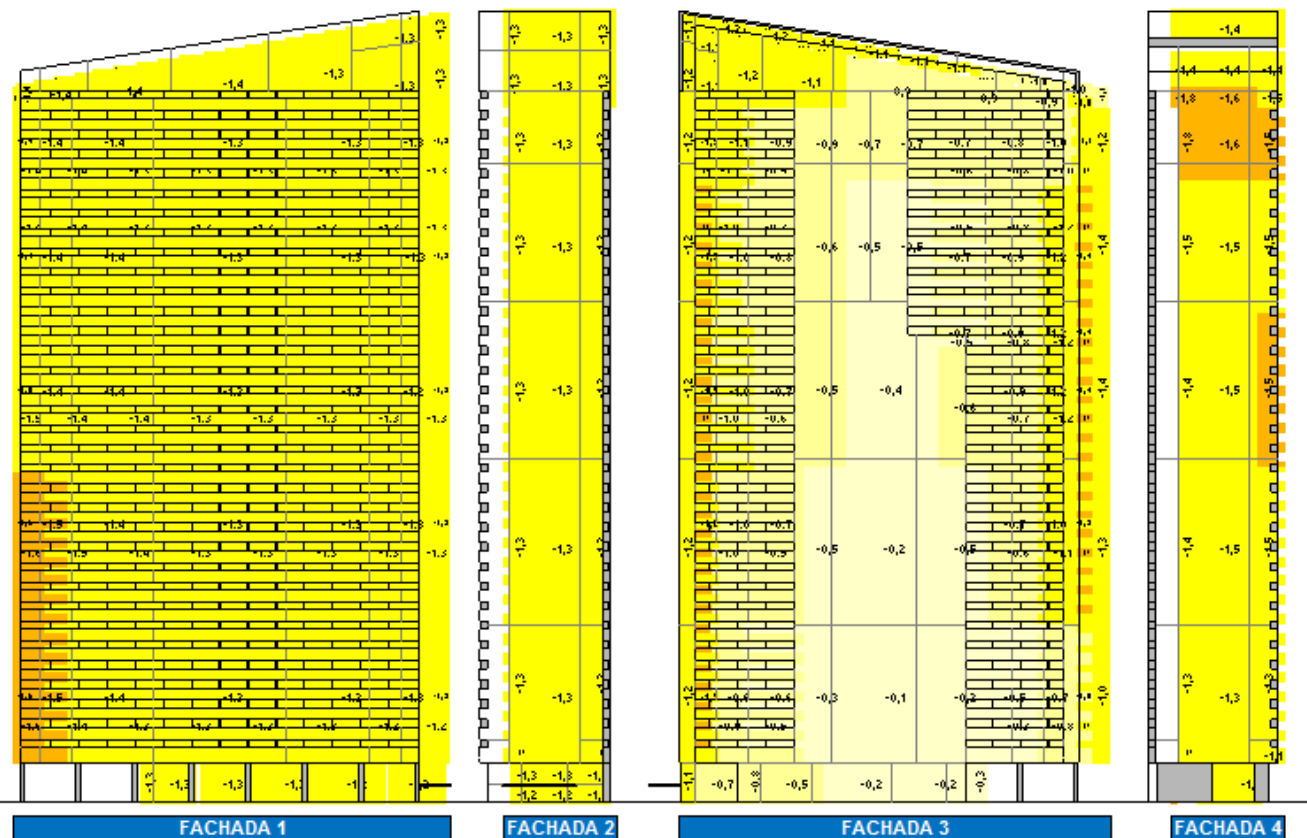
 $cp > 1,2$	 $cp < -3,5$
 $1,0 < cp \leq 1,2$	 $-3,0 > cp \geq -3,5$
 $0,8 < cp \leq 1,0$	 $-2,5 > cp \geq -3,0$
 $0,6 < cp \leq 0,8$	 $-2,0 > cp \geq -2,5$
 $0,4 < cp \leq 0,6$	 $-1,5 > cp \geq -2,0$
 $0,2 < cp \leq 0,4$	 $-1,0 > cp \geq -1,5$
 $0,0 < cp \leq 0,2$	 $-0,5 > cp \geq -1,0$
 $cp = 0,0$	 $0,0 > cp \geq -0,5$

Ângulo de incidência do vento

90



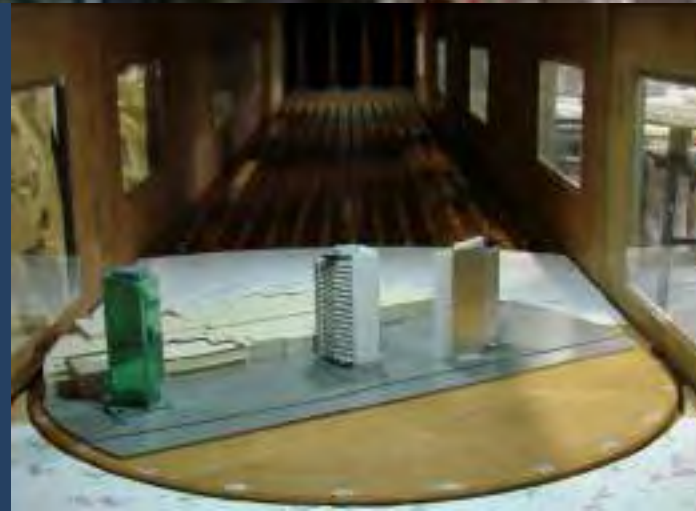
Configuração II: Gleba B + Gleba C
Referência para o ângulo de incidência do vento
BMX - Gleba C - Torre 2



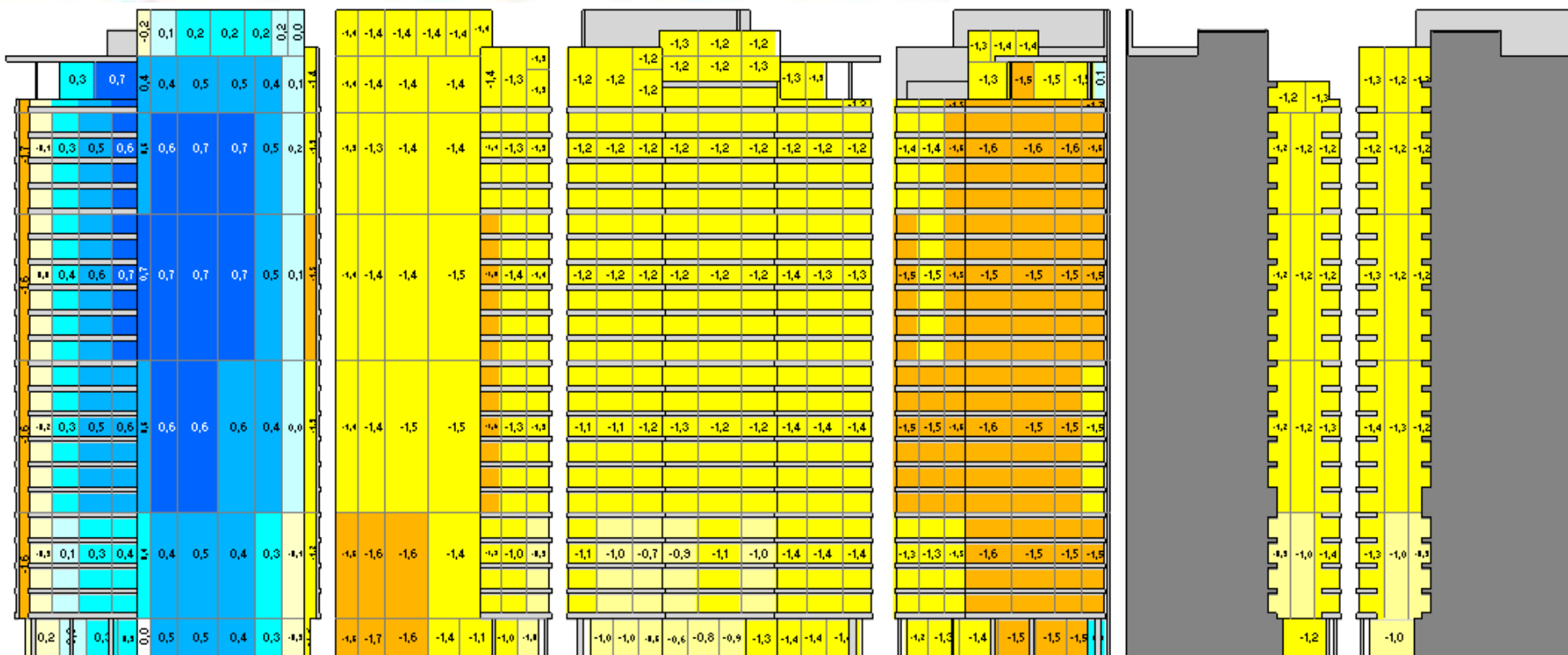
Configuração III: Gleba B + Gleba C + Gleba D + Futuro Empreendimento
Referência para o ângulo de incidência do vento
BMX - Gleba C - Torre 2



Multiplan - Barra Shopping Sul
Porto Alegre - RS

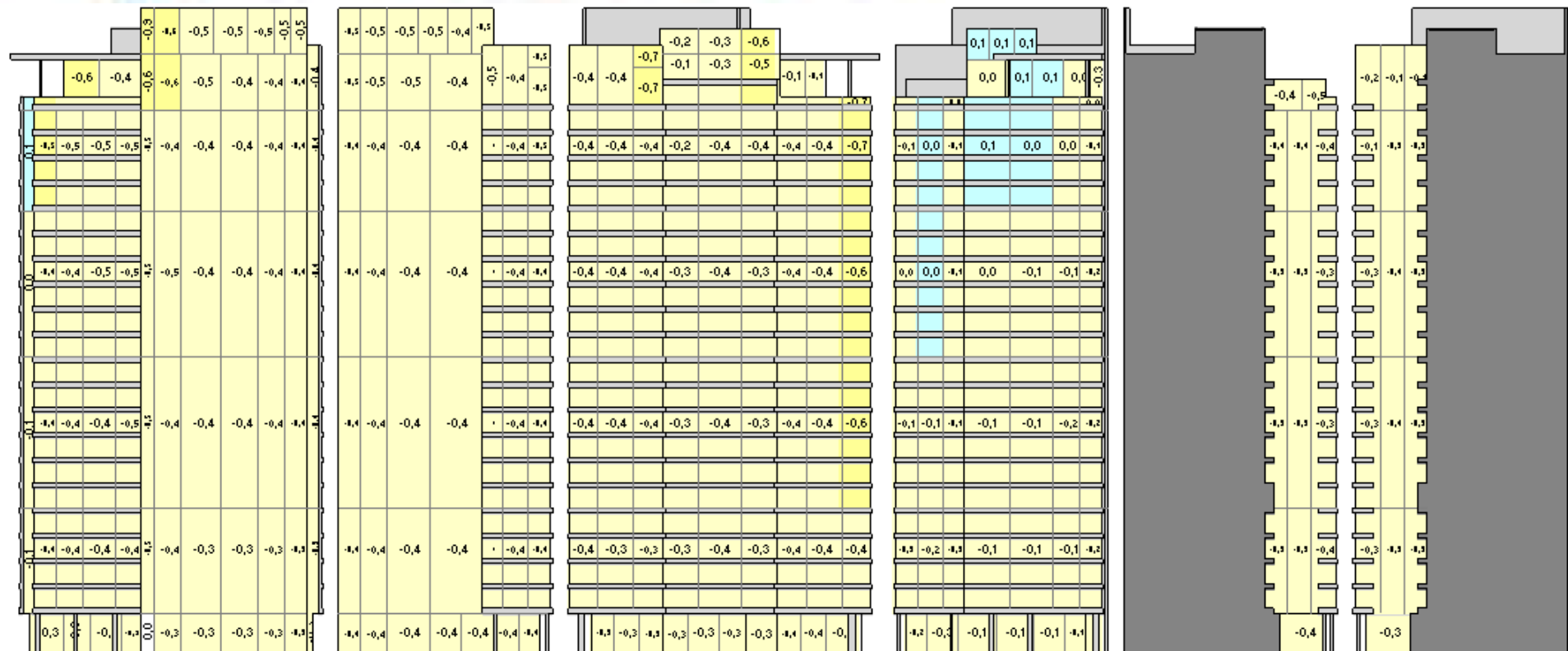


Multiplan - Barra Shopping Sul, Porto Alegre - RS



Coeficientes de pressão médios

Multiplan - Barra Shopping Sul, Porto Alegre - RS



Coeficientes de pressão médios

- **Efeitos de vizinhança**



4.3.3 Coeficientes de força

A força global do vento sobre uma edificação ou parte dela, F_g , é obtida pela soma vetorial das forças que aí atuam, e é expressa de forma geral como especificado em 4.1.

A componente da força global na direção do vento, força de arrasto F_a , é obtida por:

$$F_a = q C_a A_e f_v$$

onde

C_a é o coeficiente de arrasto;

A_e é a área frontal efetiva: área de projeção ortogonal da edificação, estrutura, elemento estrutural ou componente sobre um plano perpendicular à direção do vento ("área de sombra"), e

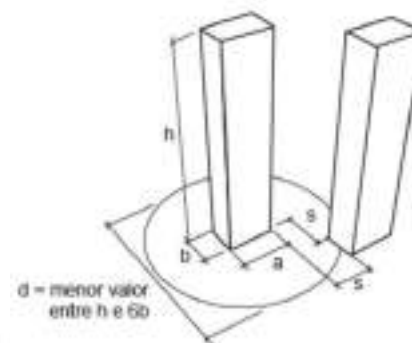
f_v é o fator de vizinhança, especificado em 6.4.

O fator de vizinhança f_v é definido por:

$$f_v = \frac{C \text{ na edificação com vizinhança}}{C \text{ na edificação isolada}}$$

onde

C é o coeficiente aerodinâmico em estudo (C_e , $c_{pe \text{ médio}}$, C_a).



Os efeitos de vizinhança no coeficiente de torção, C_M , são considerados em 6.1.4. Sendo assim, não é necessário aplicar o fator f_v no cálculo do momento torçor.

Valores representativos de f_v aplicáveis a duas edificações altas vizinhas são dados a seguir como indicação aproximada dos aumentos que podem sofrer os coeficientes aerodinâmicos por efeitos de vizinhança:

- para coeficiente de arrasto C_a (ver as Figuras 4 e 5), para coeficiente de forma, C_e , e para valor médio do coeficiente de pressão, $c_{pe \text{ médio}}$, em paredes confrontantes (faces paralelas ao vento na Tabela 6):

$$s / d^* \leq 1,0 \quad f_v = 1,3$$

$$s / d^* \geq 3,0 \quad f_v = 1,0$$

Infinity Coast Tower
235 m

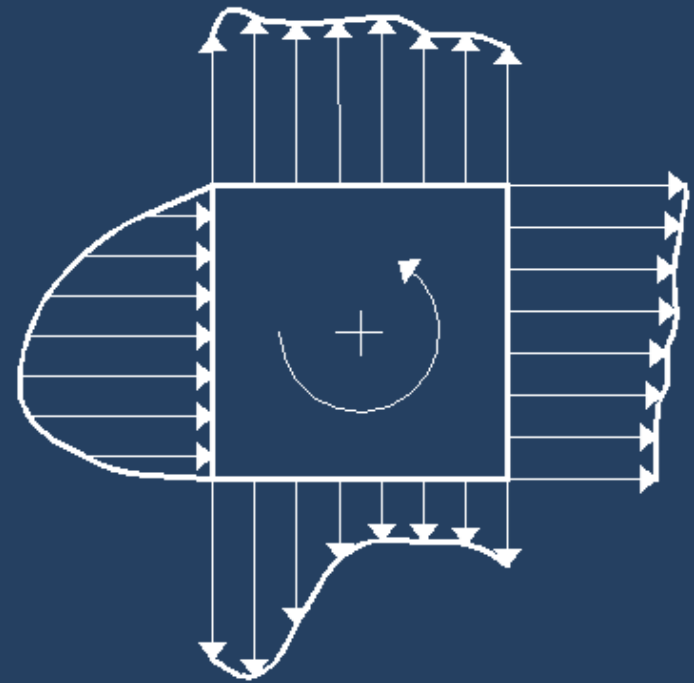
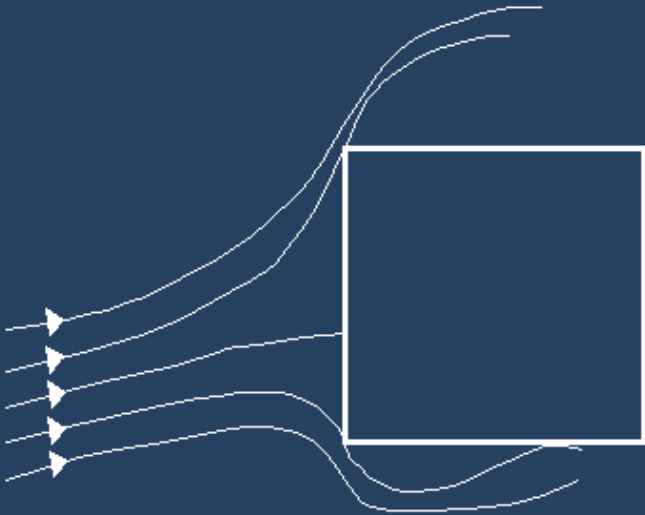


Influência da topografia



- Incidência do Vento
- Assimetria Estrutural

→ TORÇÃO



Edifício John Hancock, Boston



NBR-6123

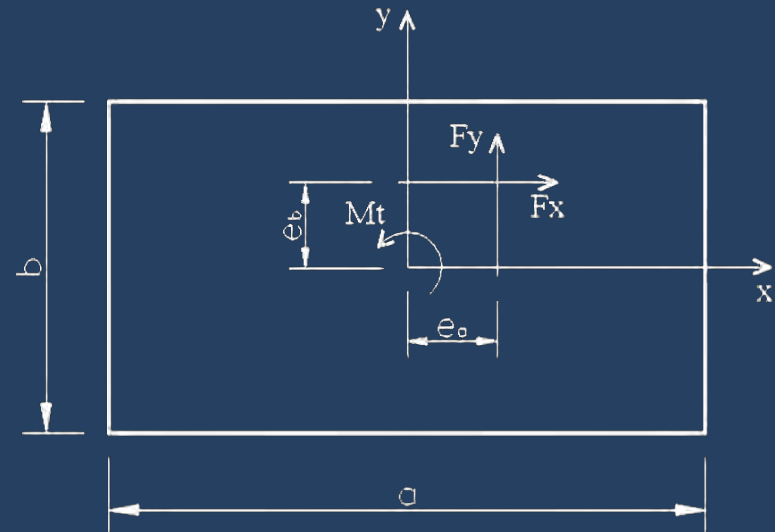
A torção é calculada considerando as seguintes excentricidades, em relação ao eixo vertical geométrico:

- edificação sem efeitos de vizinhança:

$$e_a = 0,075 a \quad \text{e} \quad e_b = 0,075 b$$

- edificações com efeito de vizinhança:

$$e_a = 0,15 a \quad \text{e} \quad e_b = 0,15 b$$





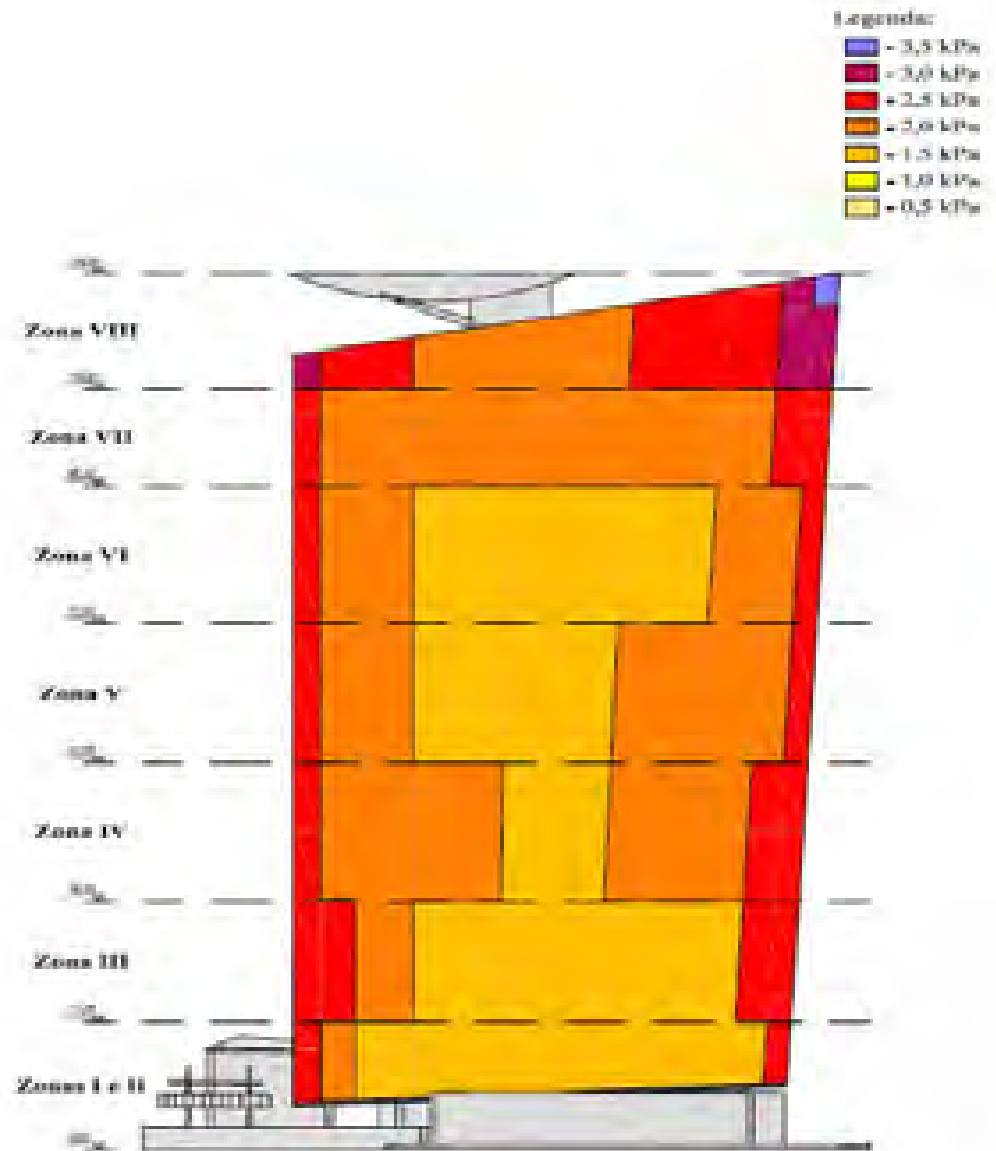
YUNY – Leopoldo Green

Dimensionamento das Fachadas:

Diagrama de blocos /

Envoltória das Sucções Máximas (Pressões Mínimas)

Independente da
Incidência do
Vento →



Fachada 1 - Leopoldo Green

Diagramas de blocos indicando a envoltória das pressões externas mínimas para um período de retorno de 50 anos (ver item 6.3).

As pressões apresentadas não consideram o efeito das pressões internas. Estimase que as pressões acima possam sofrer acréscimos de até 1,5 kPa.



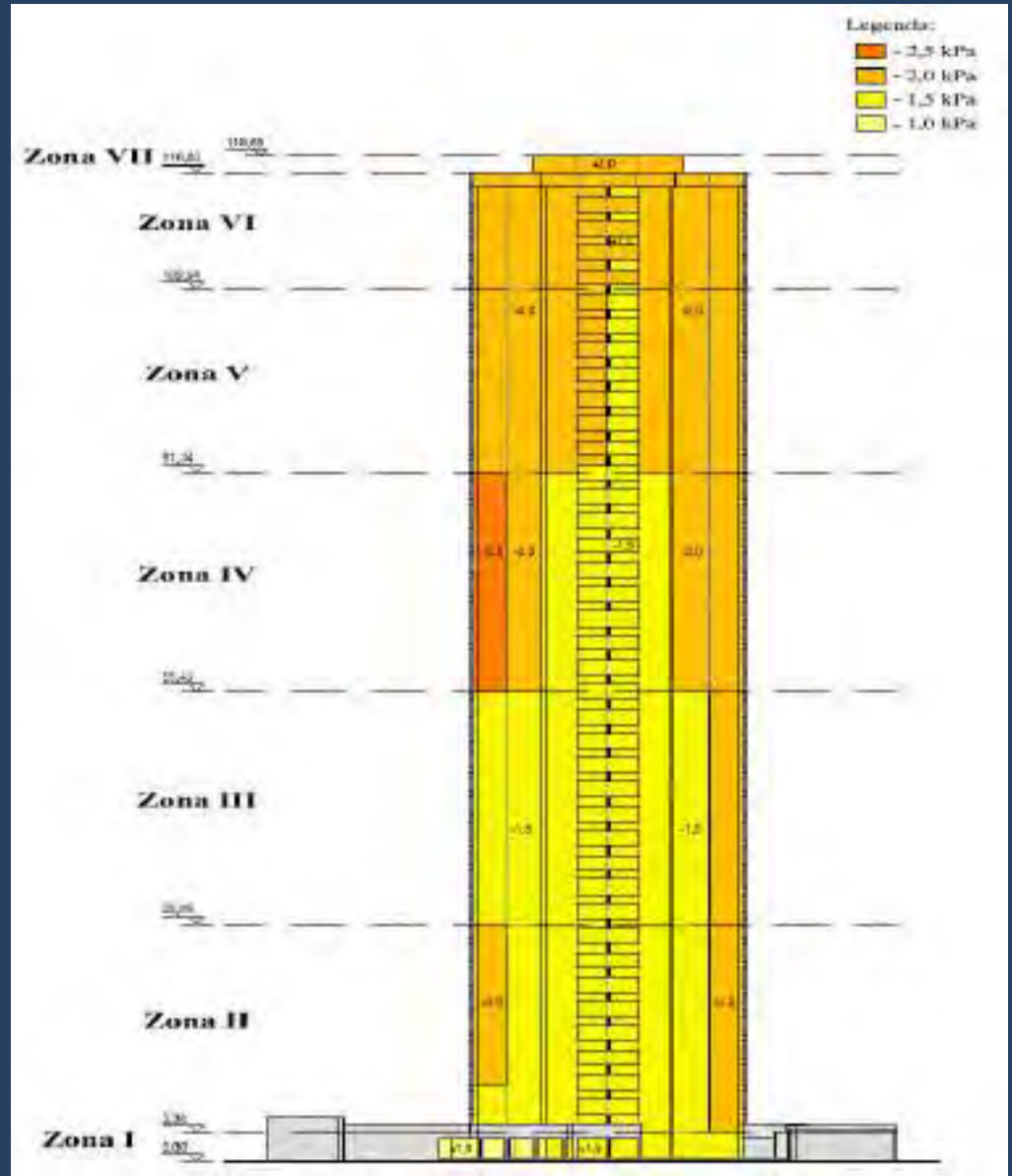
Edifício Giulia Piori – Recife, PE

Construtora: L.Piori Ind. e Com. Ltda.

Projetista Estrutural: Eng. João Asfura Nassar,
Nassar Engenharia Estrutural



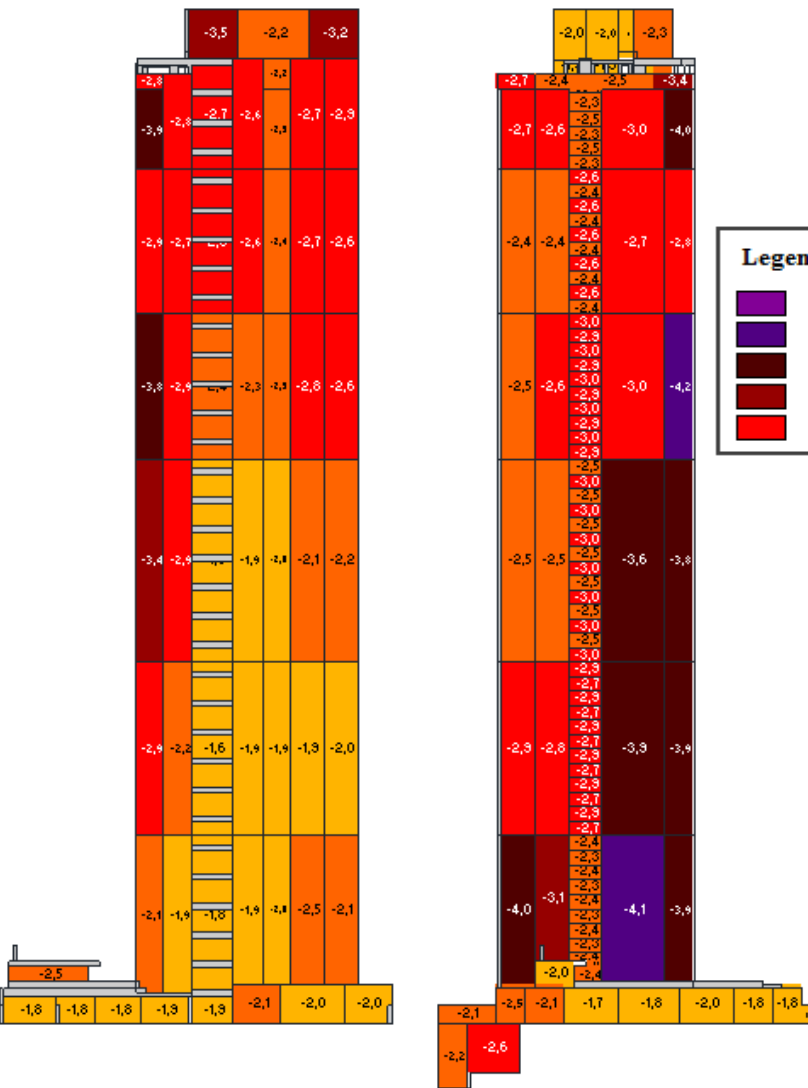
Giulia Priori, Recife/PE



Winter

Mirador Residence

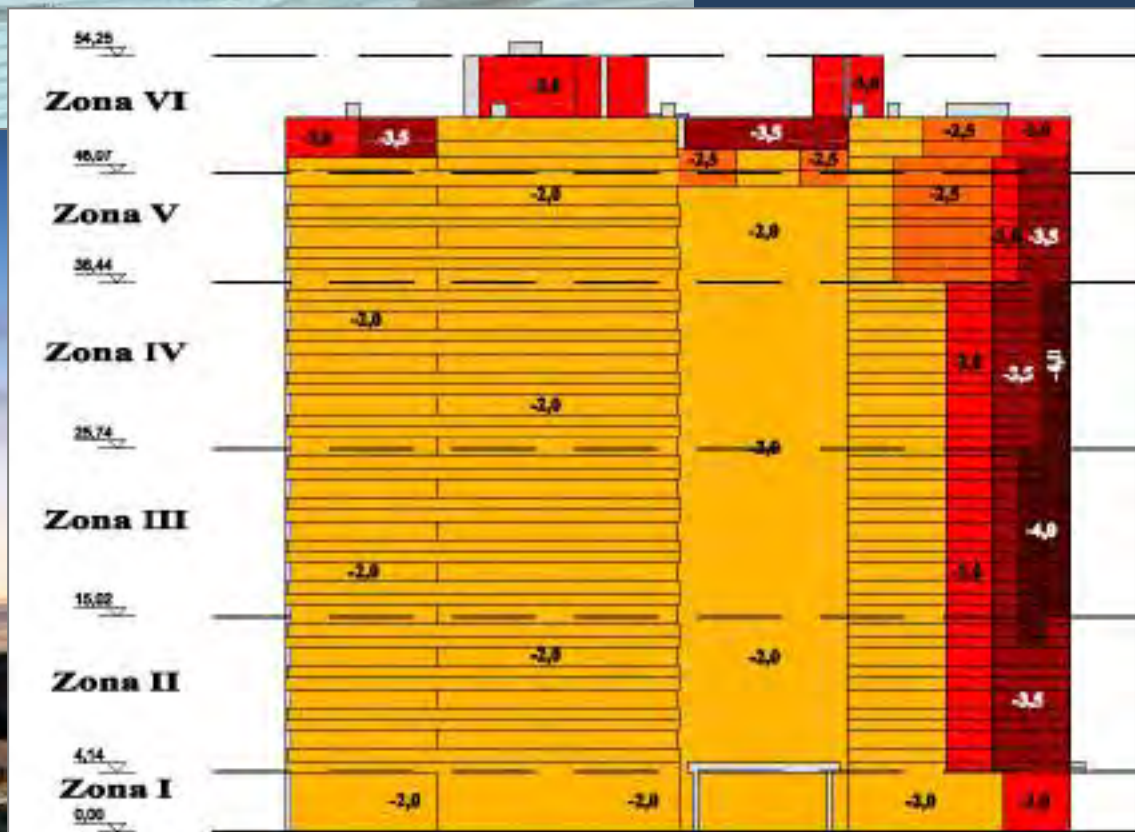
Novo Hamburgo, RS



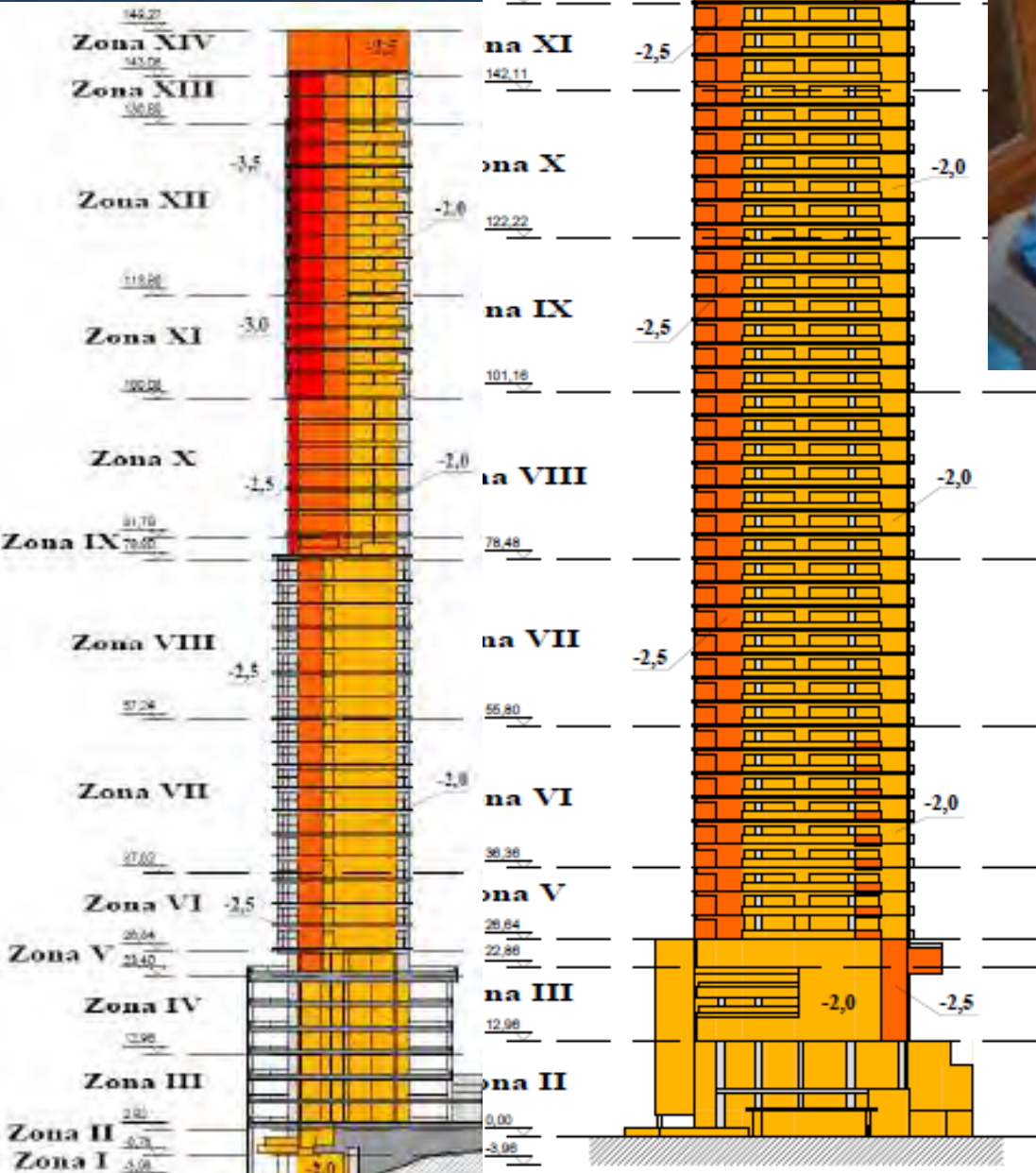
CFL

Germânia

Porto Alegre, RS

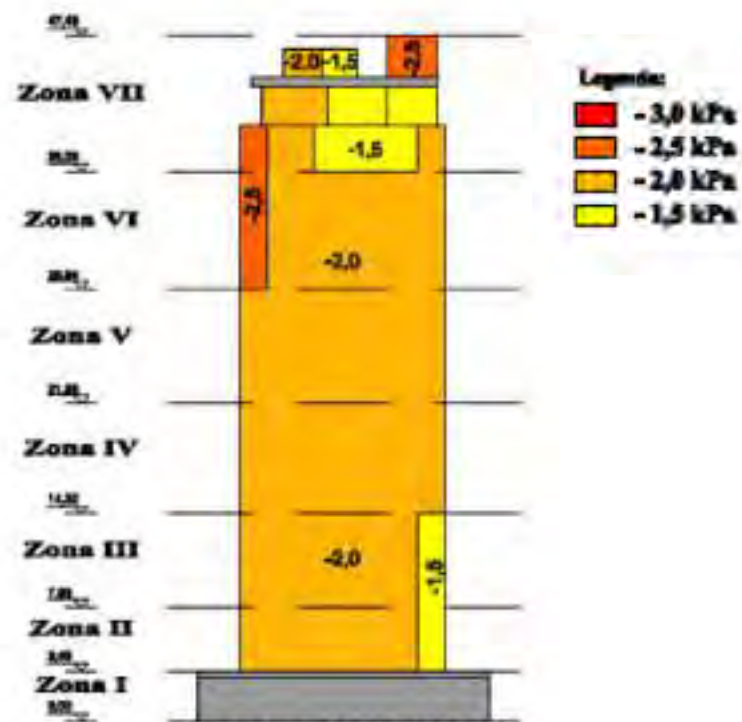
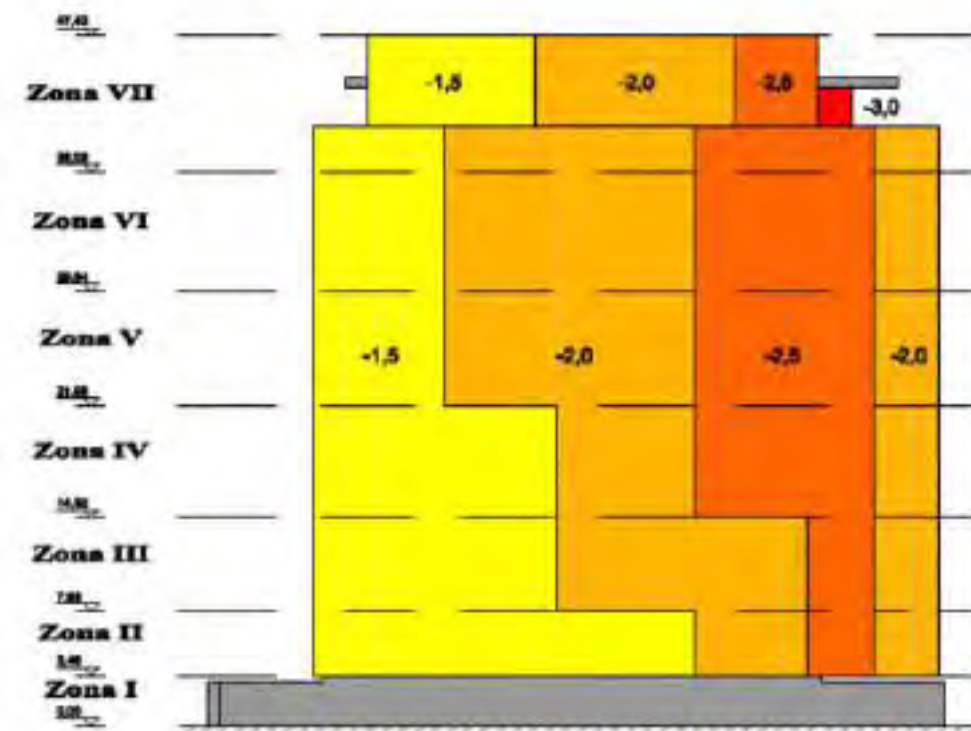


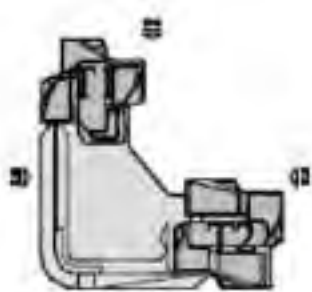
WV Maldi Promenade Goiânia, GO



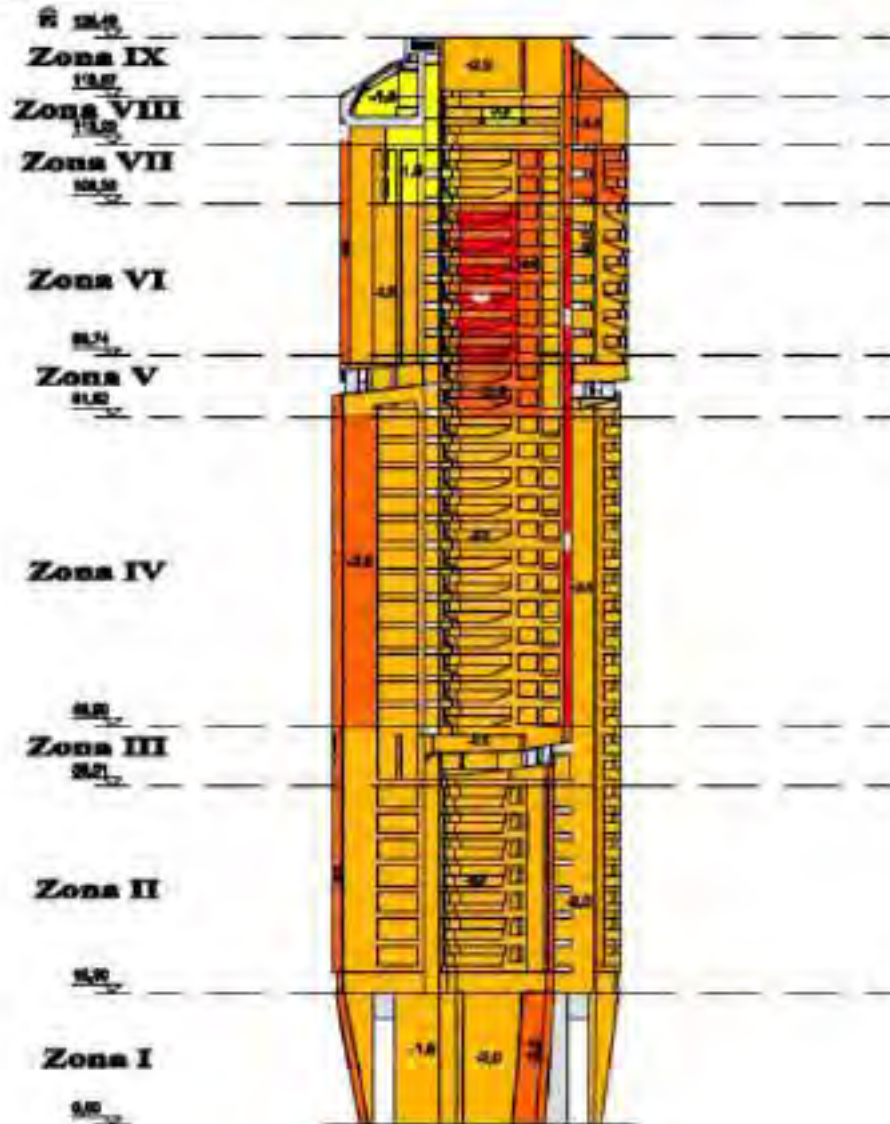


IMS Sede SP

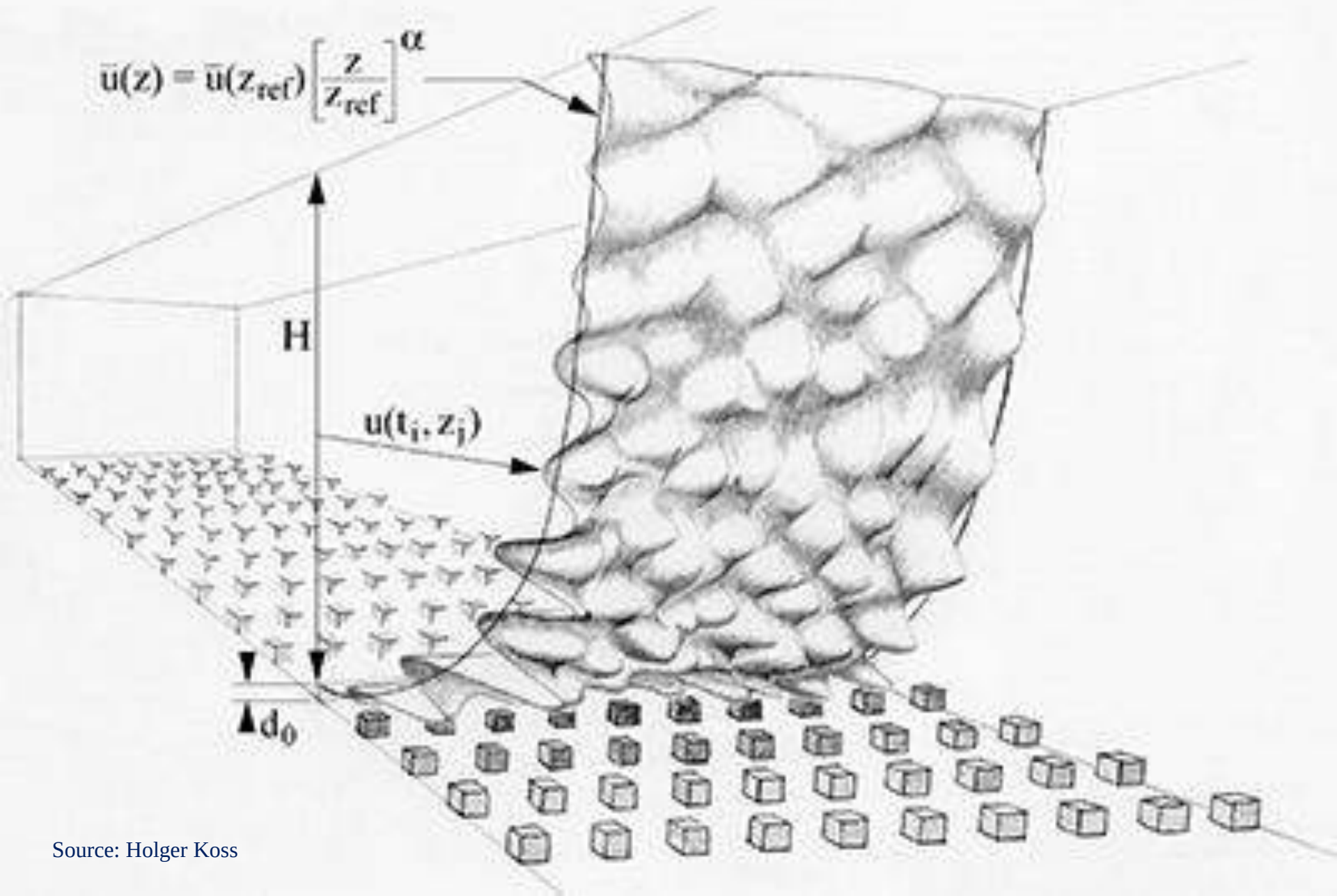




EZTec Parque da Cidade São Paulo, SP

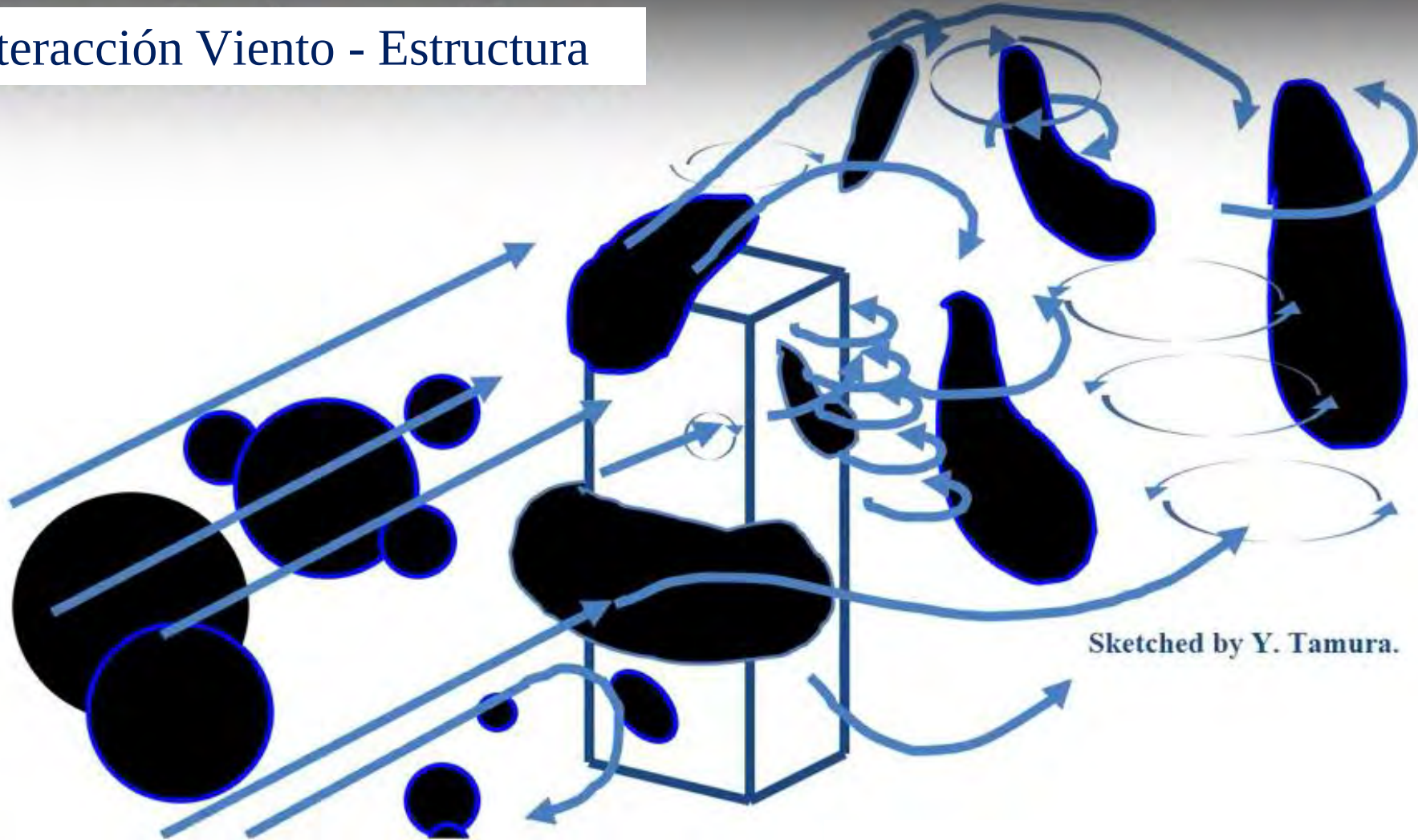


Simulación en Túnel de Viento de Capa Límite

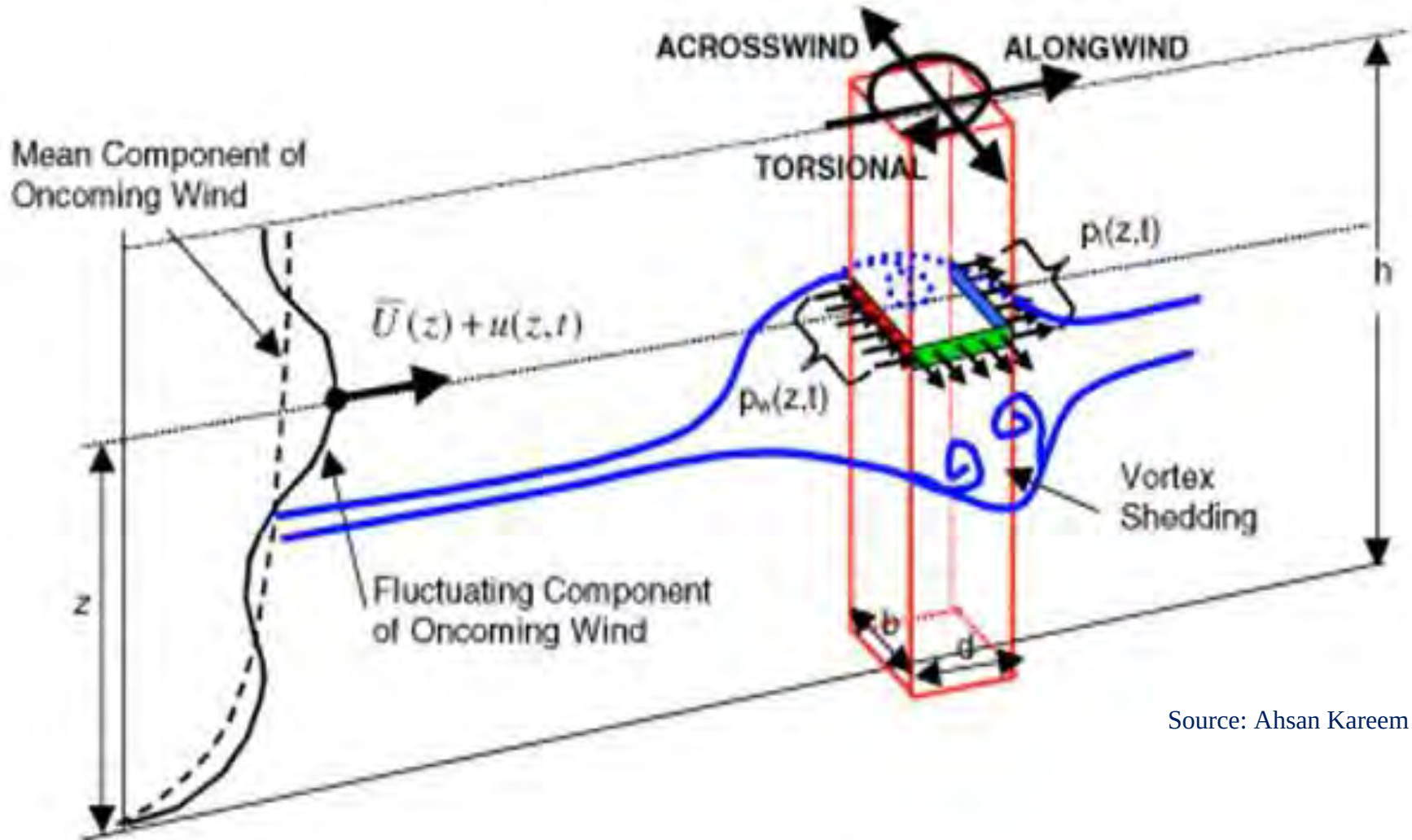


Efectos de la turbulencia en edificaciones

Interacción Viento - Estructura



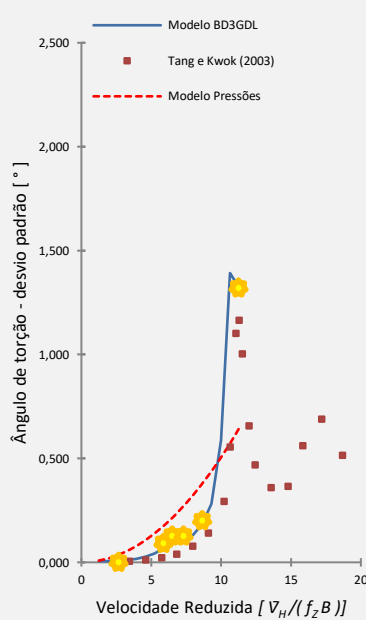
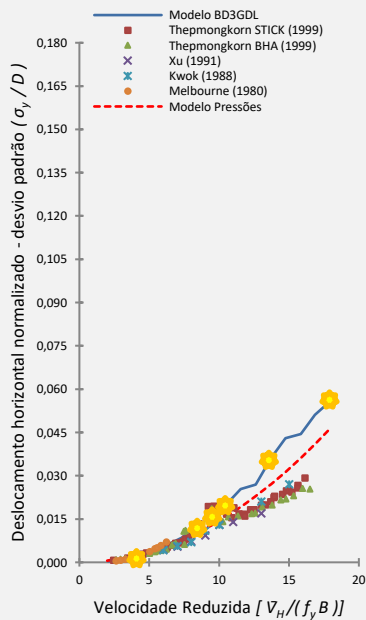
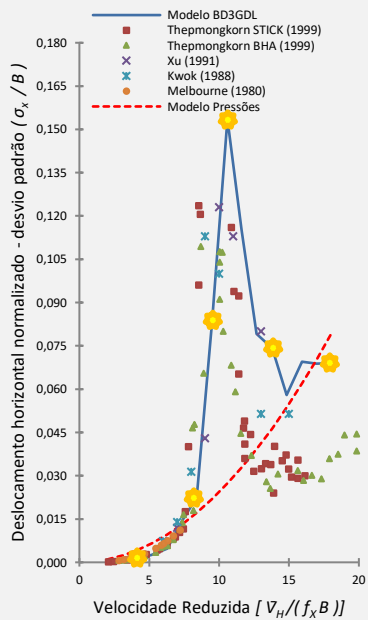
Ação do vento em edifícios



Source: Ahsan Kareem

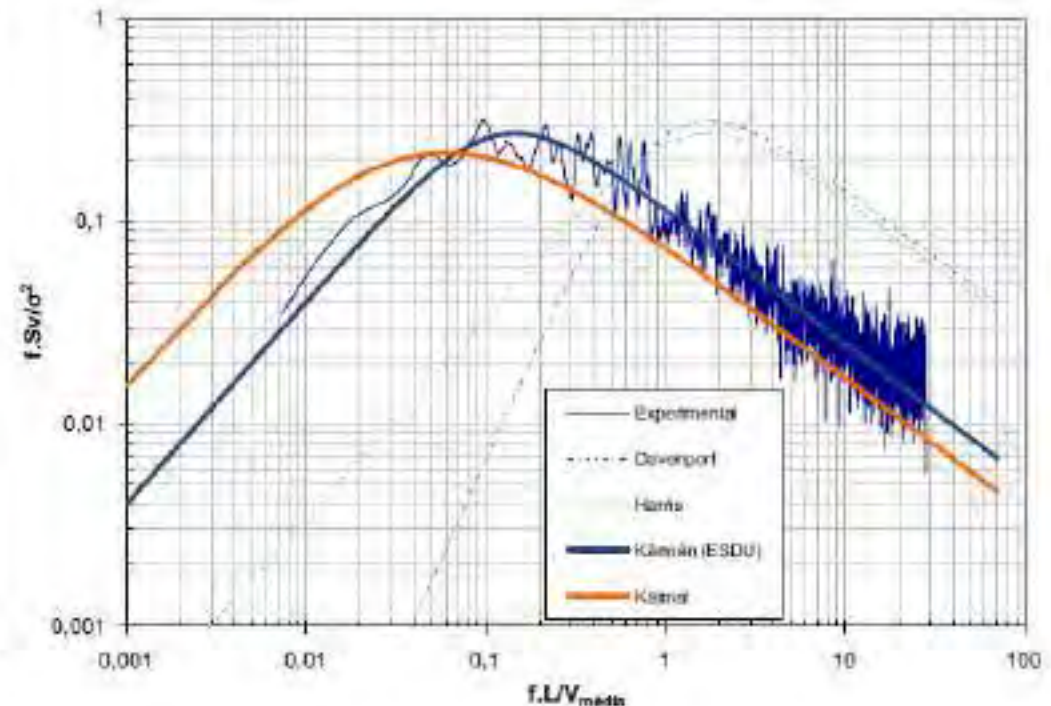
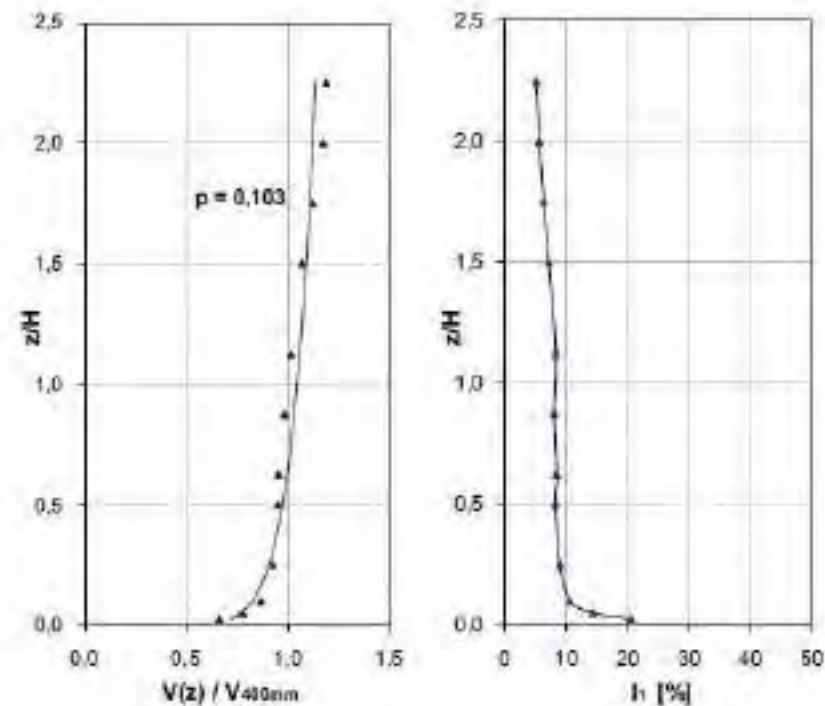
DYNAMIC TESTS - CAARC BUILDING

Wind on Larger Face



Características de um vento simulado sobre uma grande extensão de água no Túnel de Vento de Camada Limite

Prof. Joaquim Blessmann do LAC / UFRGS

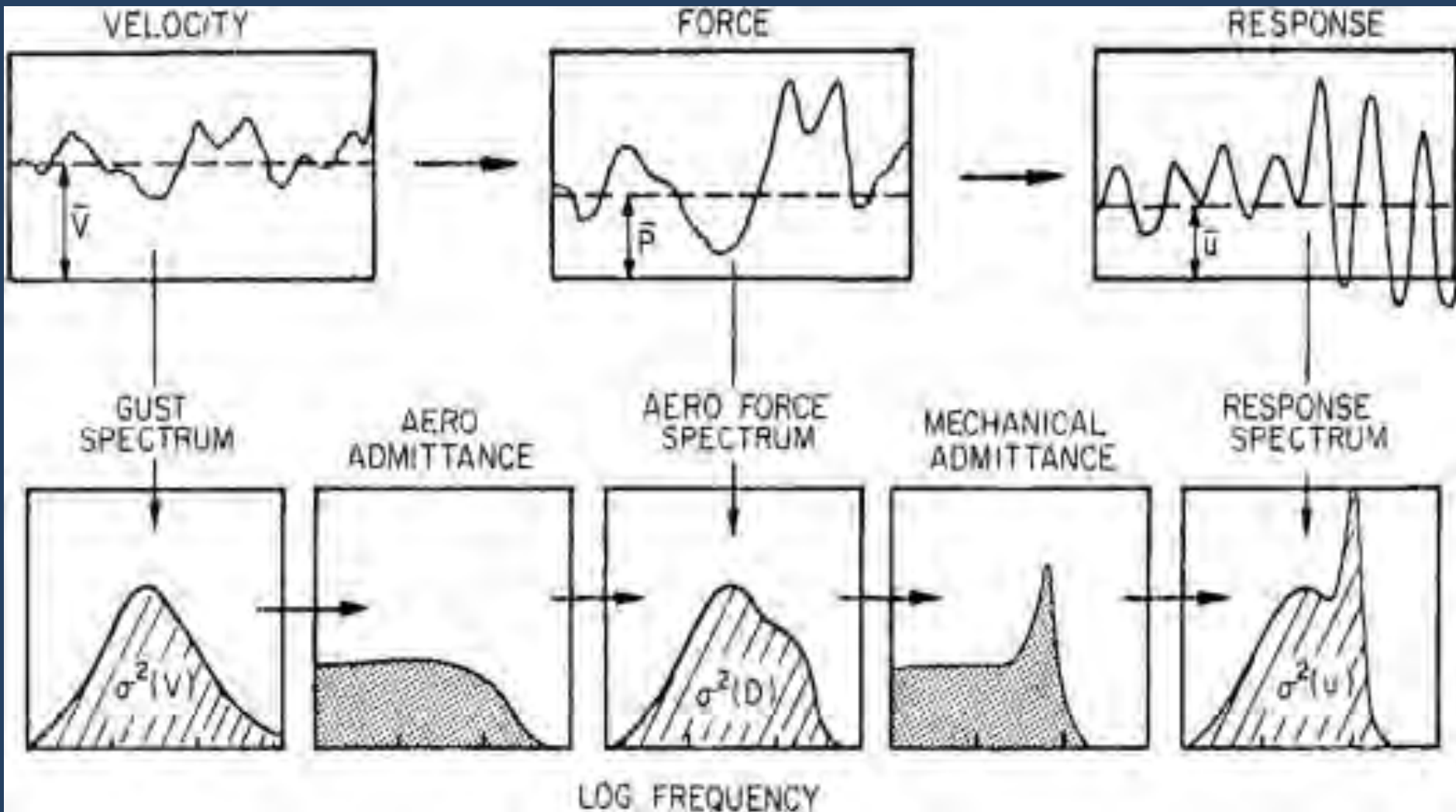


Perfil Vertical
de Velocidades
Médias

Perfil Vertical
da Intensidade
da Turbulência

Espectro de Potência da
Componente Longitudinal
da Turbulência

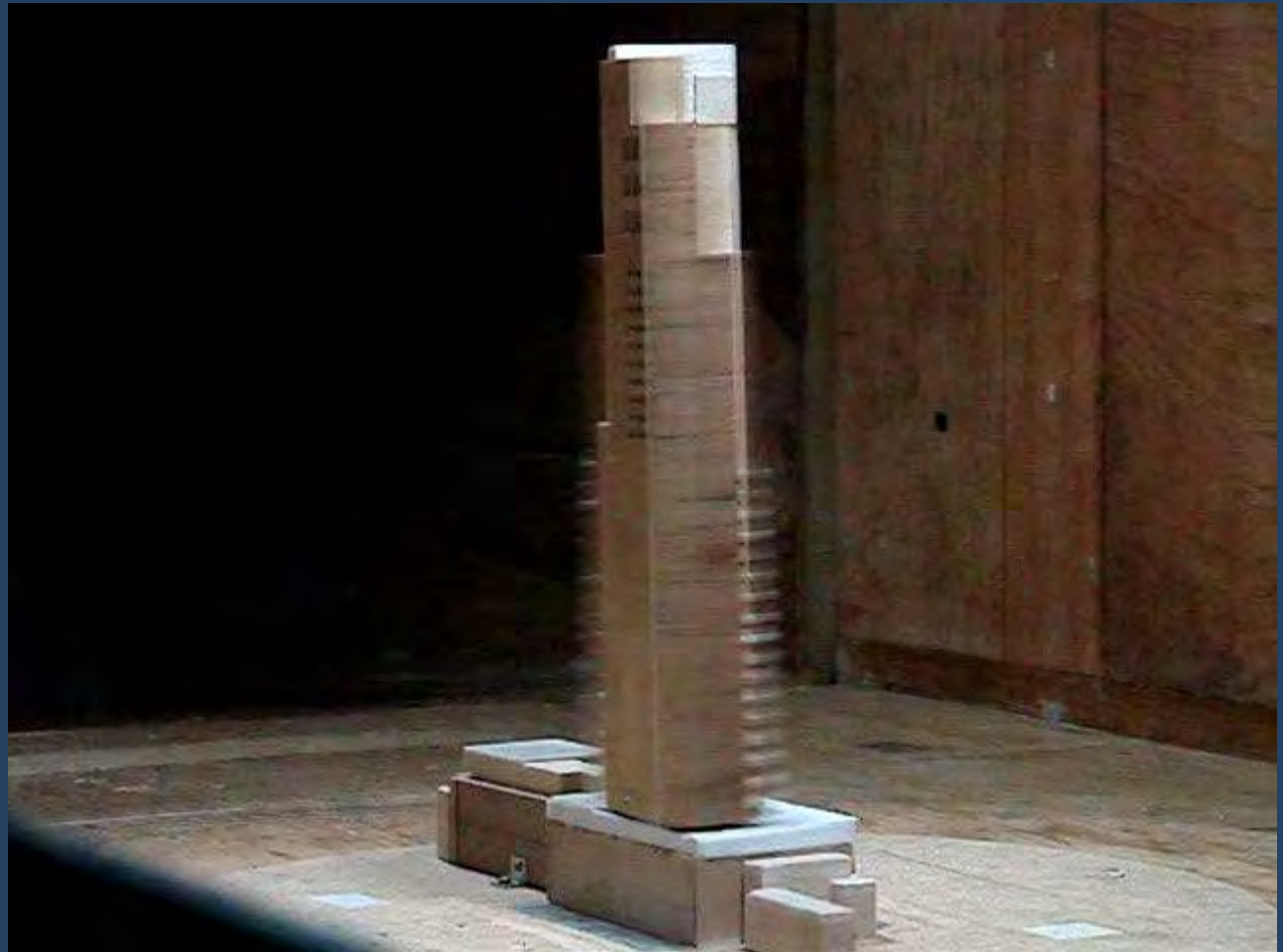
Davenport's approach for determining the wind-induced resonant response of buildings and structures.



Torre Comendador Araújo / Universe Life Square Rossi / Thá – Curitiba



Aeroelastic tests – LAC/UFRGS



Aeroelastic tests – LAC/UFRGS

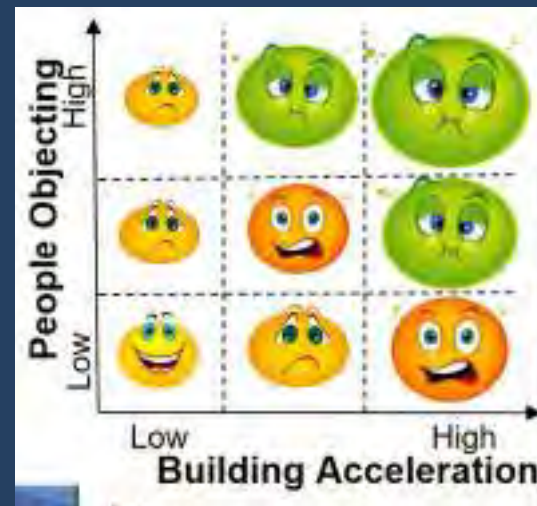


Infinity Coast Tower
235 m



Influencia de la topografia





Balneário Camboriú, SC
Agosto 2025



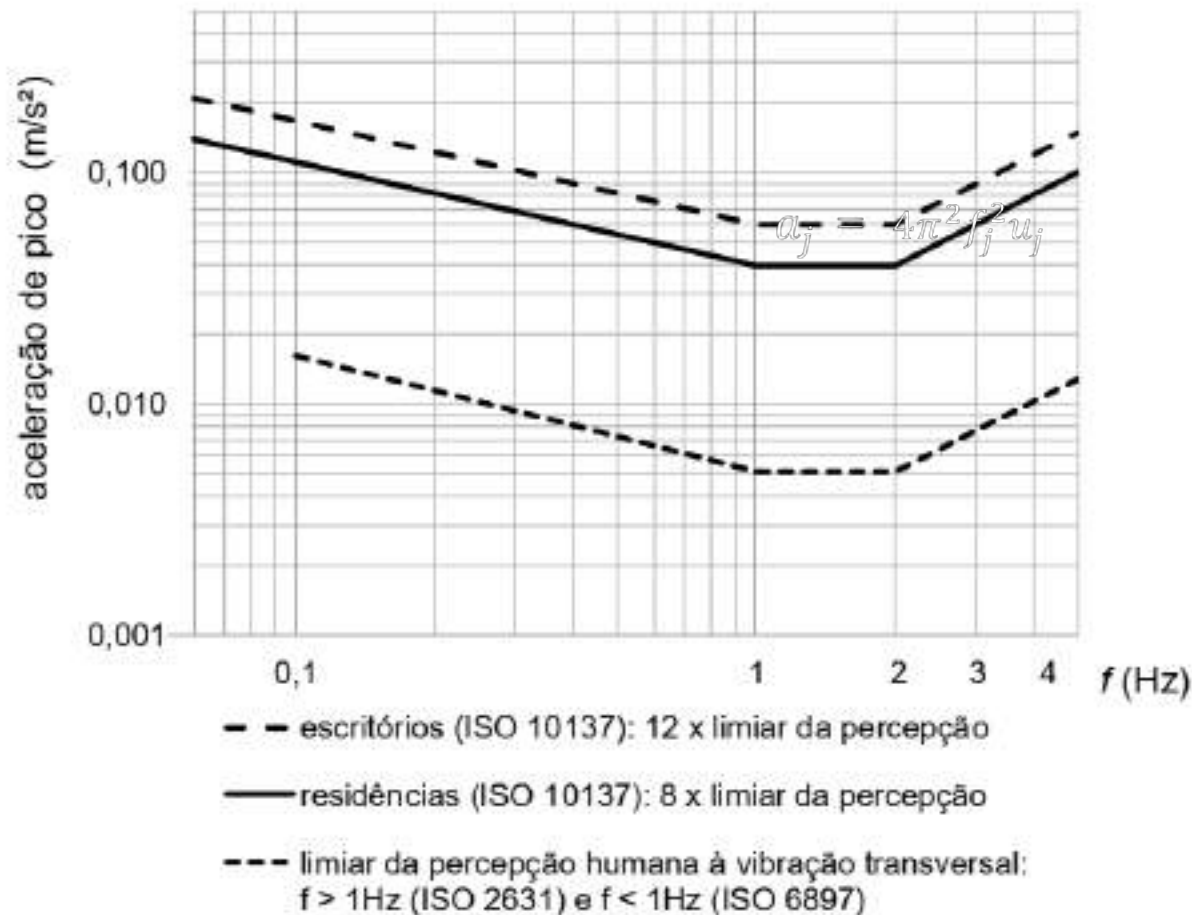
📍 Balneario Camboriu, SC, Brazil

**Bom dia pra quem acorda no 40
andar com tudo balançando e
atacando Labirintite**

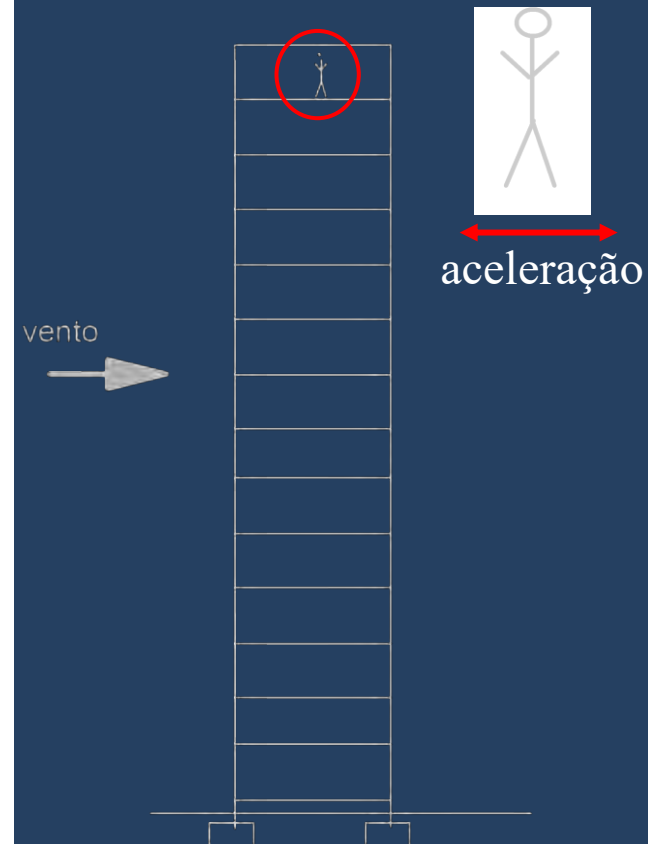
9.6 Avaliação do conforto humano em edifícios $\rightarrow a_j = 4\pi^2 f_j^2 u_j \rightarrow a_{max} \leq a_{lim}$

-- NBR-6123 (1988): $a_{lim} = 0,1 \text{ m/s}^2$; **10 anos**.

-- NBR-6123 (2023): A aceleração máxima a_j deve ser obtida para ação de vento com velocidade de projeto calculada com $S3$ igual a 0,54 (período de recorrência de **1 ano**).



Flexão lateral da estrutura



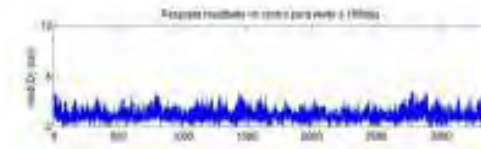
9.6.3 Considerações gerais

As seguintes considerações são aplicáveis:

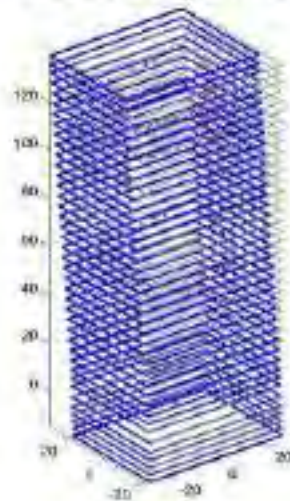
- a) em edifícios de múltiplos usos, deve-se avaliar o conforto humano aplicando o critério, para cada destinação, no andar onde ocorre a maior amplitude de aceleração;
- b) no caso de existir piscina em pavimentos elevados, deve-se avaliar o efeito de transbordamento de água decorrente das oscilações de flexão do edifício;
- c) as análises do conforto humano podem ser feitas com a utilização dos efeitos de direcionalidade do vento;
- d) a instalação de sistema de monitoração de edifícios altos antes da ocupação é recomendada para verificação das premissas adotadas em projeto e do real comportamento aerodinâmico da estrutura;
- e) é obrigatória a instalação de um sistema de monitoração em edifícios com altura maior do que 200 m (medida a partir do nível da fundação), com instrumentação para registro de aceleração em um ou mais pontos ao longo da altura. Neste caso, a aceleração-limite pode ser tomada igual a 1,15 vezes o valor determinado conforme 9.6.2, desde que estas informações sejam do conhecimento de todos os usuários do edifício;
- f) a adoção de sistemas atenuadores de vibração é uma alternativa para redução das amplitudes de aceleração a níveis aceitáveis. Estes dispositivos podem ser aplicados em edifícios existentes ou idealizados em fase de projeto.



WTorre Morumbi
Medabil - SP



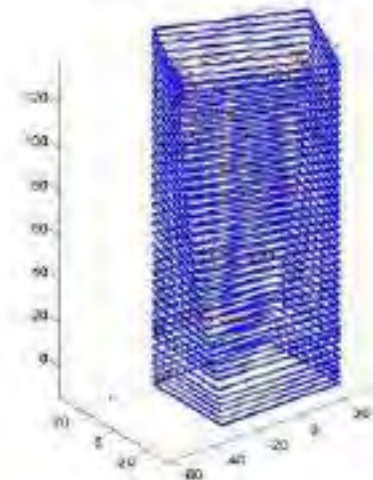
Modal shape 1 : $f_x = 0.27213\text{Hz}$



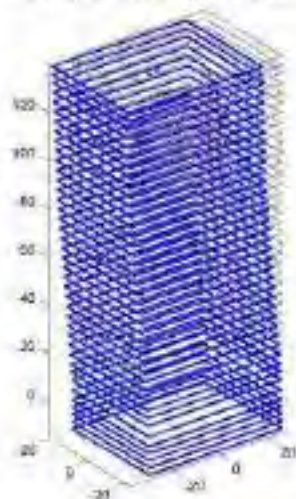
Respostas (deslocamentos)

- (1) mean + peak1 + peak2 + peak 3
- (2) mean + peak1 + peak2 - peak 3
- (3) mean + peak1 - peak2 + peak 3
- (4) mean + peak1 - peak2 - peak 3
- (5) mean - peak1 + peak2 + peak 3
- (6) mean - peak1 + peak2 - peak 3
- (7) mean - peak1 - peak2 + peak 3
- (8) mean - peak1 - peak2 - peak 3

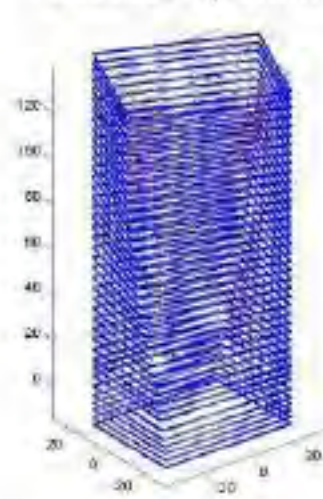
Modal shape 3 : $f_x = 0.55837\text{Hz}$



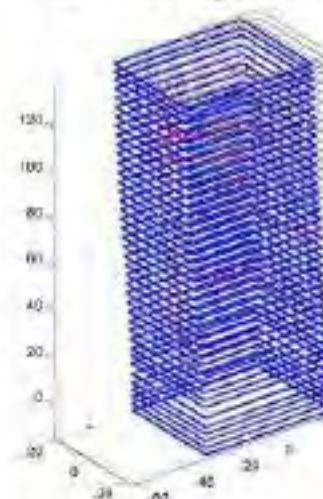
Modal shape 2 : $f_x = 0.33434\text{Hz}$



Modal shape 3 : $f_x = 0.55837\text{Hz}$



Modal shape 2 : $f_x = 0.33434\text{Hz}$



Modal shape 1 : $f_x = 0.27213\text{Hz}$

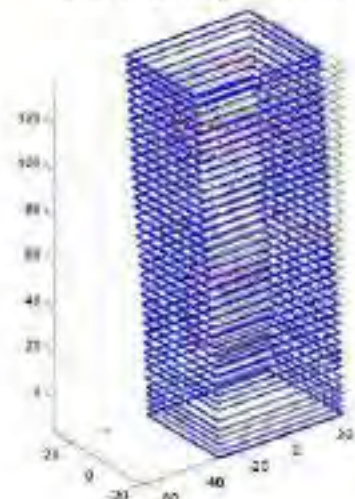


Figura 2. Formas modais simplificadas por pavimento para a Torre A – modos 1 ao 3. Os pontos vermelhos correspondem às tomadas (plotadas acompanhando as formas modais).

Figura 3. Formas modais simplificadas por pavimento para a Torre B – modos 1 ao 3. Os pontos vermelhos correspondem às tomadas (plotadas acompanhando as formas modais).

Análise Cinemática das Passarelas do Empreendimento

WTorre Morumbi — São Paulo, SP

frente ao movimento relativo das *Torres A e B*
causado pela ação dinâmica do vento

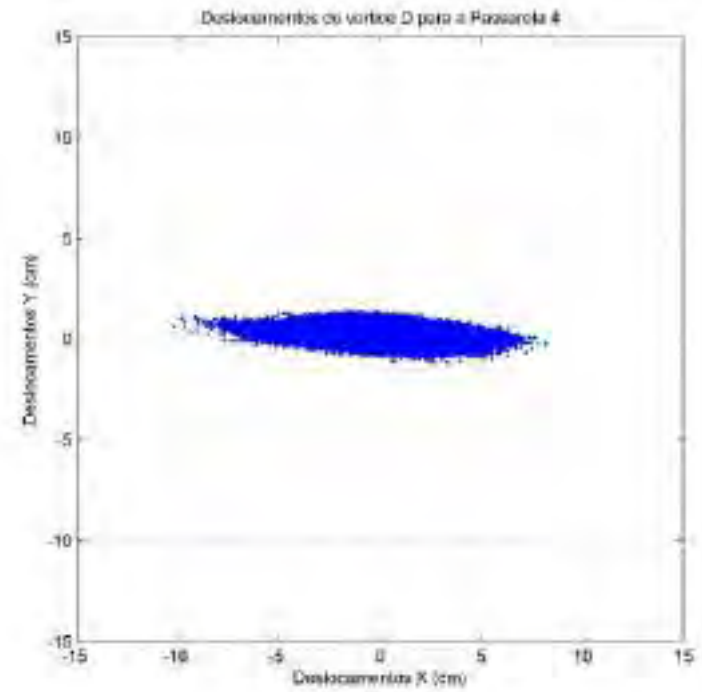
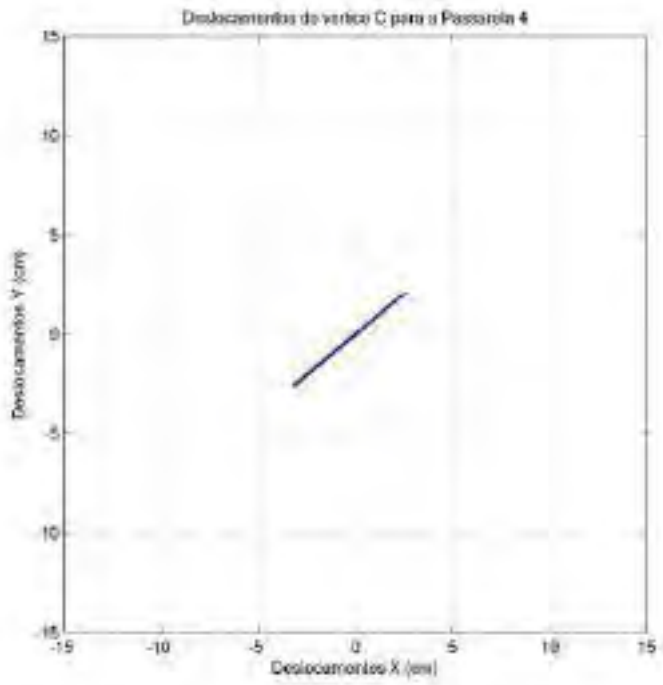
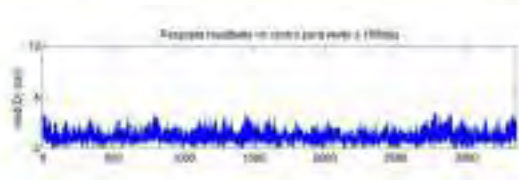
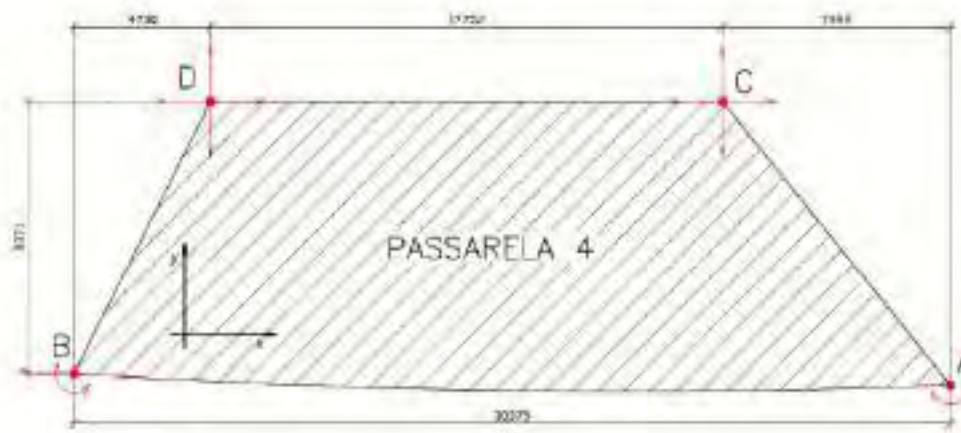
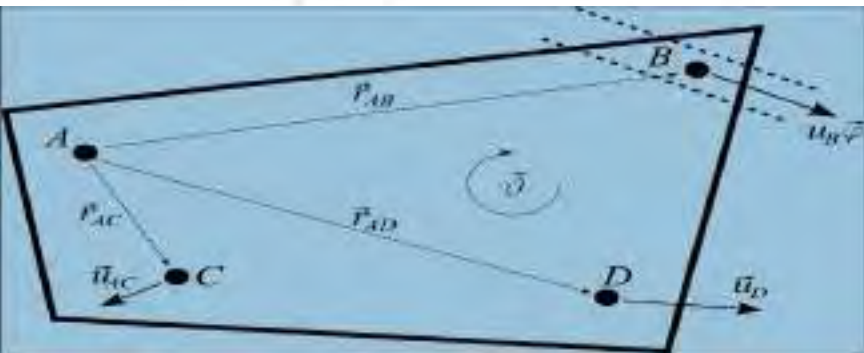


Figura B11: Deslocamentos horizontais do vértice sobre o apoio “C” da Passarela 4

Figura B12: Deslocamentos horizontais do vértice sobre o apoio “D” da Passarela 4.

WTorre Morumbi

Medabil - SP



WTorre Morumbi

Medabil - SP



Wind Tunnel Testing of High-Rise Buildings

An output of the CTBUH Wind Engineering Working Group

Peter Irwin, Roy Denoon & David Scott



Principal Authors

*Peter Irwin, RWDI, Canada
Roy Denoon, CPP, USA
David Scott, Laing O'Rourke, UK*

Peer Review Panel

*William Baker, SOM, USA
Melissa Burton, BMT, UK
Alberto Fainstein, AHFsa Consulting Engineers, Argentina
Jon Galsworthy, RWDI, Canada
Dr. Yaojun Ge, Tongji University, China
T.C. Eric Ho, Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory, Canada
Alan Jalil, Jacobs, France
Prof. Sang Dae Kim, Korea University, Korea
Prof. Acir Loredou-Souza, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil
Richard Marshall, Buro Happold, UAE
Bill Melbourne, MEL Consultants, Australia
Tony Rofail, Windtech Consultants Pty., Ltd., Australia
Bob Sinn, Thornton Tomasetti, USA
Wolfgang Sundermann, Werner Sobek Group, Germany
Prof. Yukio Tamura, Tokyo Polytechnic University, Japan*

Principal Authors

Peter Irwin, RWDI, Canada
Roy Denoon, CPP, USA
David Scott, Laing O'Rourke, UK

Peer Review Panel

William Baker, SOM, USA
Melissa Burton, BMT, UK
Alberto Fainstein, AHFsa Consulting Engineers, Argentina
Jon Galsworthy, RWDI, Canada
Dr. Yaojun Ge, Tongji University, China
T.C. Eric Ho, Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory, Canada
Alan Jalil, Jacobs, France
Prof. Sang Dae Kim, Korea University, Korea
 *Prof. Acir Loredou-Souza, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil*
Richard Marshall, Buro Happold, UAE
Bill Melbourne, MEL Consultants, Australia
Tony Rofail, Windtech Consultants Pty., Ltd., Australia
Bob Sinn, Thornton Tomasetti, USA
Wolfgang Sundermann, Werner Sobek Group, Germany
Prof. Yukio Tamura, Tokyo Polytechnic University, Japan

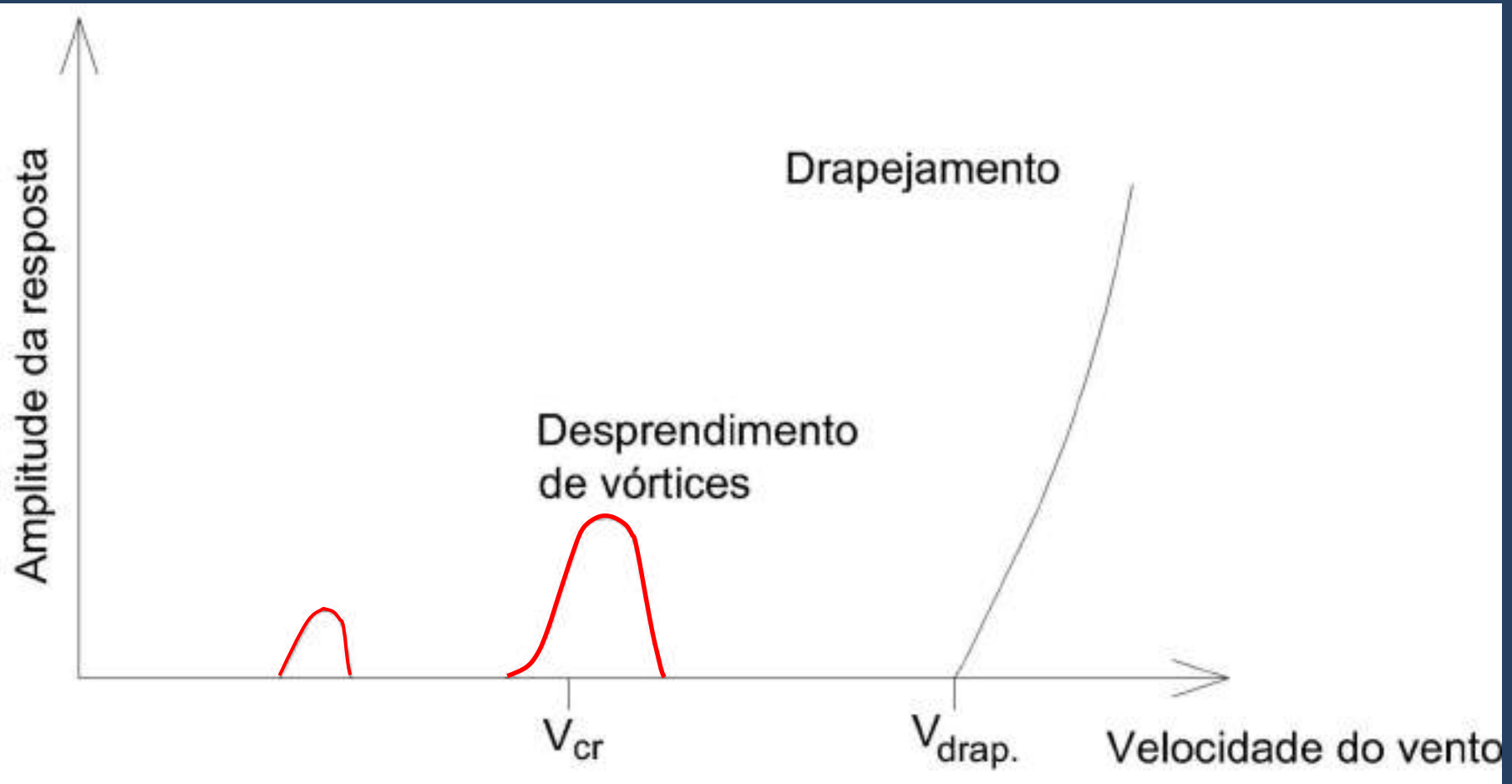
Contents

About the CTRU	3	4.0 Prediction of Load Effects for Strength Design and Serviceability	
About the Authors	7	4.1 Structural Properties of the Building	26
Preface	8	4.2 Load Effects	26
1.0 Introduction		4.3 Non-Directional Method	27
1.1 Basis of Design	10	4.4 Spectral Velocity Method	27
1.2 Wind Climate	11	4.5 Isospeed Load Effect Method	28
		4.6 Upgrading Methods	28
2.0 Nature of Wind Effects		5.0 Format for Comparing Wind Tunnel Results	
2.1 Free-surface Boundary Layer and Wake Turbulence	15	5.1 Types of Comparison	29
2.2 Mean and Fluctuating Loads	16	5.2 Wind Climate Models, Velocity Profiles, and Turbulence	29
2.3 Along-Wind, Crosswind, and Torsional Loading	16	5.3 Aerodynamic Data	31
2.4 Background and Resonant Loads	16	5.4 Predicted Building Response Versus Item	33
2.5 Serviceability Accelerations	17	5.5 Response Versus Return Period	33
2.6 Vortex Excitation	17	5.6 Quality Assurance	33
2.7 Aerodynamic Damping and Galloping	18	6.0 Use of Wind Tunnel Results	35
2.8 Cladding Loads	18		
2.9 Reynolds Number Effects	18	7.0 References	
3.0 Wind Tunnel Testing Methods		Bibliography	35
3.1 Simulation of the Natural Wind at Small Scale	20	CTRU Height Criteria	38
3.2 Test Methods to Determine Wind Loads on the Structural System	20	Top-Riser Building, In the Wind	43
3.3 Aerodynamic Model Testing	20	CTRU Organization and Members	46
3.4 Test Methods to Determine Cladding Loads	24		
3.5 Other Types of Wind Tunnel Studies	25		

Efeitos do vento em Pontes

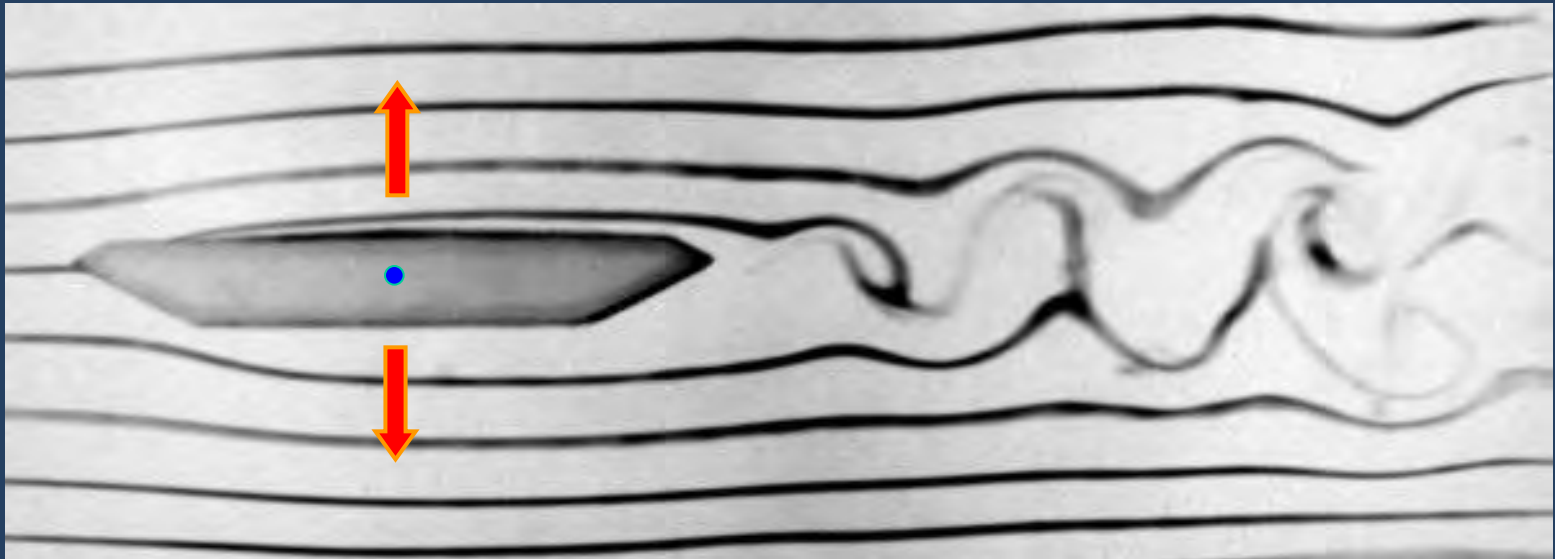
Estáticos	Efeitos do vento médio (pressões e forças)			
	Instabilidade Estática	Divergência torcional		
		Flambagem lateral		
Dinâmicos	Instabilidade Dinâmica	Galope	1 grau de liberdade	Respostas com amplitudes divergentes
		<i>Flutter</i> (instabilidade torcional)		
		<i>Flutter</i> clássico (acoplado)		
		Desprendimento de vórtices		
	Excitação devido às rajadas do vento - <i>buffeting</i>			

Resposta típica de corpos rombudos



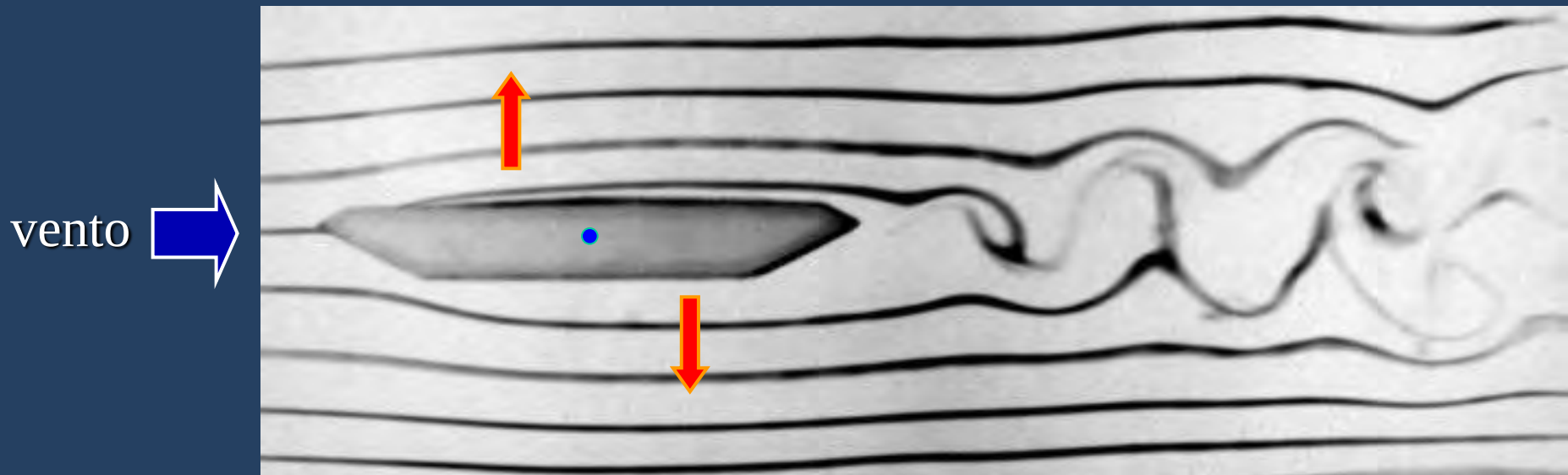
Desprendimento de vórtices

vento →



- Desprendimento alternado de vórtices
- Forças de sustentação sobre C.G. →
- **MOV. VERTICAL**

Desprendimento de vórtices



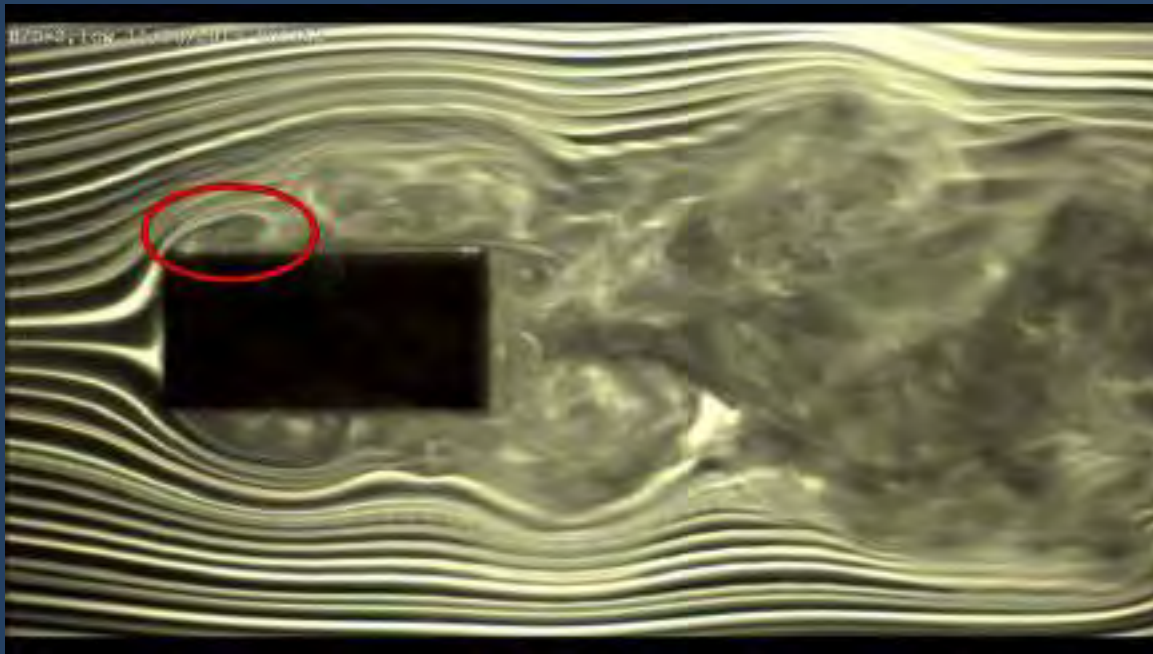
- Desprendimento alternado de vórtices
- Forças de sustentação fora do C.G. ➡ • **MOV. TORCIONAL**

Ponte Volgrado – Rússia

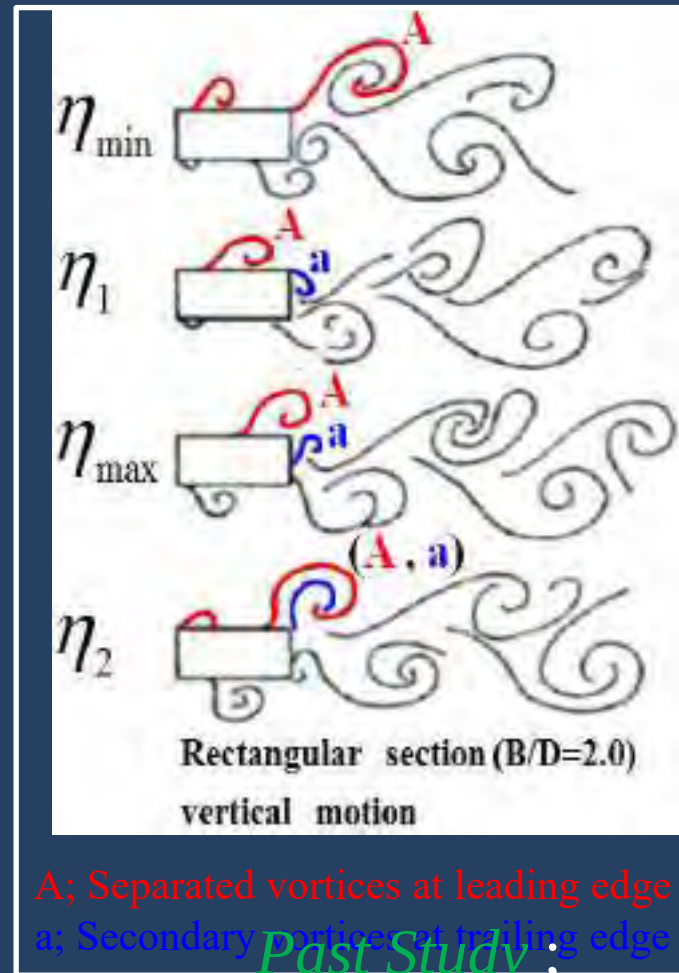
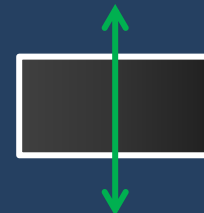
Desprendimento de Vórtices



The validity was confirmed by comparing with past experimental results.



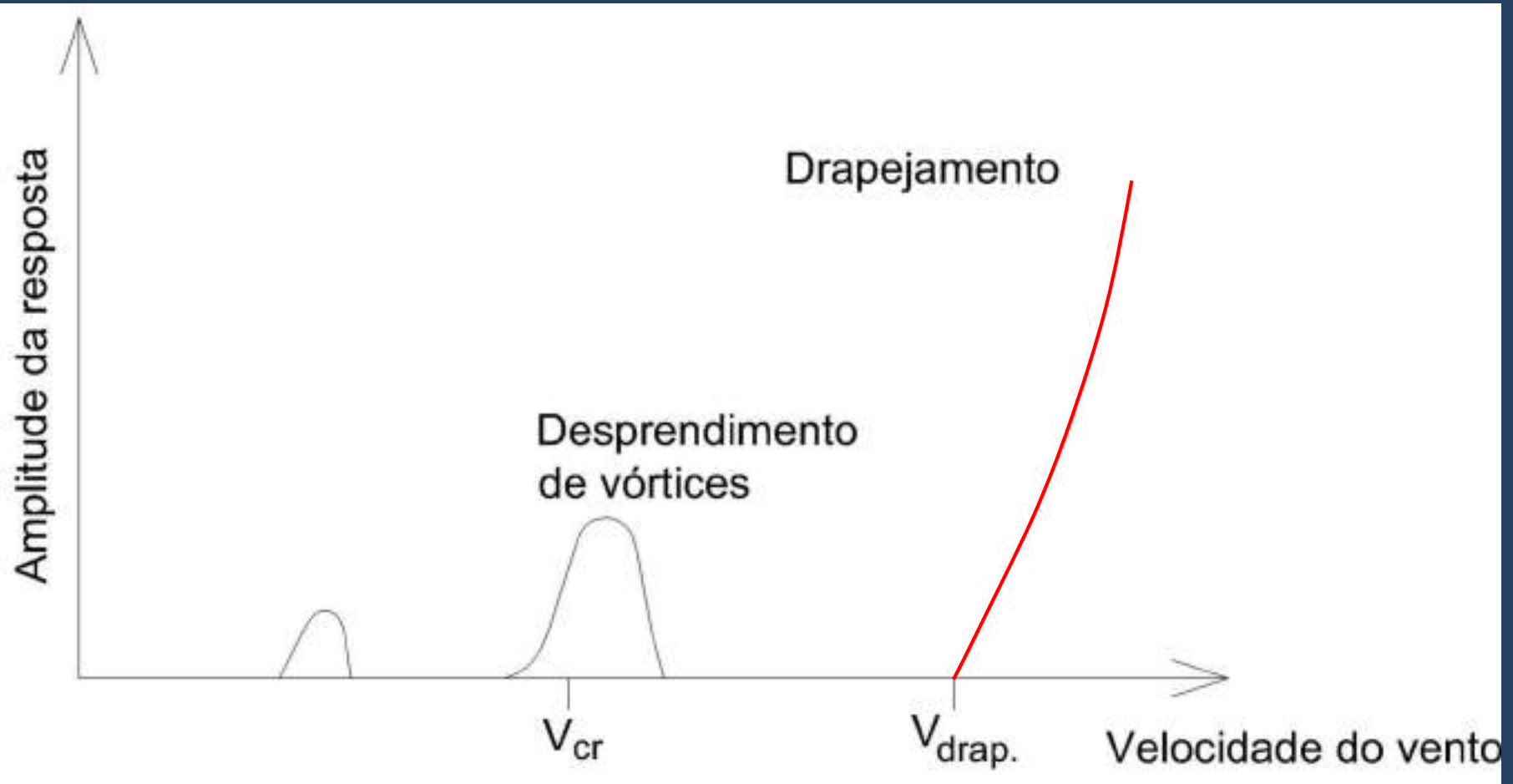
Present Study ; Flow Visualization at the Onset Wind Speed of Motion-Induced Vortex Excitation
($2\eta/D=0.1$, $(Re)_D \doteq 1600$)



A; Separated vortices at leading edge
a; Secondary vortices at trailing edge

Past Study ;
Shiraishi,
Matsumoto(1982)
 $2\eta/D=0.3$,
 $Re \doteq 1000$

Resposta típica de corpos rombudos



- Exemplo clássico de falha por instabilidade aerodinâmica: **Ponte de *Tacoma Narrows* - 1940**



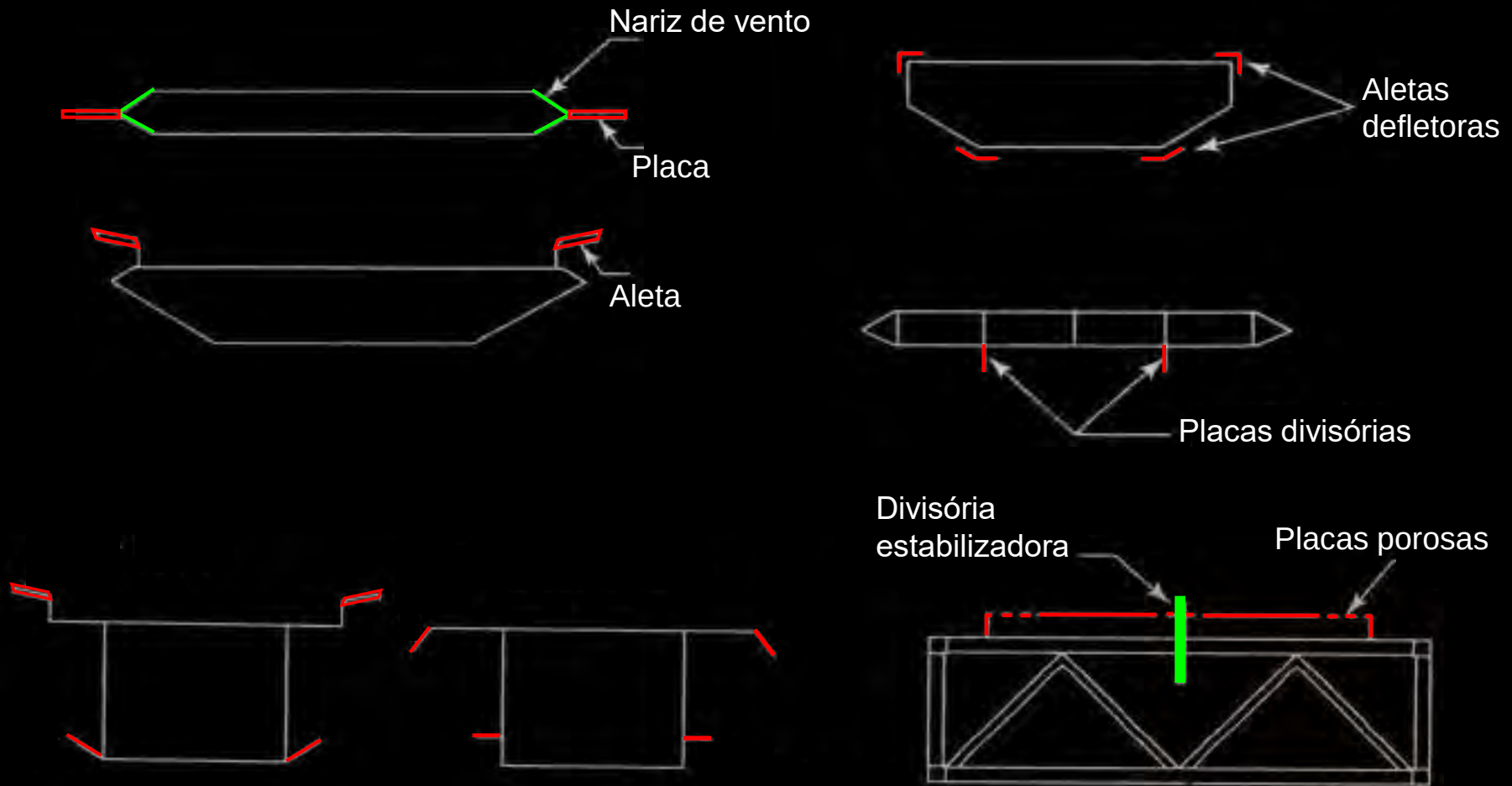
Secção Transversal



Drapejamento – *flutter*

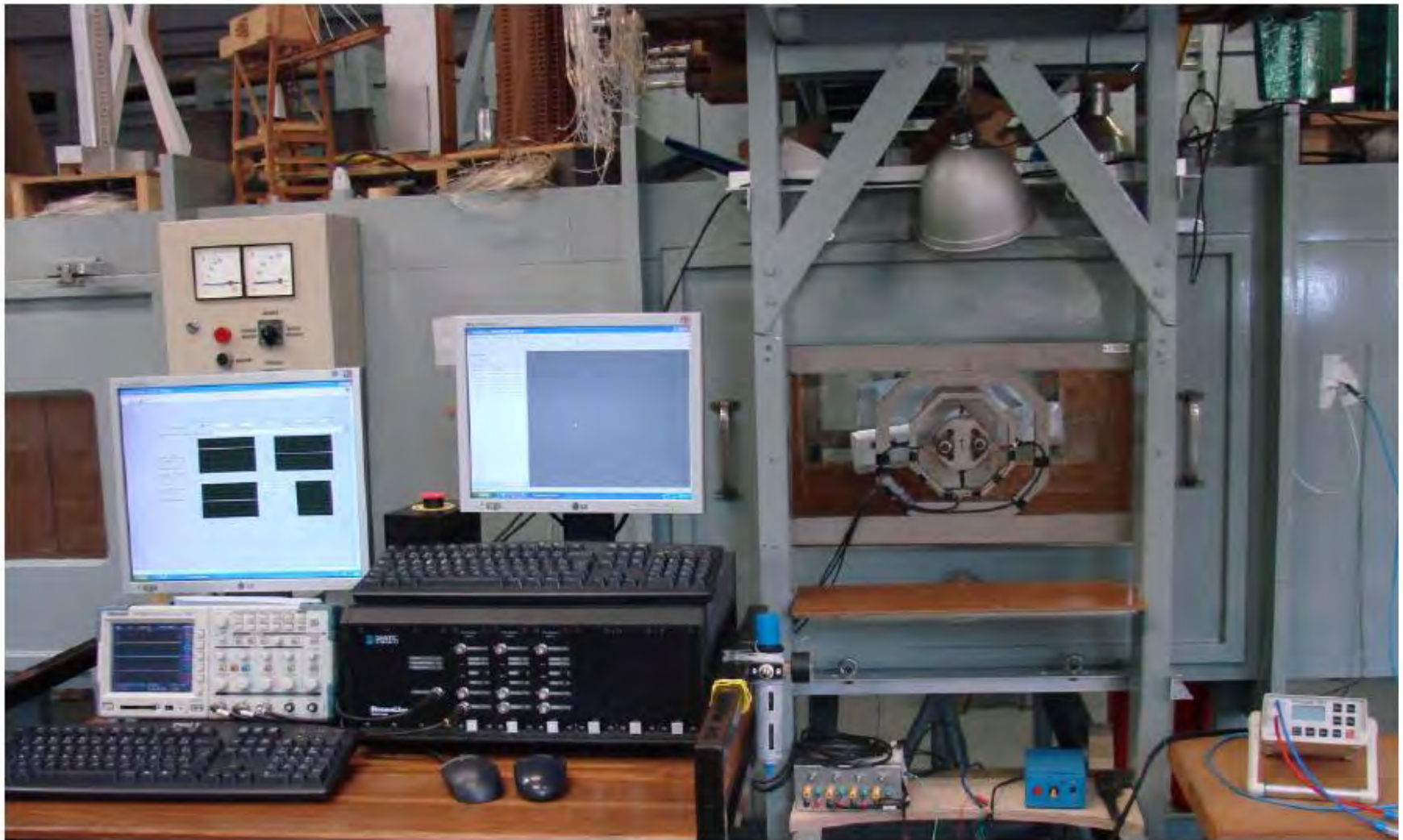
- Projetada para resistir a ventos de até 200km/h
- Colapso com velocidade do vento de aproximadamente **68km/h!**

Controle de vibrações induzidas pelo vento: dispositivos aerodinâmicos









Aparato experimental para medição dos coeficientes aerodinâmicos através de célula de carga. *Nova Seção da Ponte Estaiada sobre o Rio Negro.*



Modelo seccional do tabuleiro da *Nova Seção da Ponte Estaiada sobre o Rio Negro* no interior do Túnel de Vento – Configuração II - COM GUARDA-CORPO.

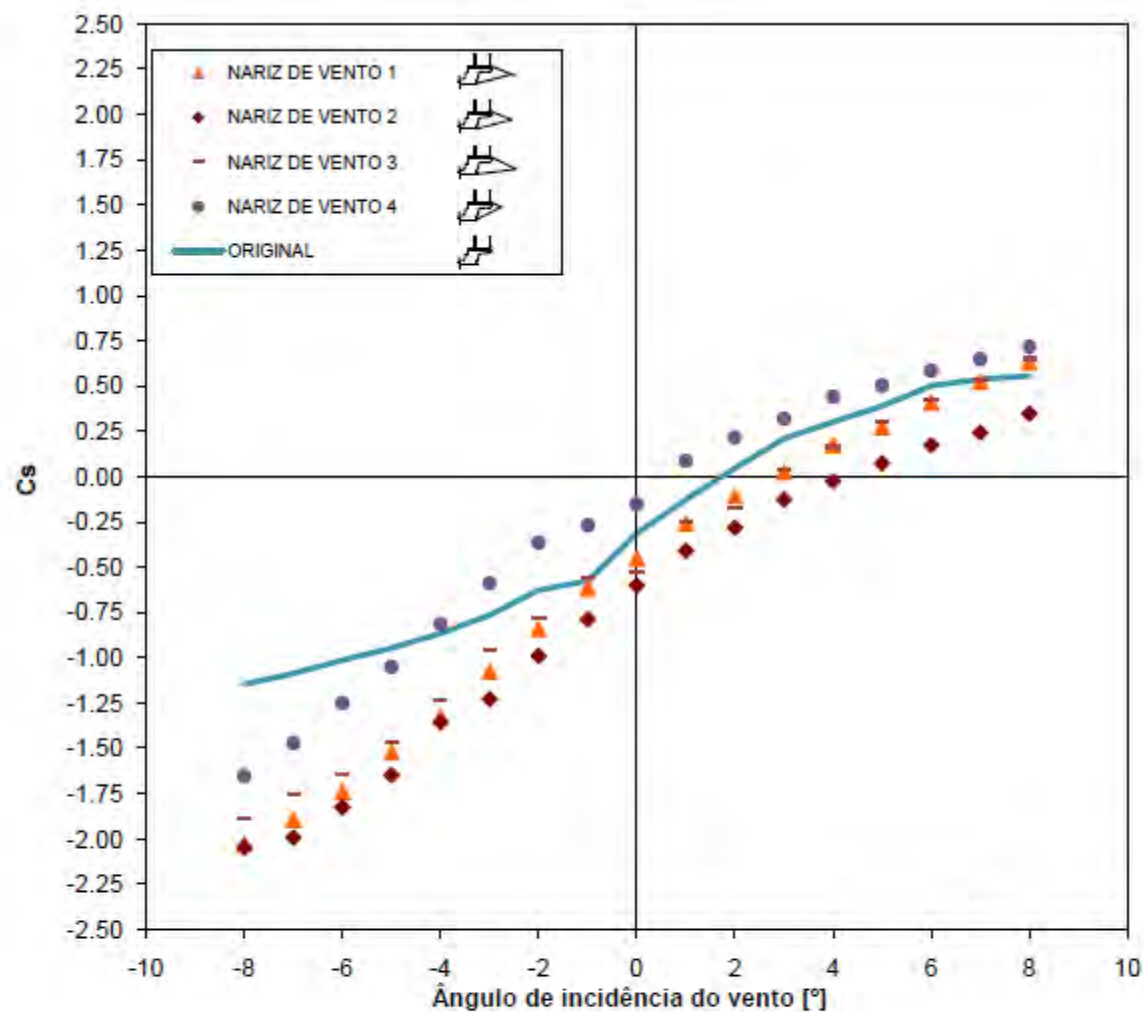
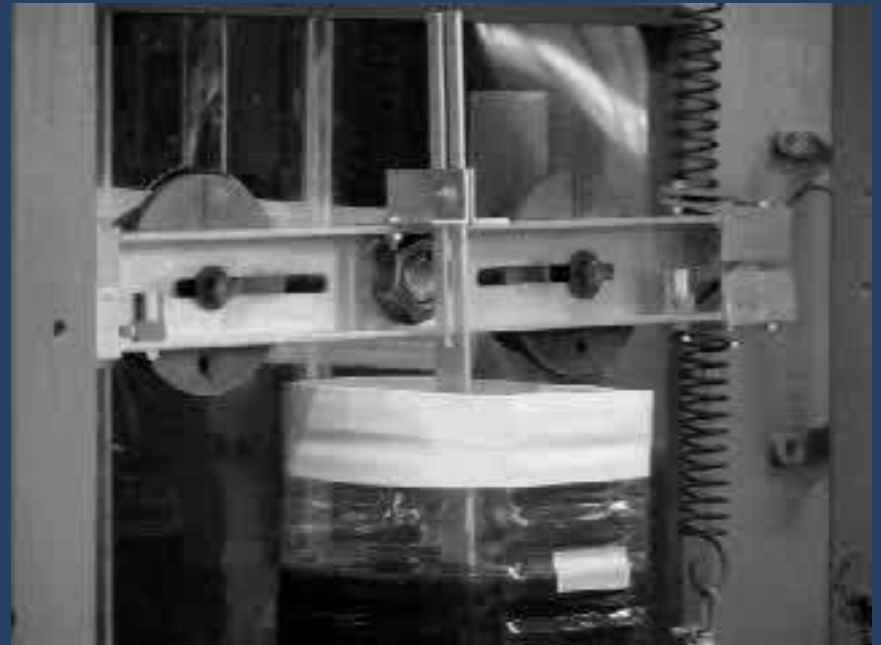
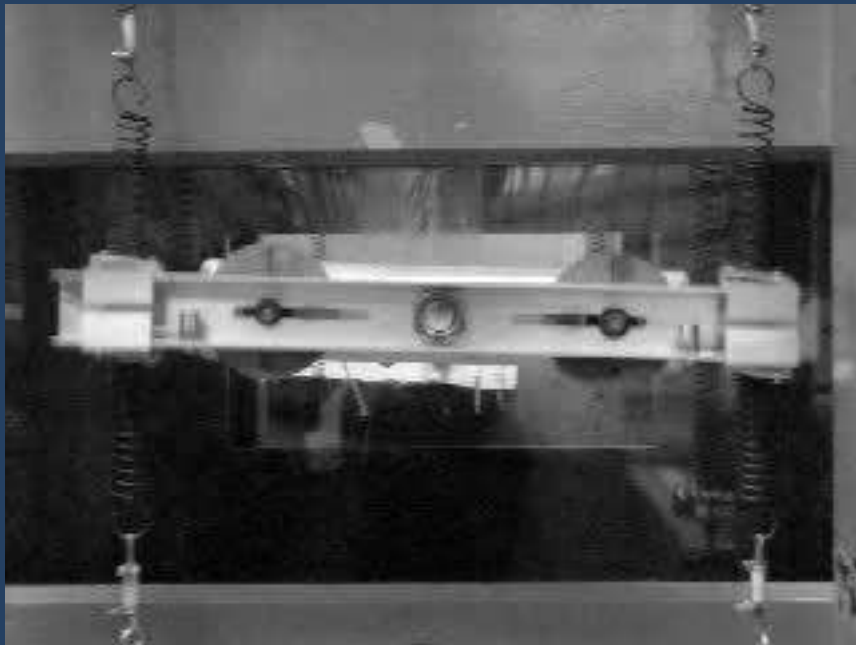
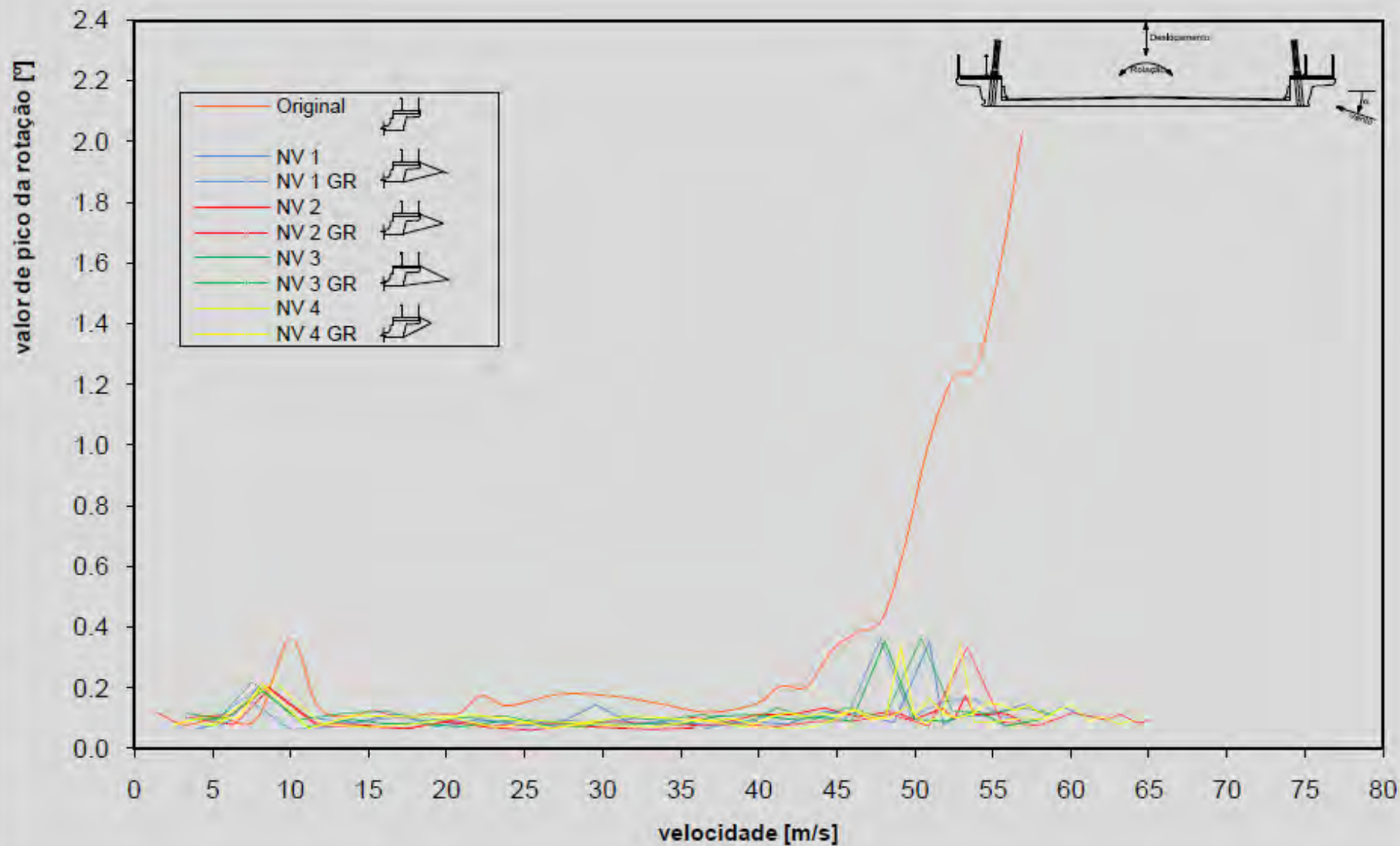


Figura 4 - Coeficiente de sustentação C_s - Ponte Estaiada sobre o Rio Negro.
Nova Seção - Vão convencional - escoamento suave.

Velocidades Críticas para Vórtices & Flutter





Modelo Aeroelástico Completo

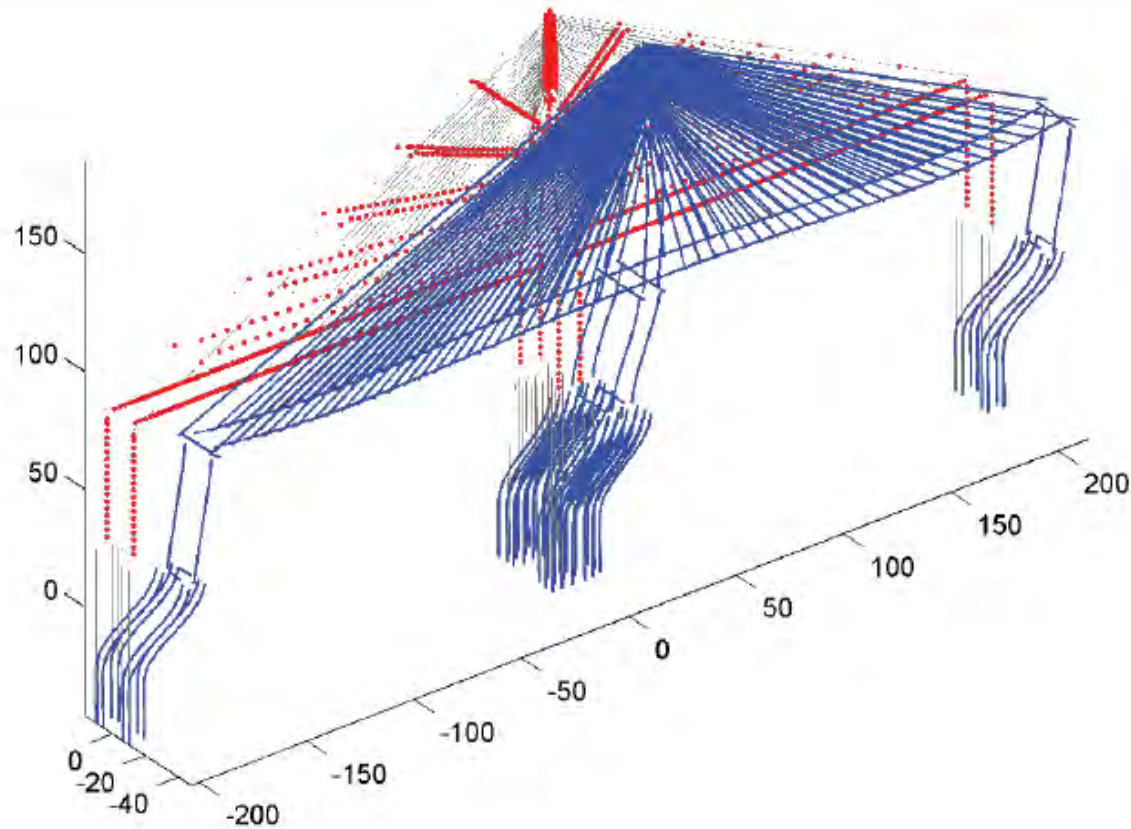


Figura 3: Configuração deformada da estrutura com deslocamentos ampliados 100 vezes, calculada conforme o método dinâmico descrito na seção 2. Os pontos vermelhos indicam, para fins de controle, os nós estruturais onde são aplicadas forças aerodinâmicas.













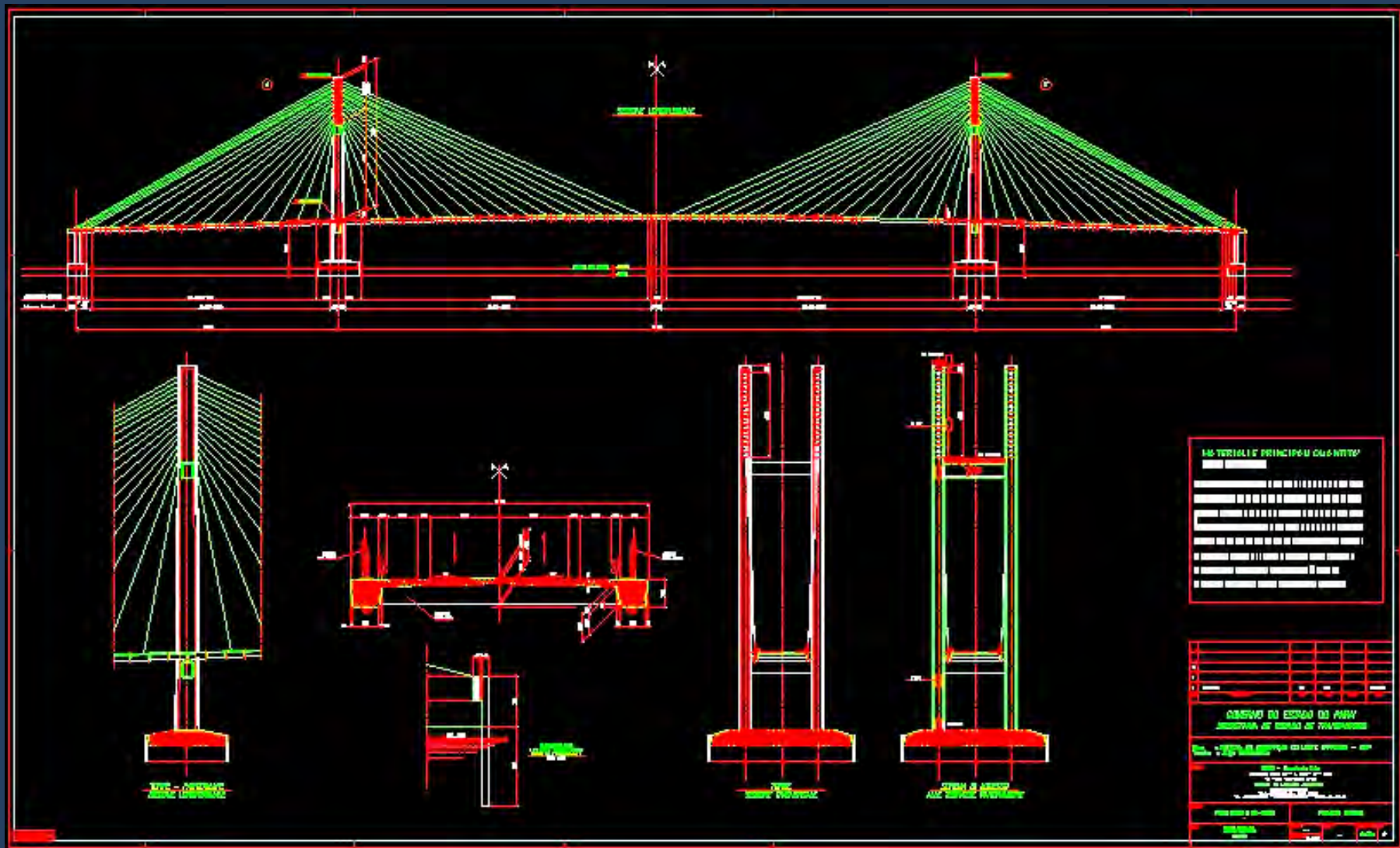








Ponte sobre o Rio GUAMÁ - Pará





Ponte sobre o Rio GUAMÁ - Alternativa 1

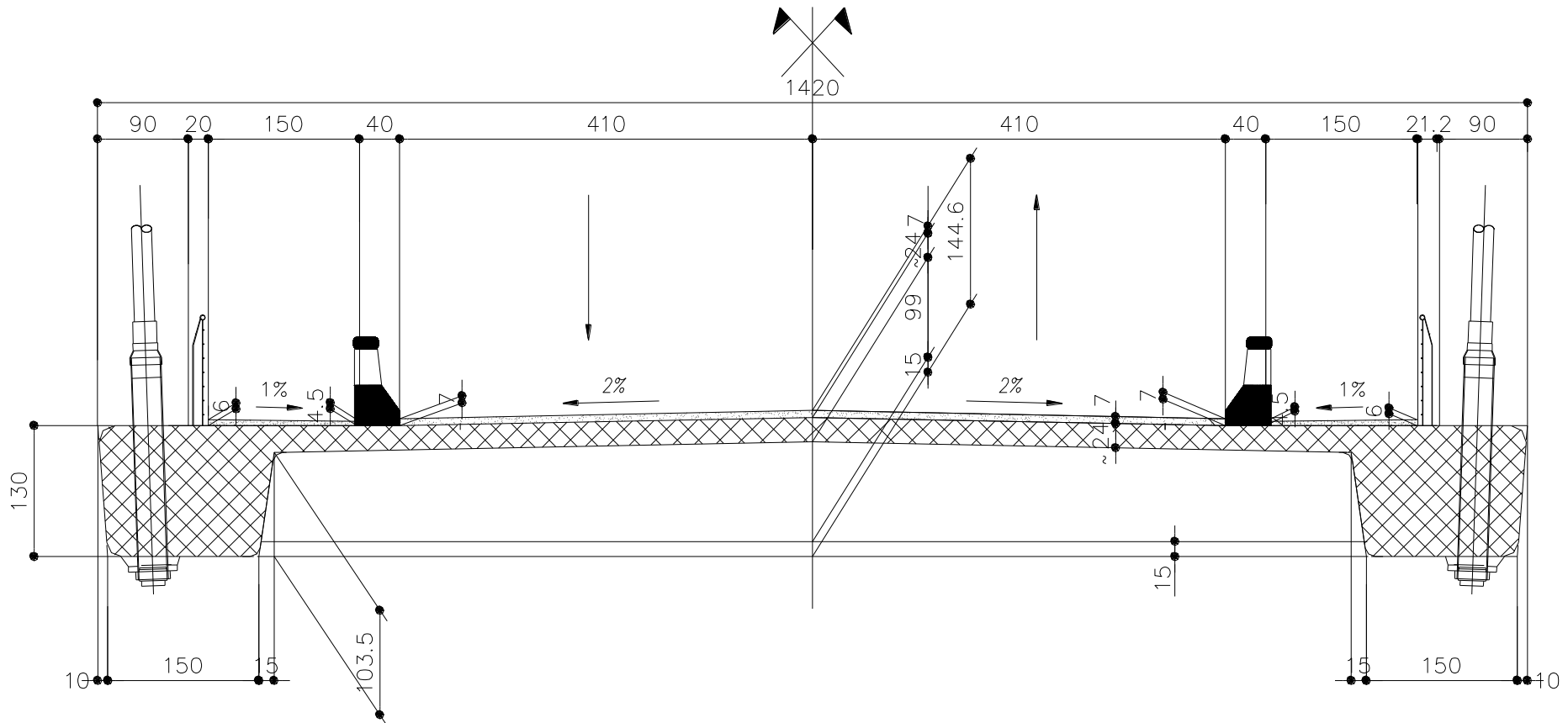


Ponte sobre o Rio GUAMÁ - Alternativa 2



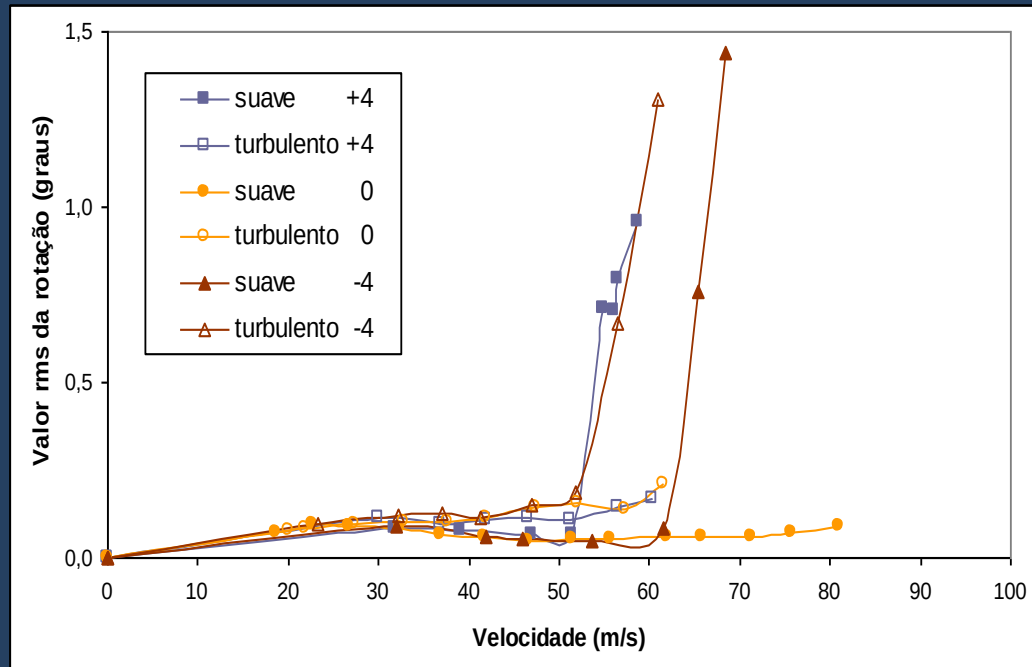
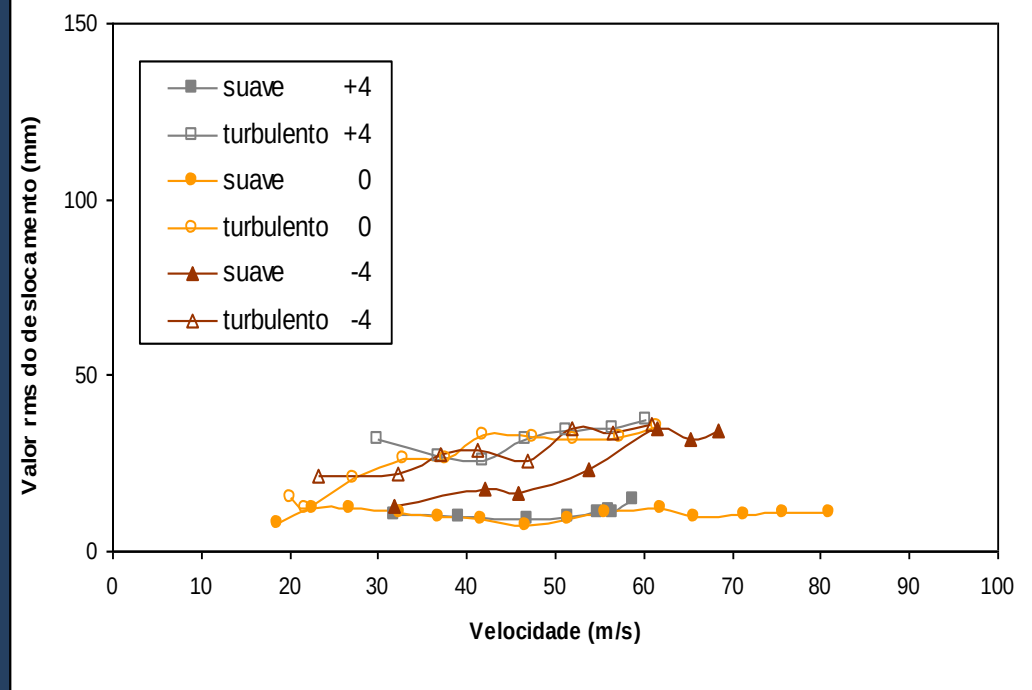
Alternativa 2:

guarda-corpo e guarda-rodas com menor bloqueio.



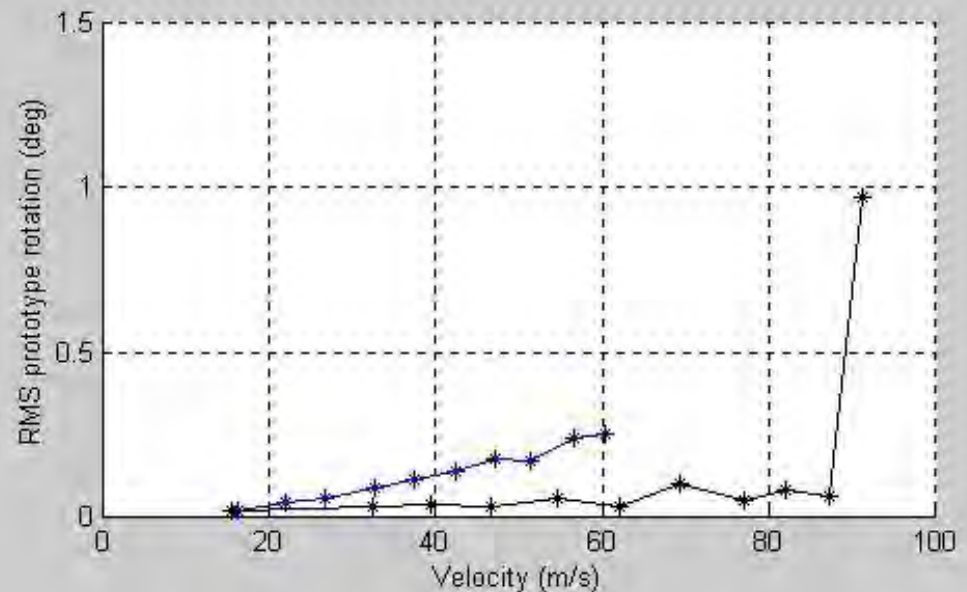
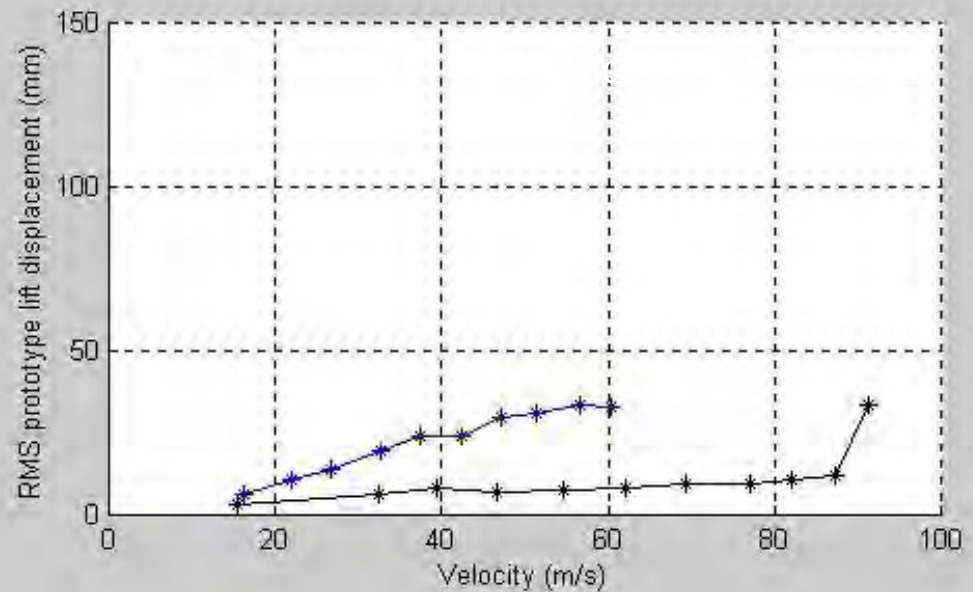
Alternativa 2

Resultados para diferentes ângulos de ataque, com razão de amortecimento crítico (mecânico) de 0.5%.



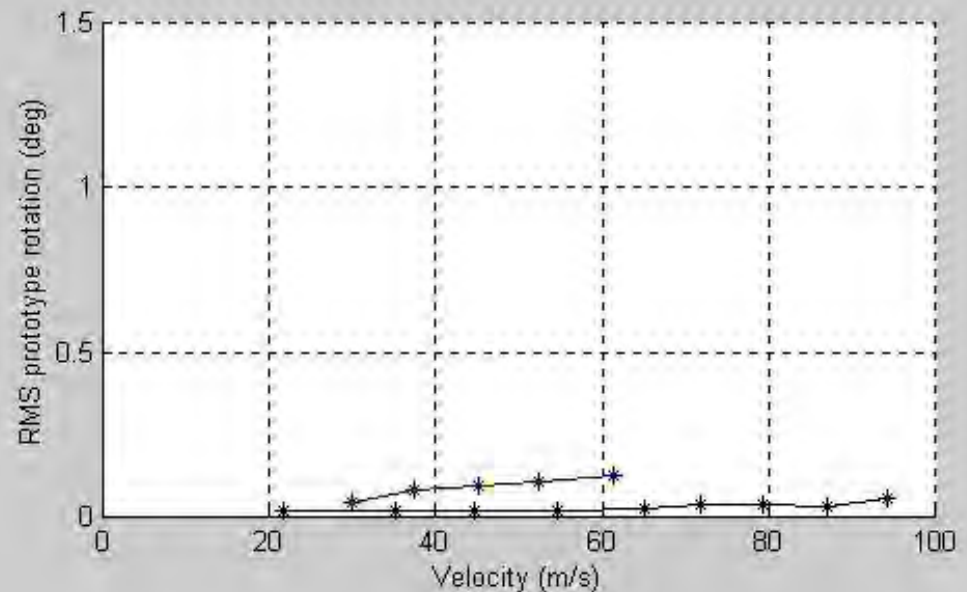
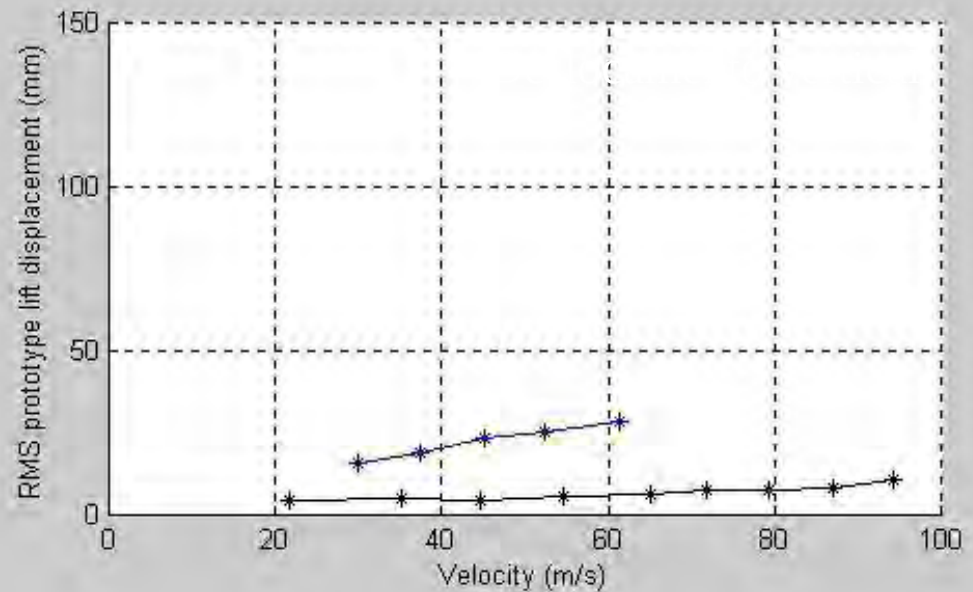
Alternativa 3

Resultados para
ângulo de ataque 0° ,
com razão de
amortecimento
crítico (mecânico)
de 0.3% .



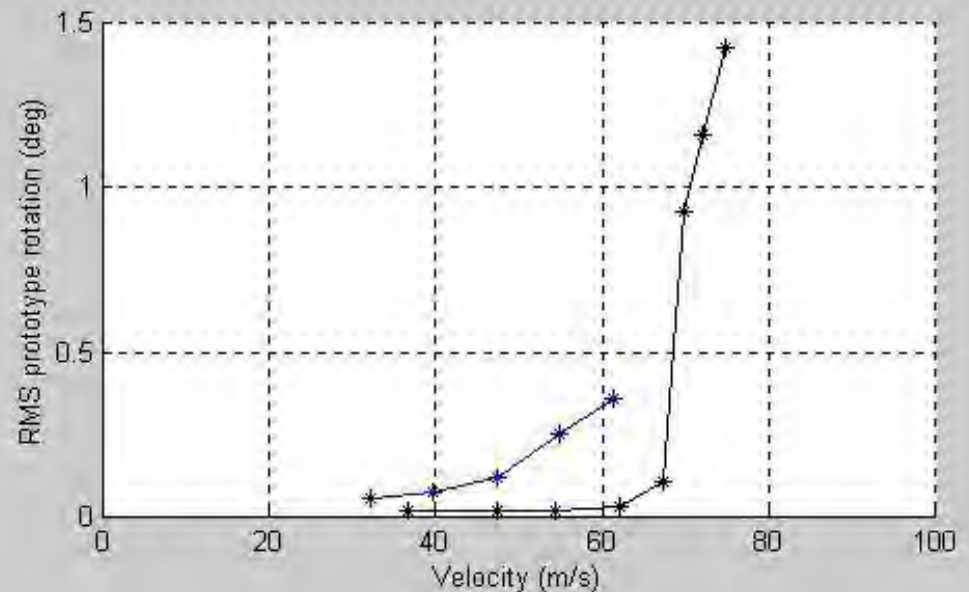
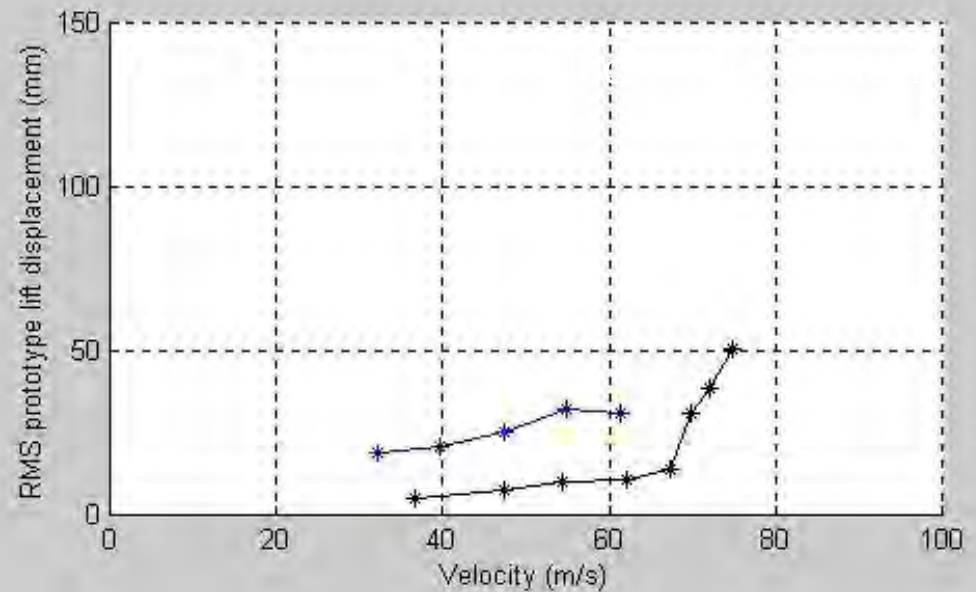
Alternativa 3

Resultados para
ângulo de ataque 0° ,
com razão de
amortecimento
crítico (mecânico)
de 0.8% .



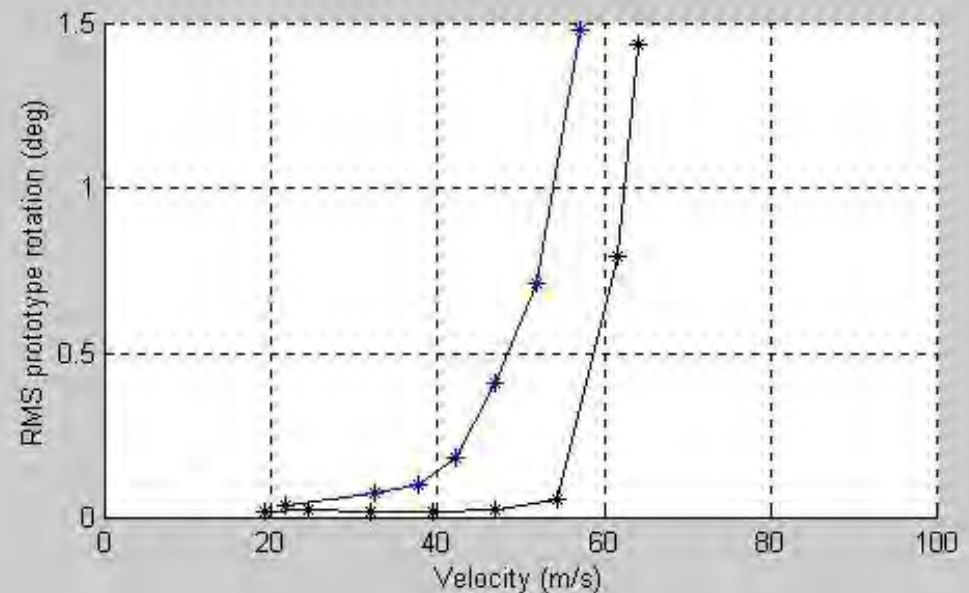
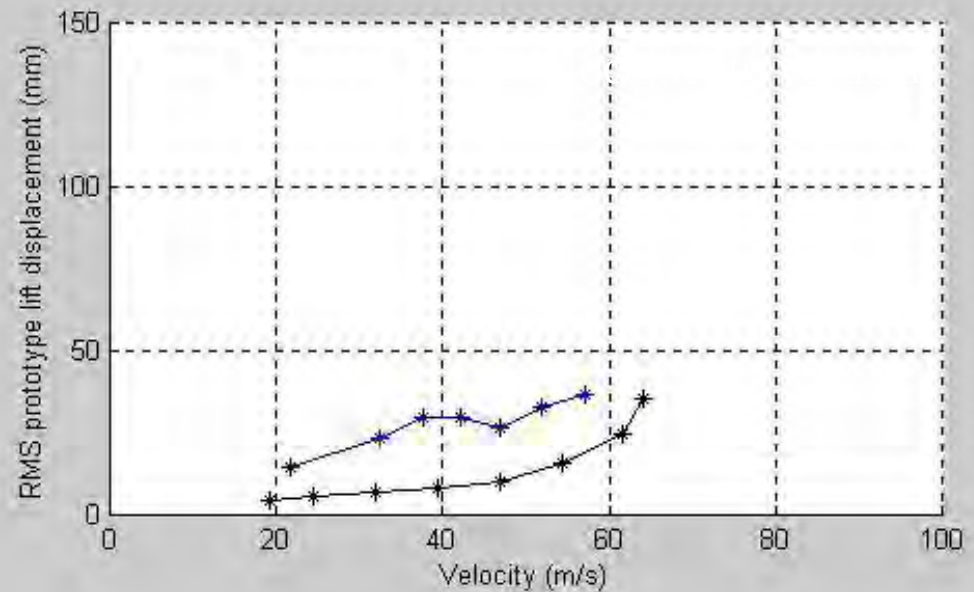
Alternativa 3

Resultados para
ângulo de ataque
-4°, com razão de
amortecimento
crítico (mecânico)
de 0.8%.



Alternativa 3

Resultados para
ângulo de ataque
 -4° , com razão de
amortecimento
crítico (mecânico)
de 0.3%.



Fotos da Etapa Construtiva da *Ponte sobre o Rio Guamá, Pará*



Fotos da Etapa Construtiva da *Ponte sobre o Rio Guamá, Pará*



Fotos da Etapa Construtiva da
Ponte sobre o Rio Guamá, Pará

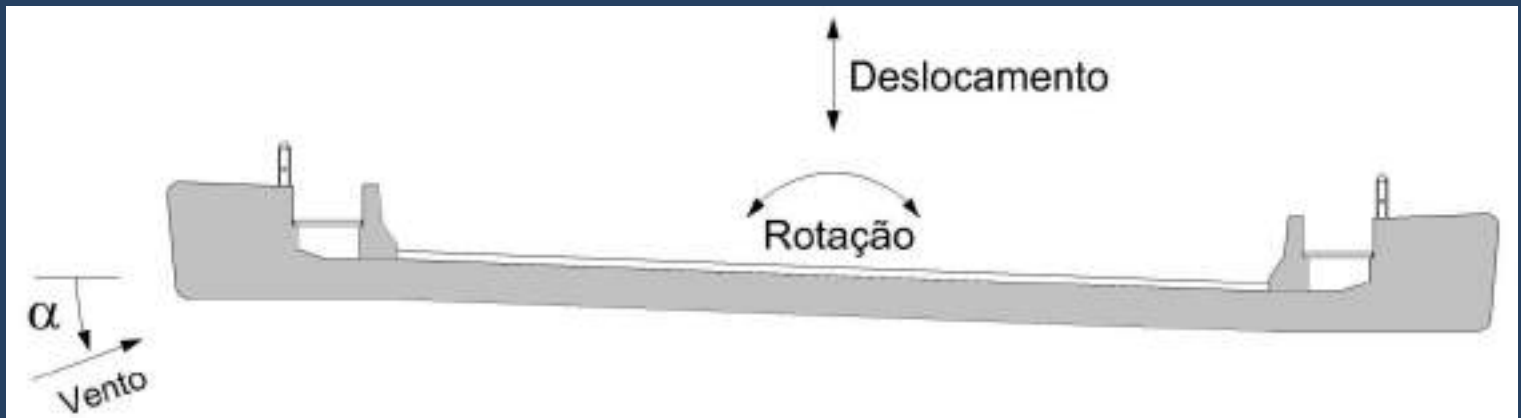
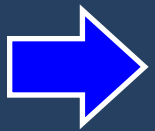


Ponte Otávio Frias São Paulo - SP



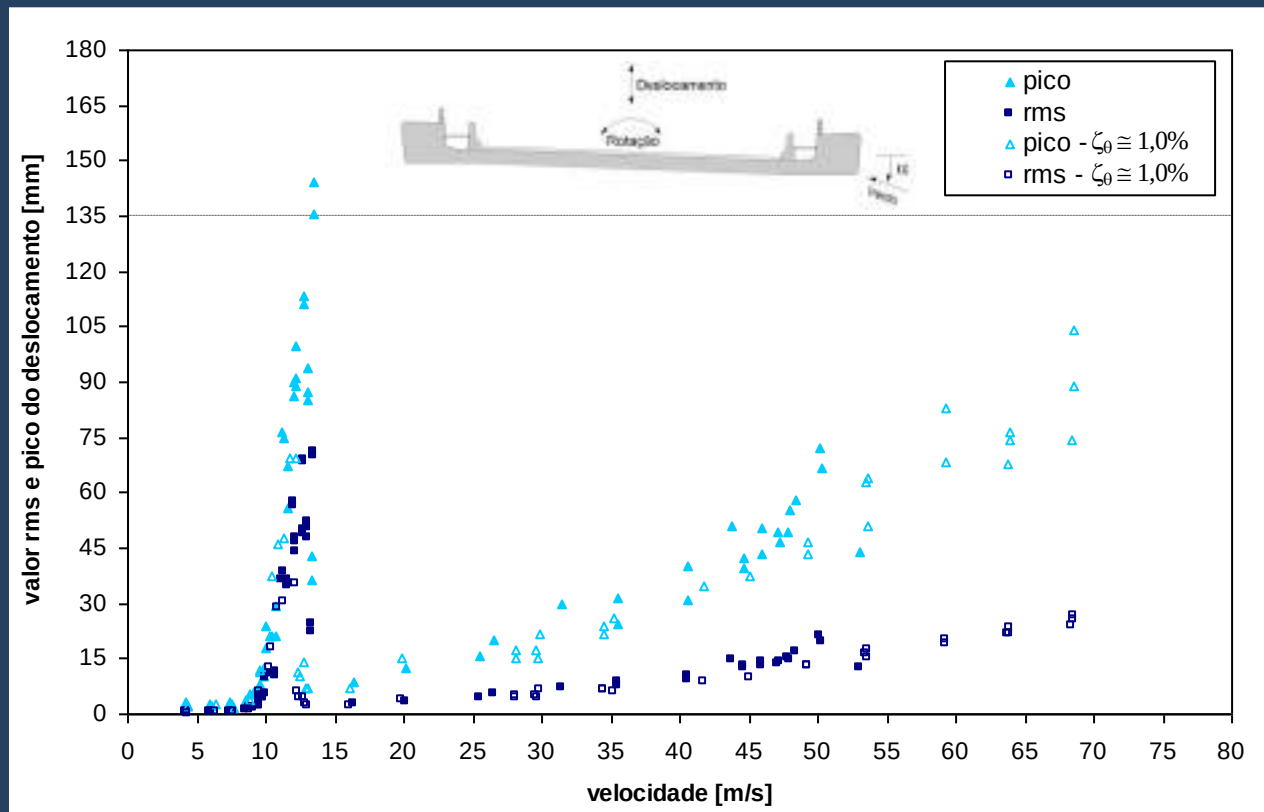


- **MODELO DINÂMICO – ISOLADO**



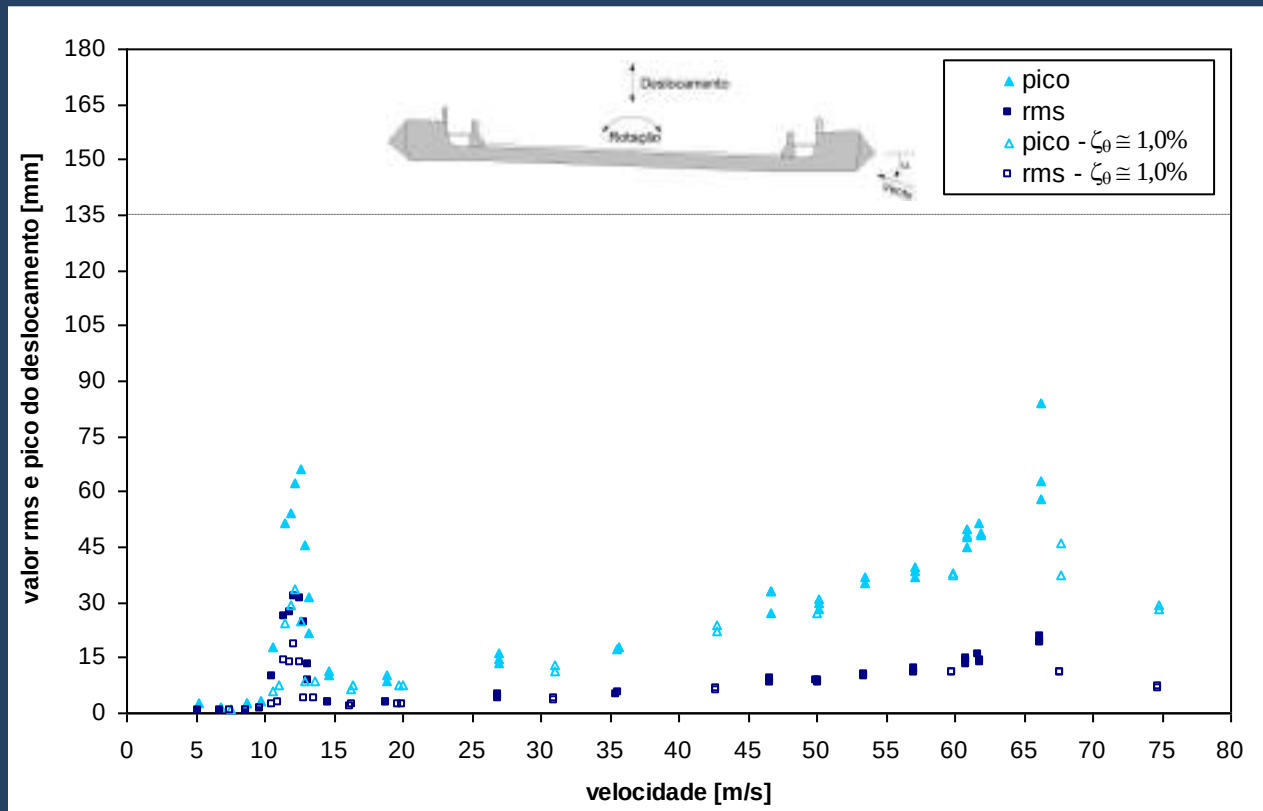
Fase III – Velocidades críticas – Nível de amortecimento estrutural

Deslocamento vertical - Escoamento uniforme e suave: $\alpha = -4^\circ$



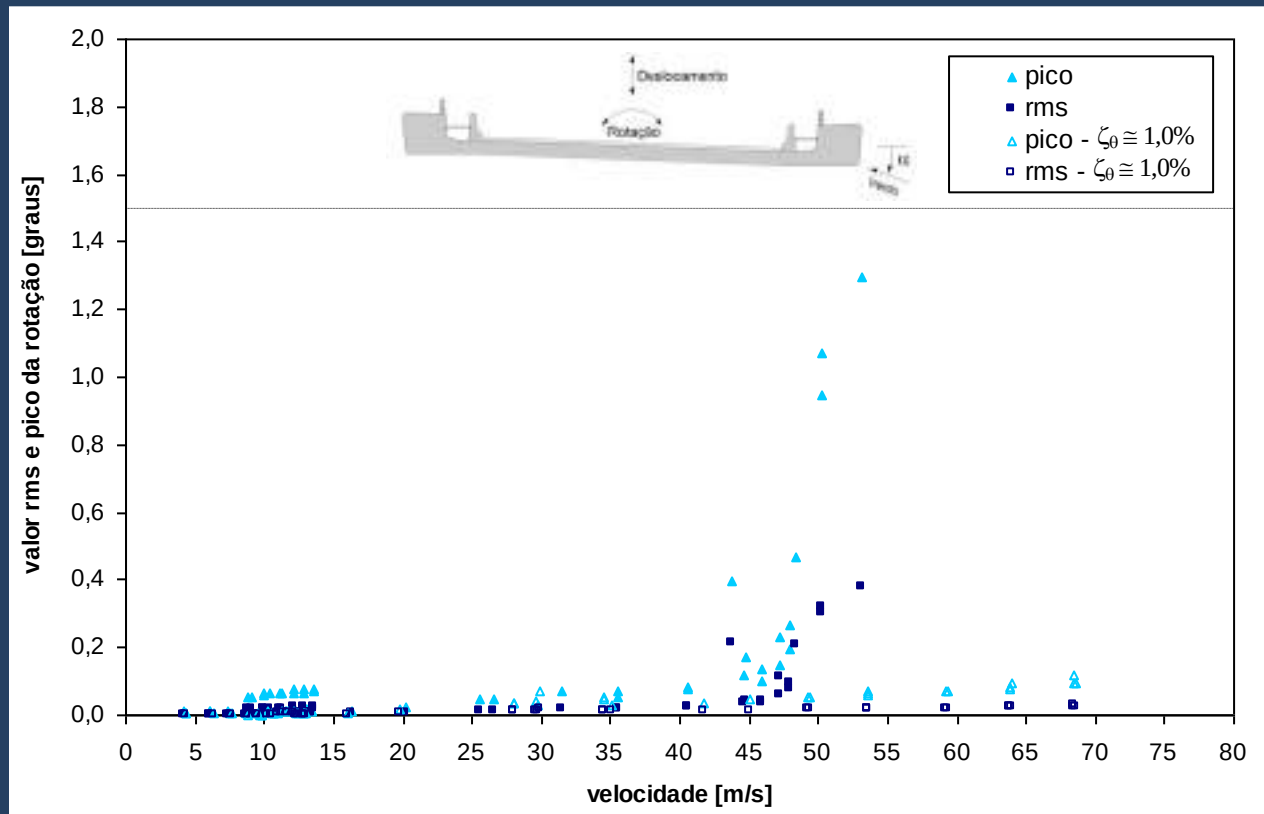
Fase III – Velocidades críticas – Forma da secção transversal

Deslocamento vertical - Escoamento uniforme e suave: $\alpha = -4^\circ$



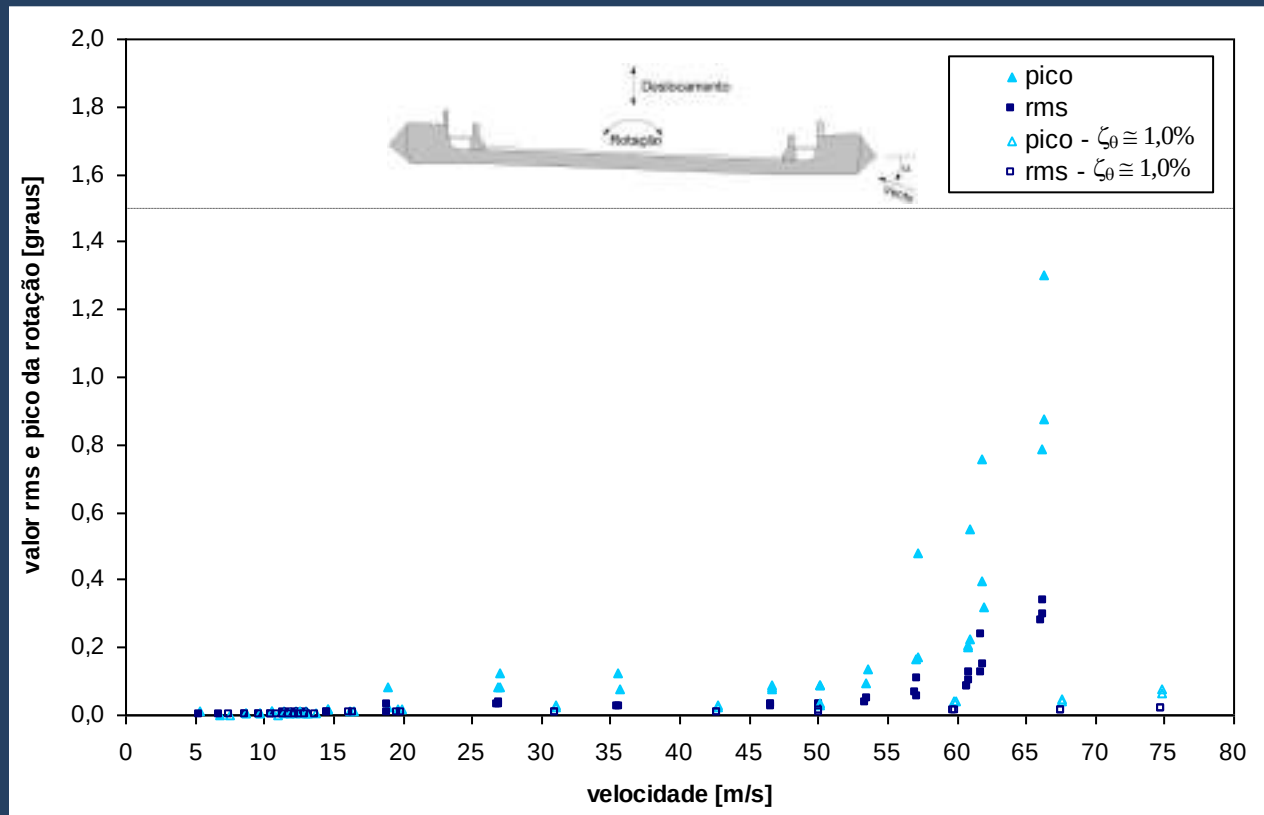
Fase III – Velocidades críticas – Nível de amortecimento estrutural

Rotação - Escoamento uniforme e suave: $\alpha = -4^\circ$



Fase III – Velocidades críticas – Forma da secção transversal

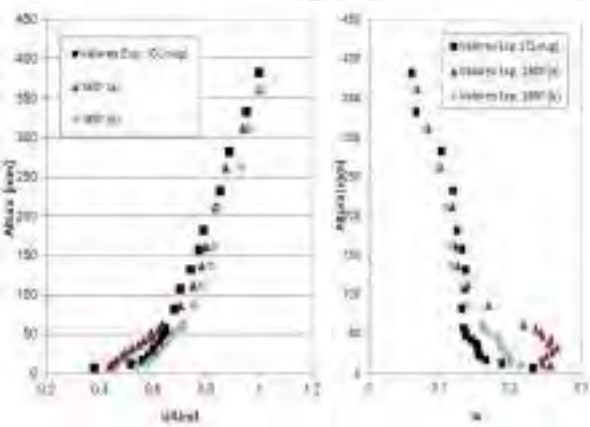
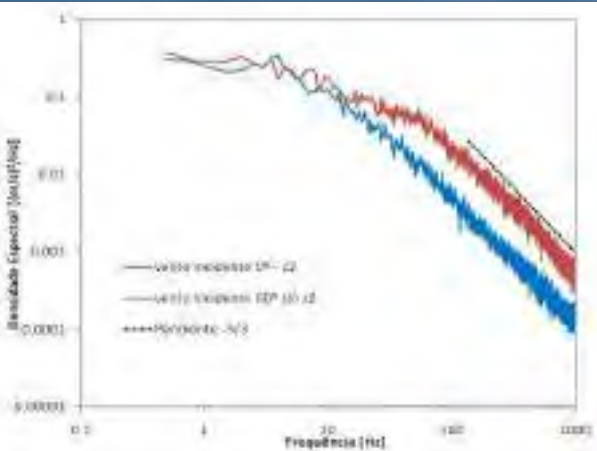
Rotação - Escoamento uniforme e suave: $\alpha = -4^\circ$





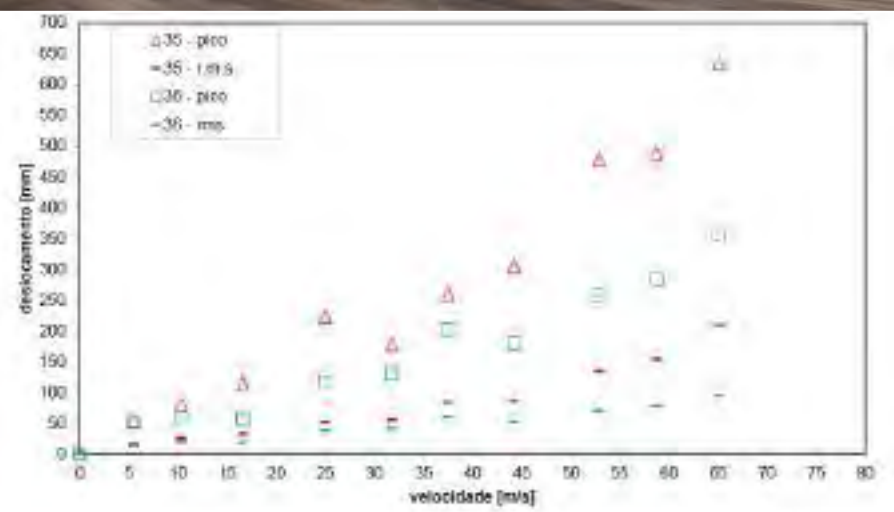
Ponte de Laguna, SC



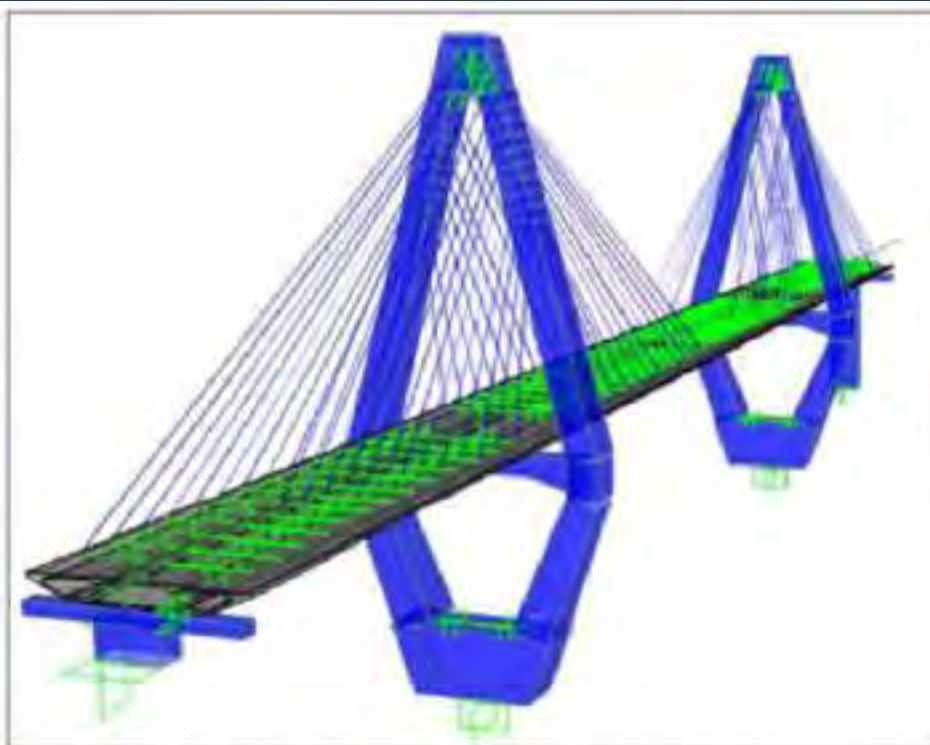




Ponte de Laguna



Puente Atirantado Apopa, El Salvador



Vista general 3D obtenida del modelo global – Puente Atirantado Apopa – El Salvador



Modelo seccional del tablero del Puente Atirantado Apopa, El Salvador. Configuración 1 – barandilla totalmente cerrada.



Modelo seccional del tablero del Puente Alimantado Apoca, El Salvador. Configuración II – barandilla permeable.

Puente Atirantado Apopa El Salvador

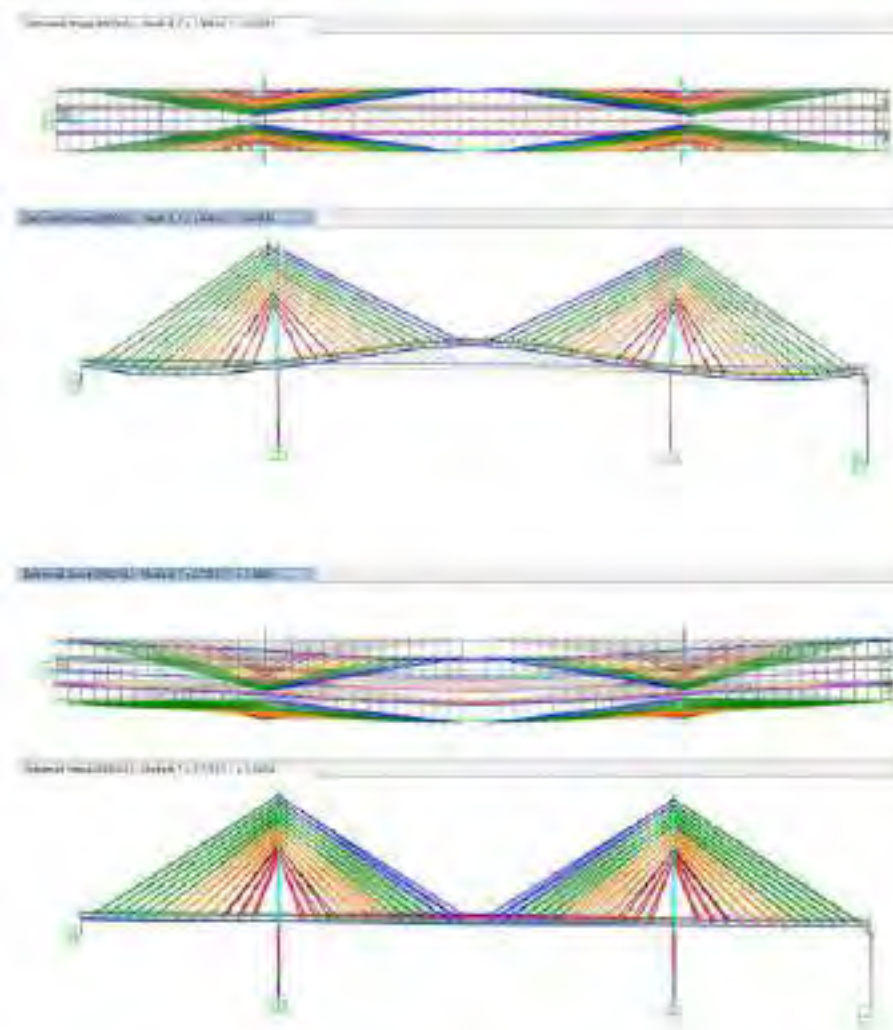


Figura 3: Primer modo de flexión vertical (primer modo general) y primer modo de torsión (sexto modo general) obtenidos a partir de un modelo numérico (según lo proporcionado por DOP Ingenieros Consultores S.A.).

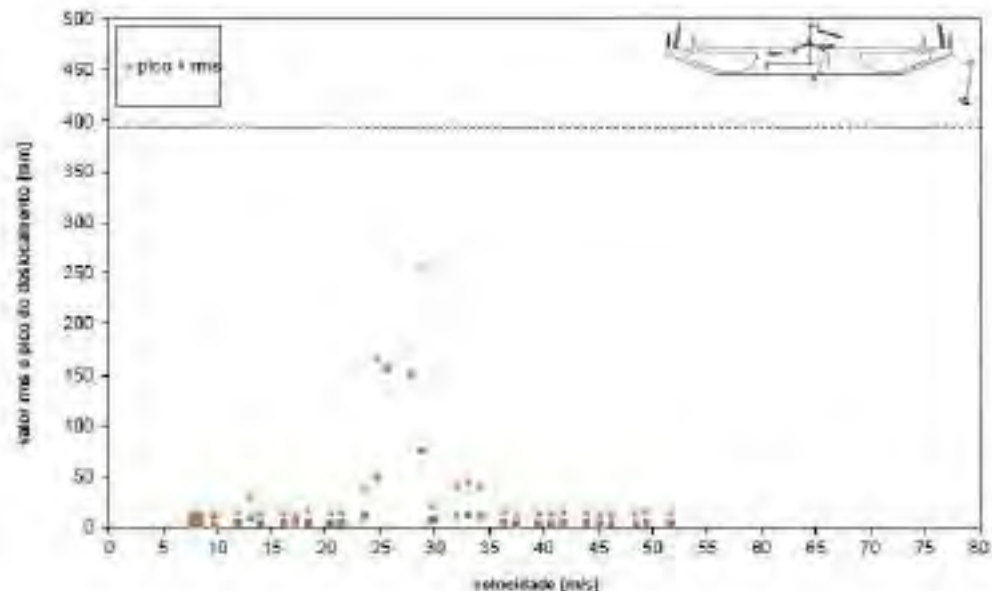


Figura 5 - Valor rms y pico de desplazamiento vertical en función de la velocidad de viento incidente.

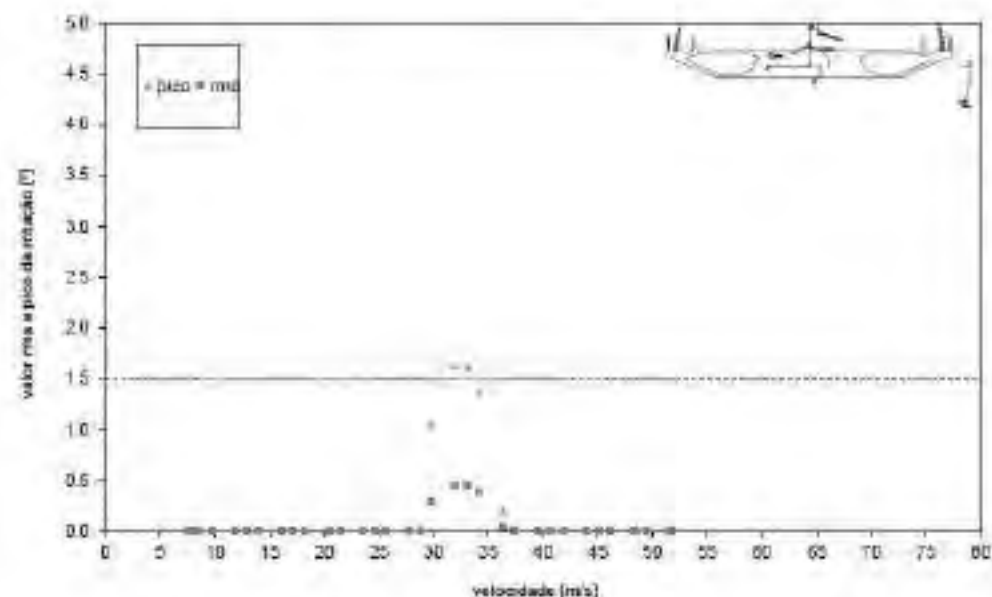
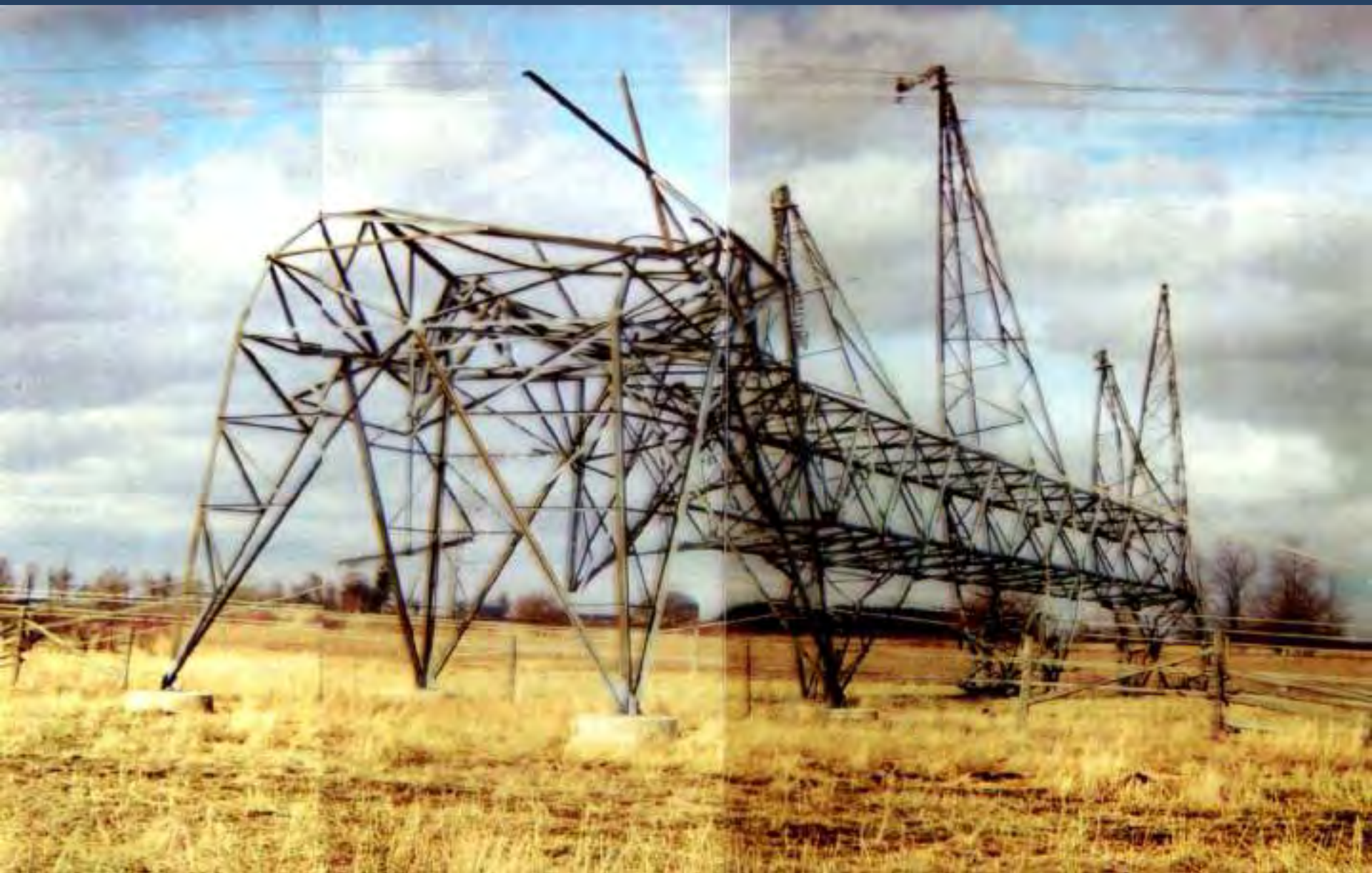


Figura 6 - Valor rms y pico de rotación en función de la velocidad de viento incidente.

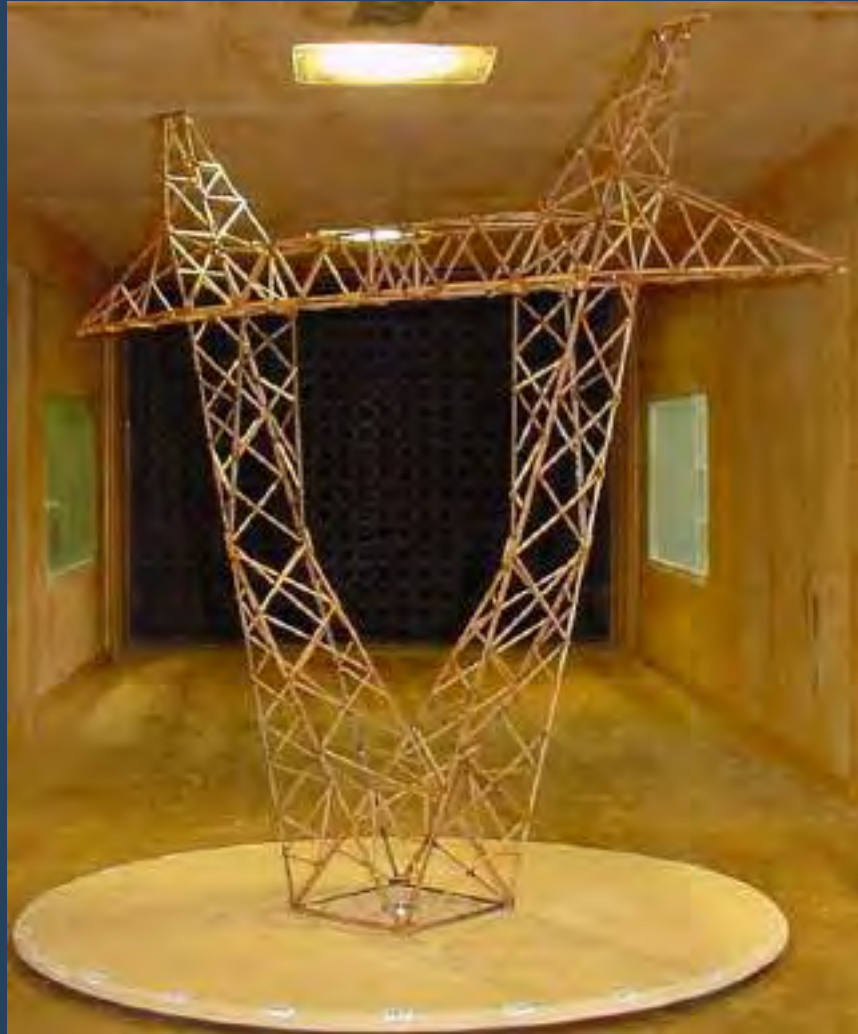
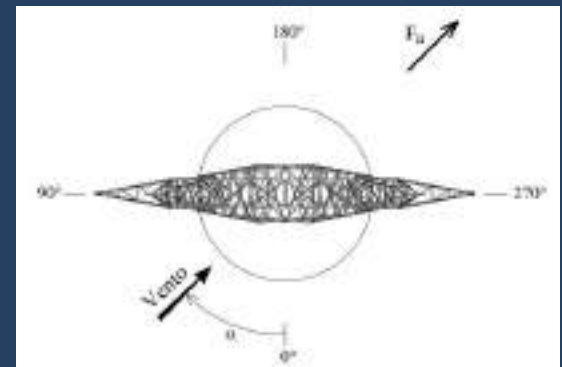
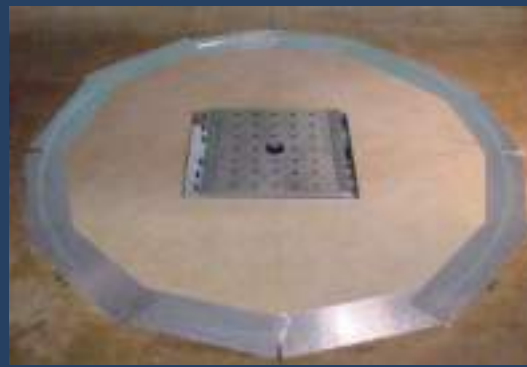
Puente Estalada Apopa - El Salvador

Valores referentes al prototipo, para un ángulo de incidencia del viento $\alpha = +4^\circ$, en escalamiento suave.

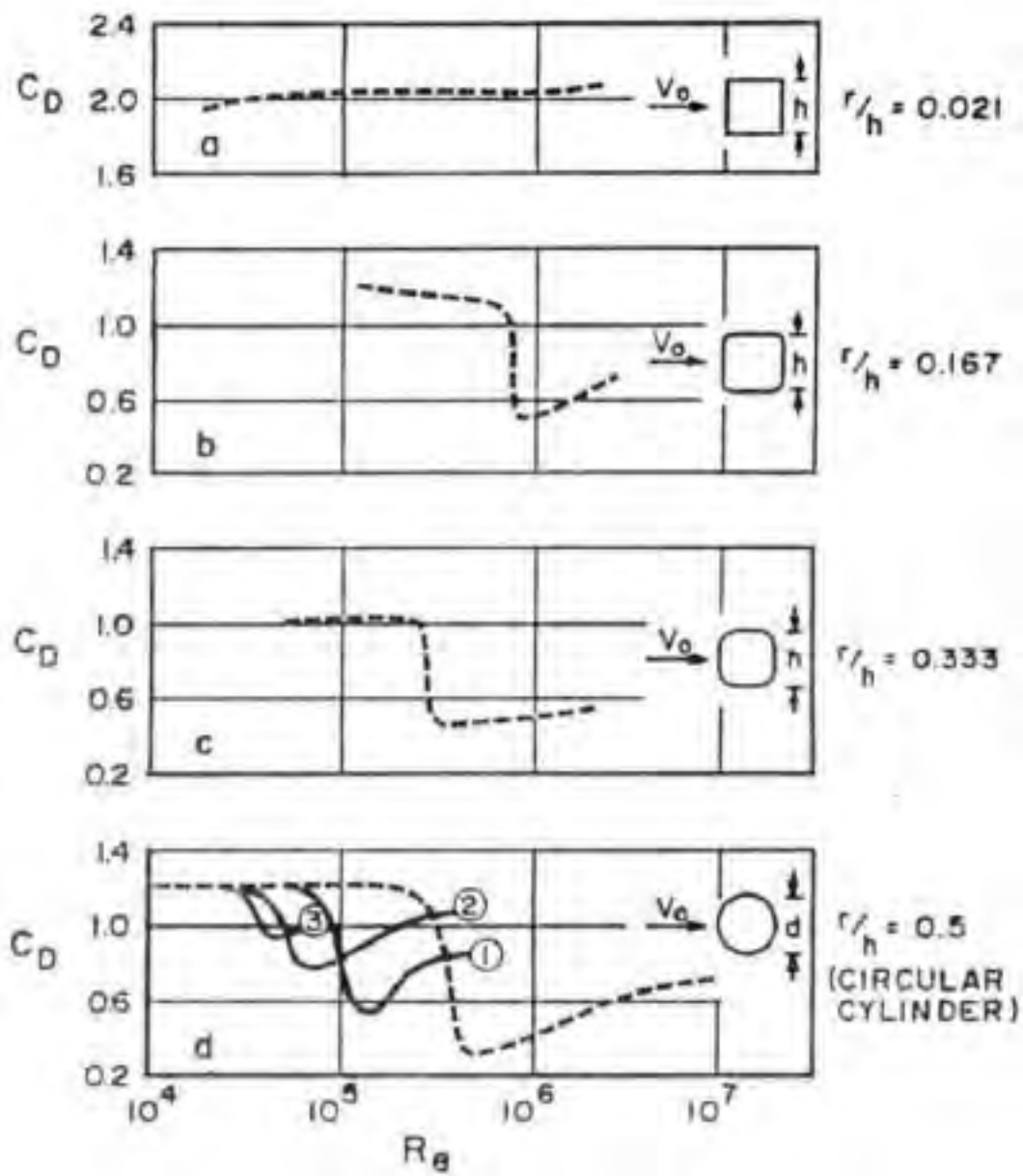
$\zeta_d = 0,104\%$ - $\zeta_\theta = 0,068\%$



**Latticed Tower Head
Wind Tunnel Models:
Tower A33 (left) and
Tower A55 (right)**



Cabos de Linhas de Transmissão – Coeficientes Aerodinâmicos





→ FULL-SCA - (FERRARO, 1983)

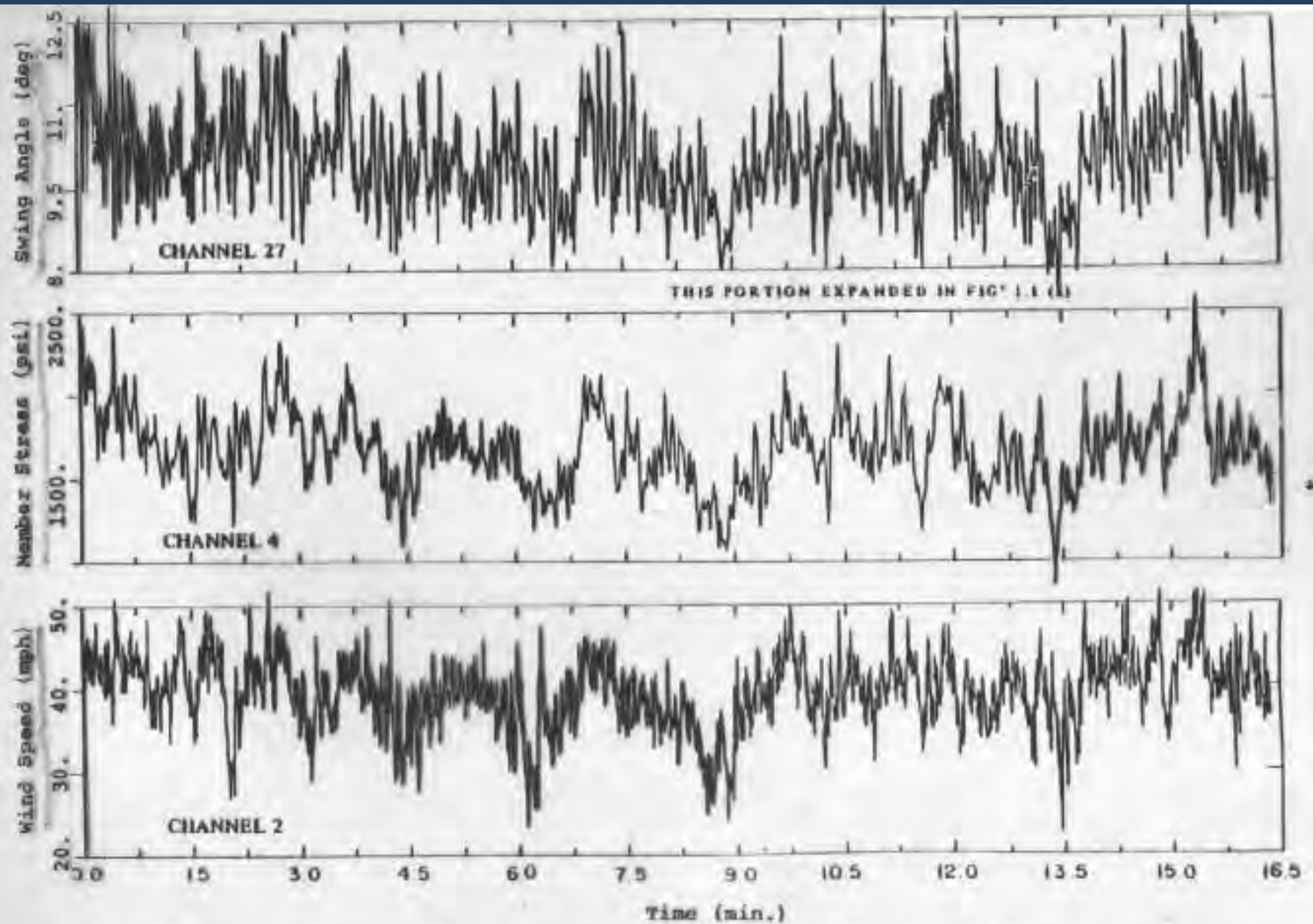
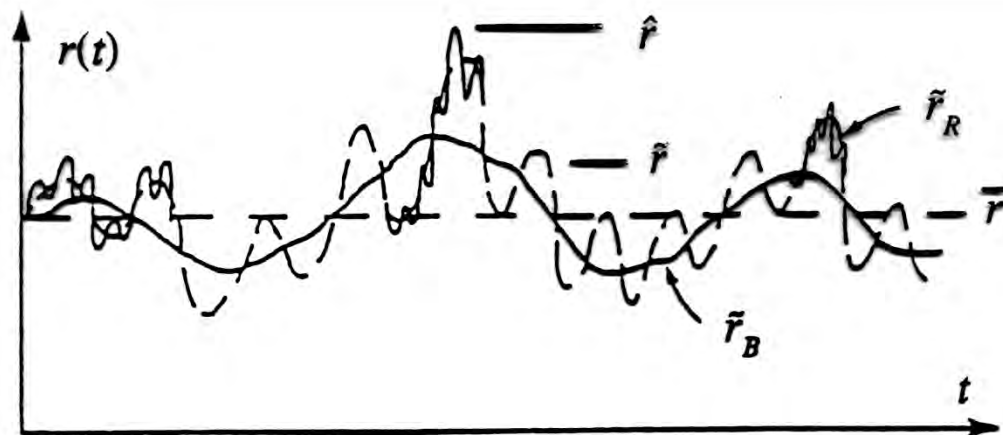
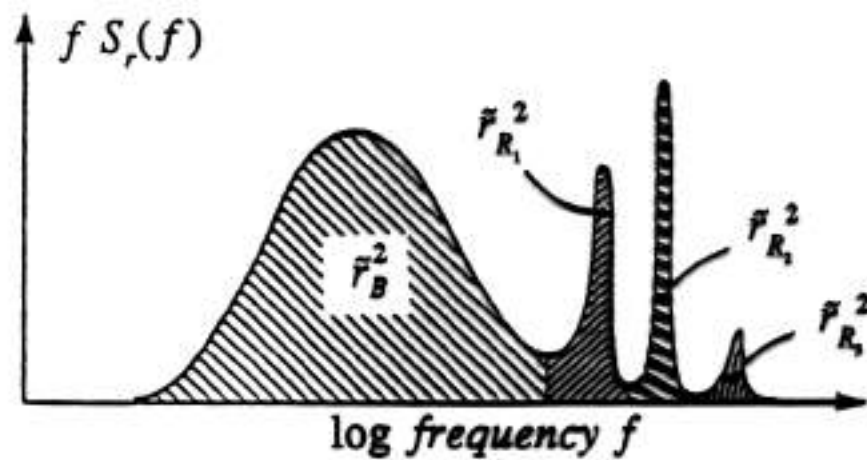


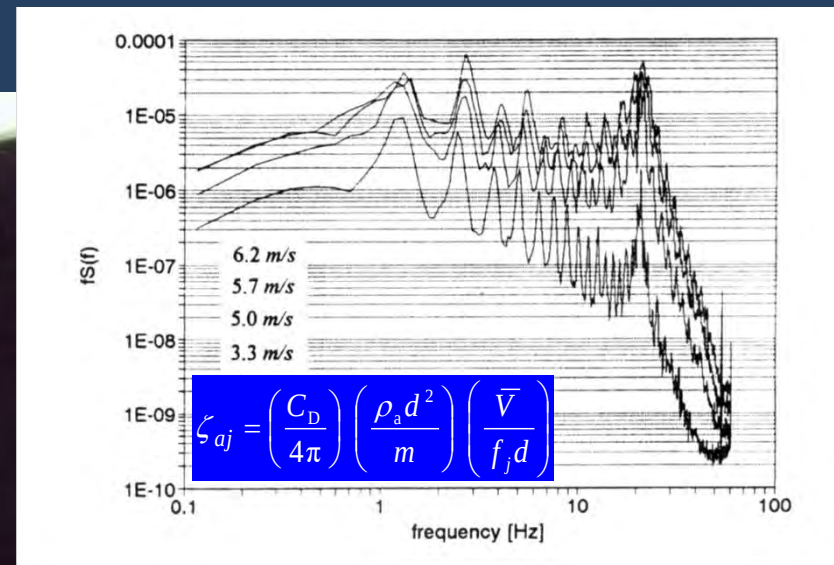
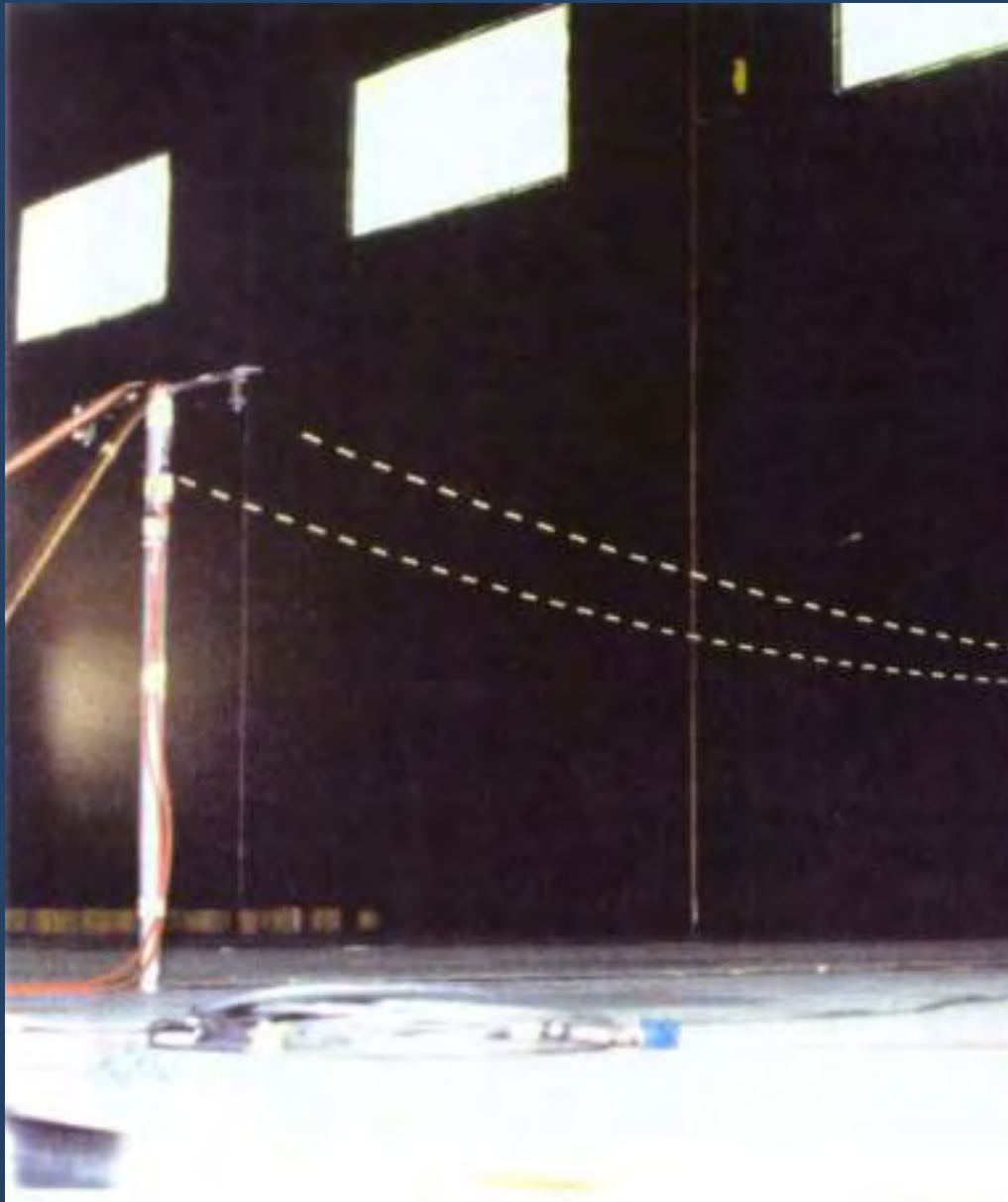
Figure 1.1 Instantaneous Recordings Of Wind Speed, Transverse Swing Angle and Member Stress For the John Day-Grizzly Line - February Storm - (2.5 samples/second plotted)



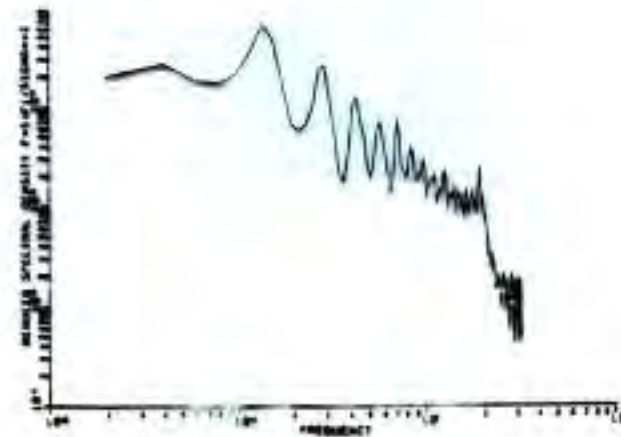
Idealized Time Series of Response



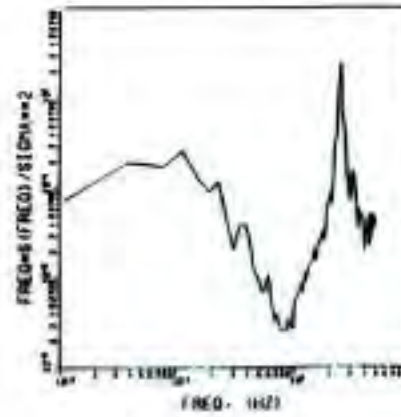
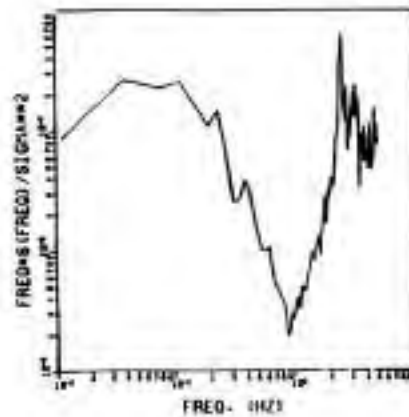
Idealized Response Spectrum



FULL-SCALE (FERRARO, 1983)

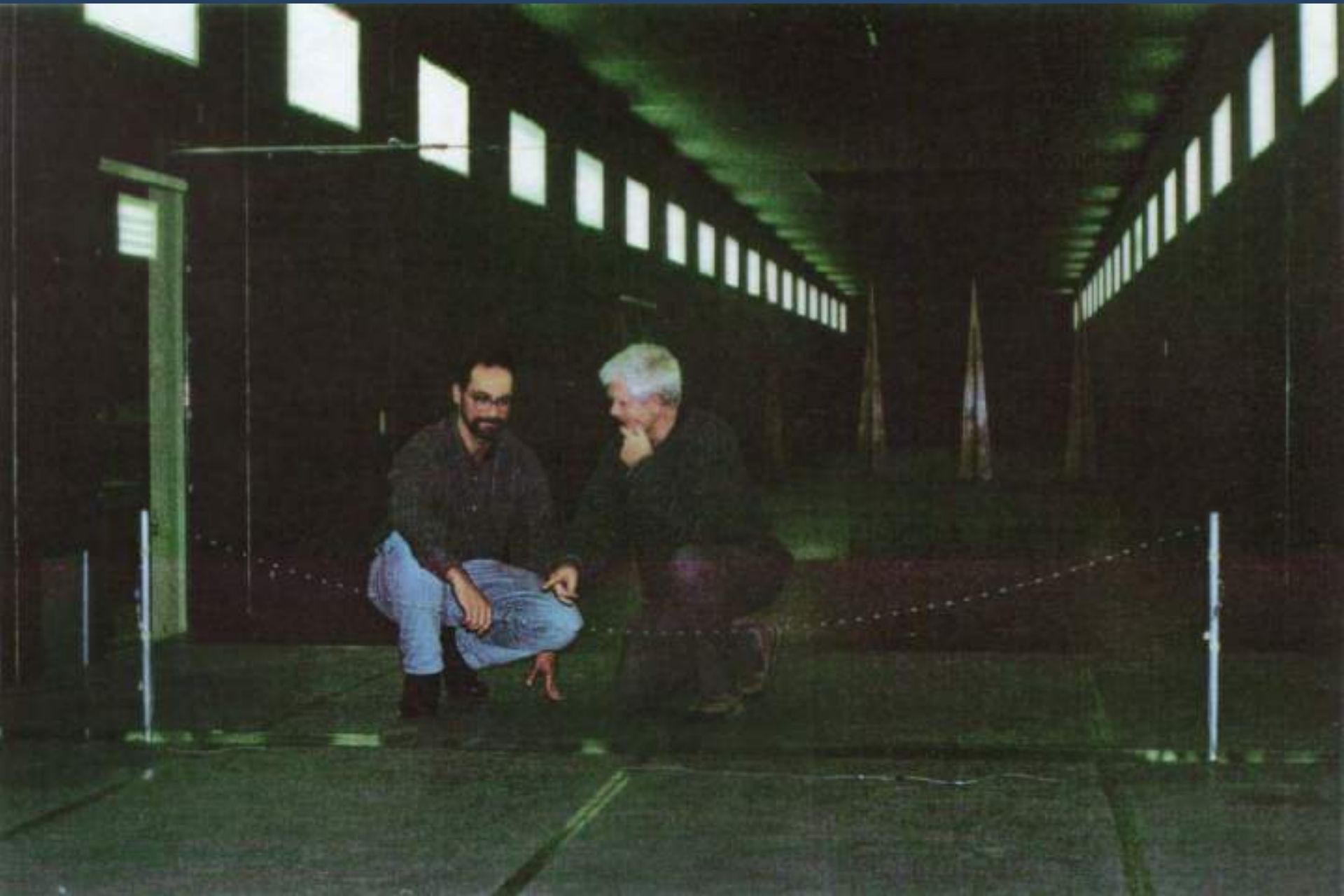


LAMBETH, ONTARIO



OREGON, U.S.A.

Cabos de Linhas de Transmissão – Comportamento Dinâmico



Aeroelastic model of electrical transmission tower-line system in Tongji University TJ-3 wind tunnel, from Liang et al (2014).



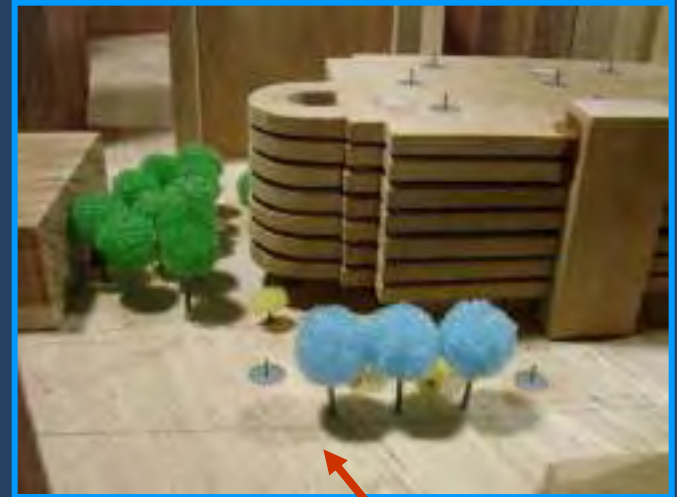
Empreendimento Prosperitas, São Paulo



Empreendimento Prosperitas, São Paulo



*Pressões
externas*

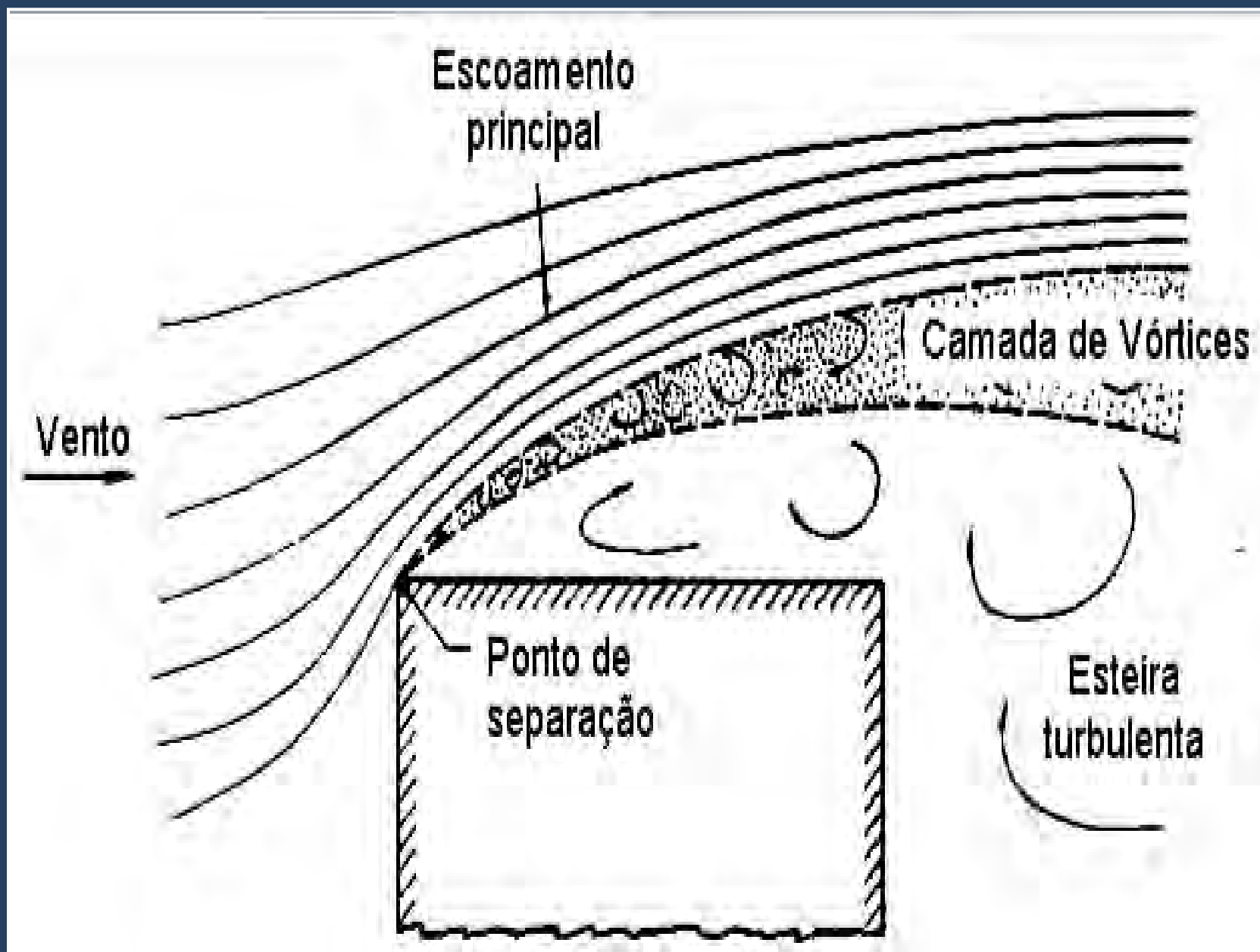


Pedestres

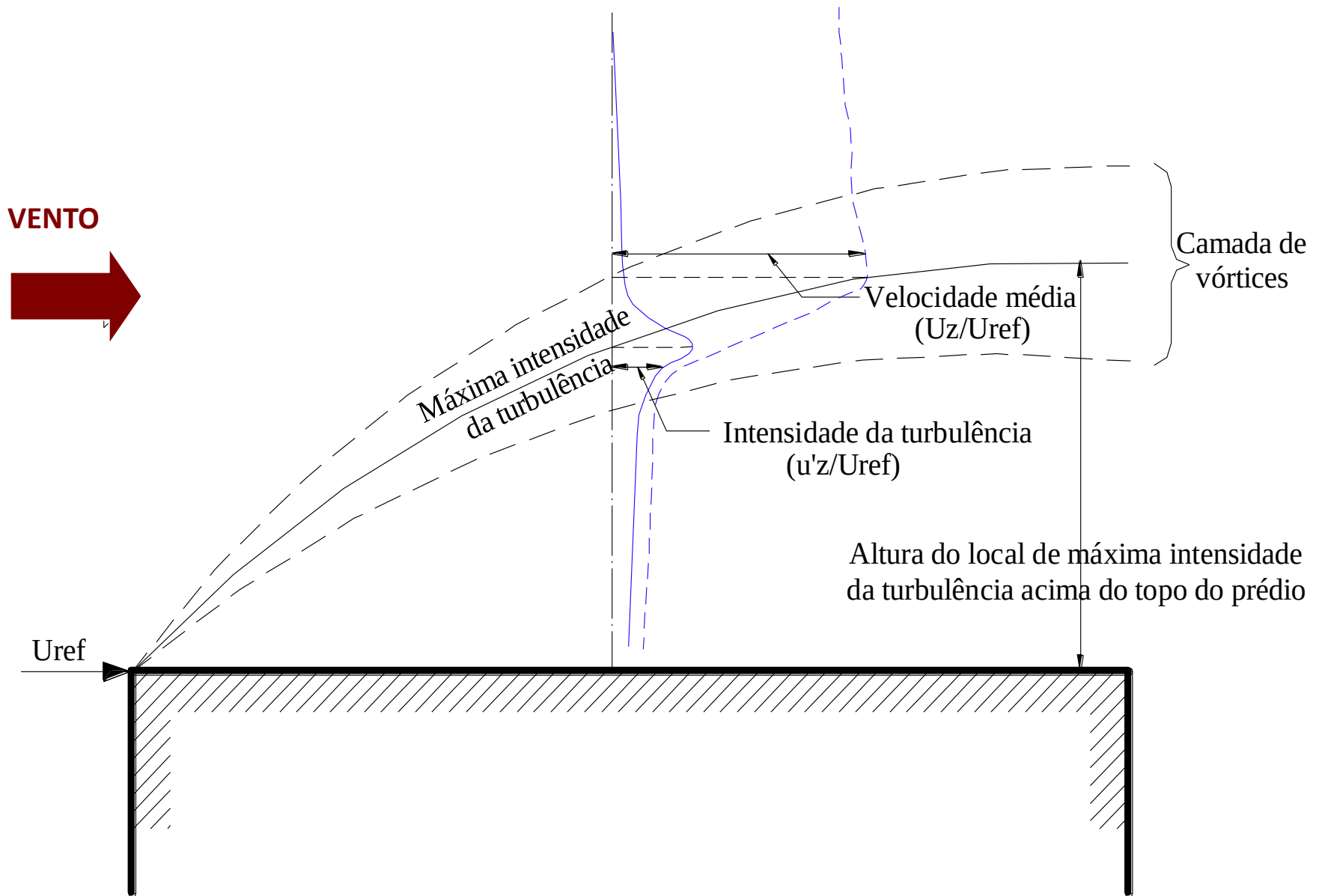


Heliponto

Edifícios SP Wellness, Barueri - SP



Edifícios SP Wellness, Barueri - SP



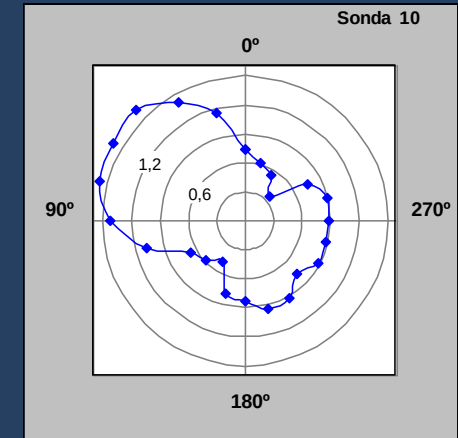
Edifício New Century, São Paulo – SP

Aflalo & Gasperini – 2003



Edifício New Century, São Paulo – SP

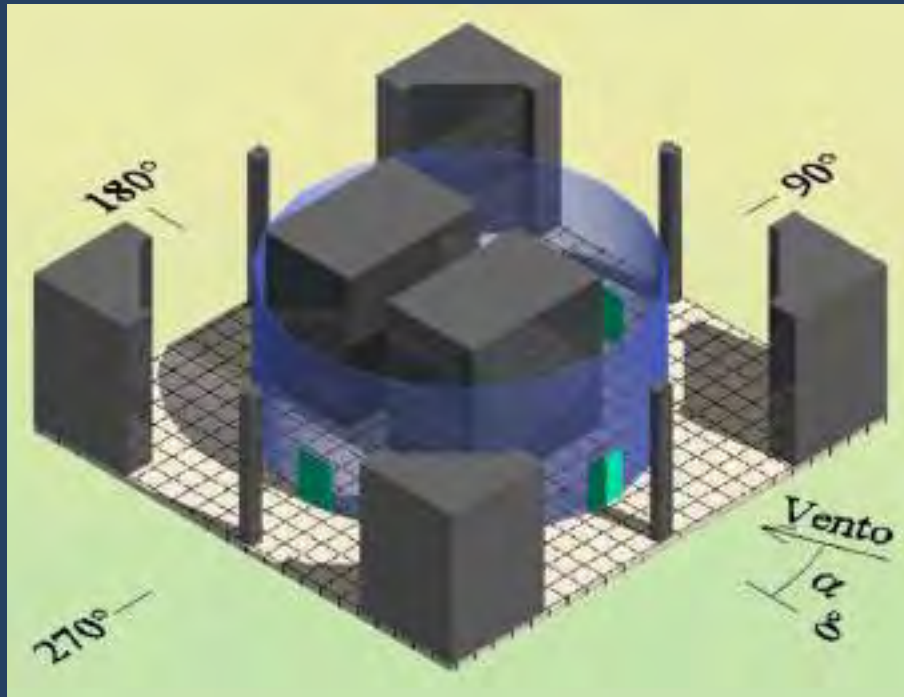
Aflalo & Gasperini – 2003



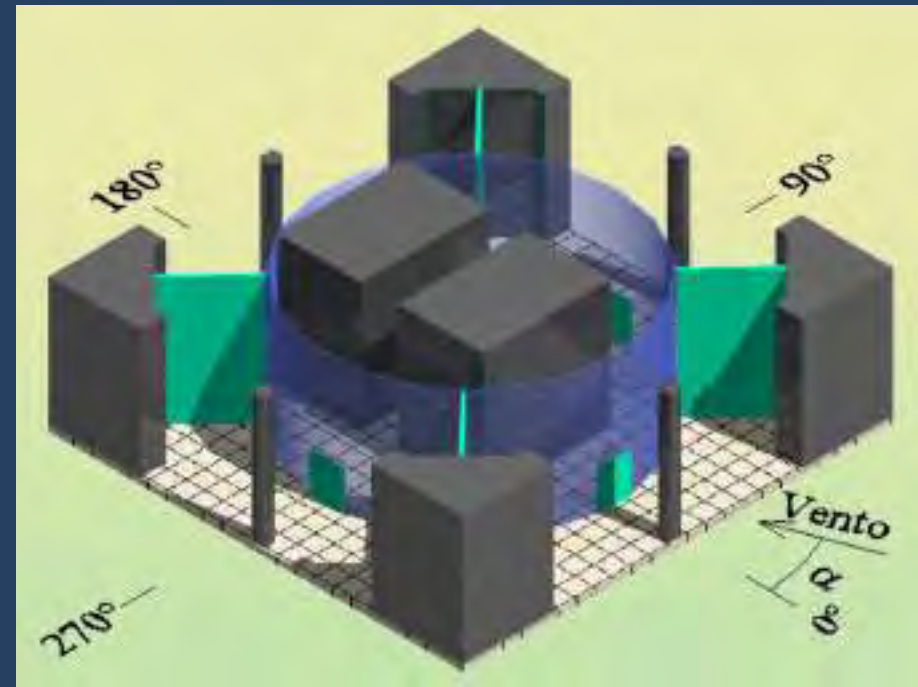
Edifício New Century, São Paulo – SP

Modificações no projeto original

Configuração ORIGINAL

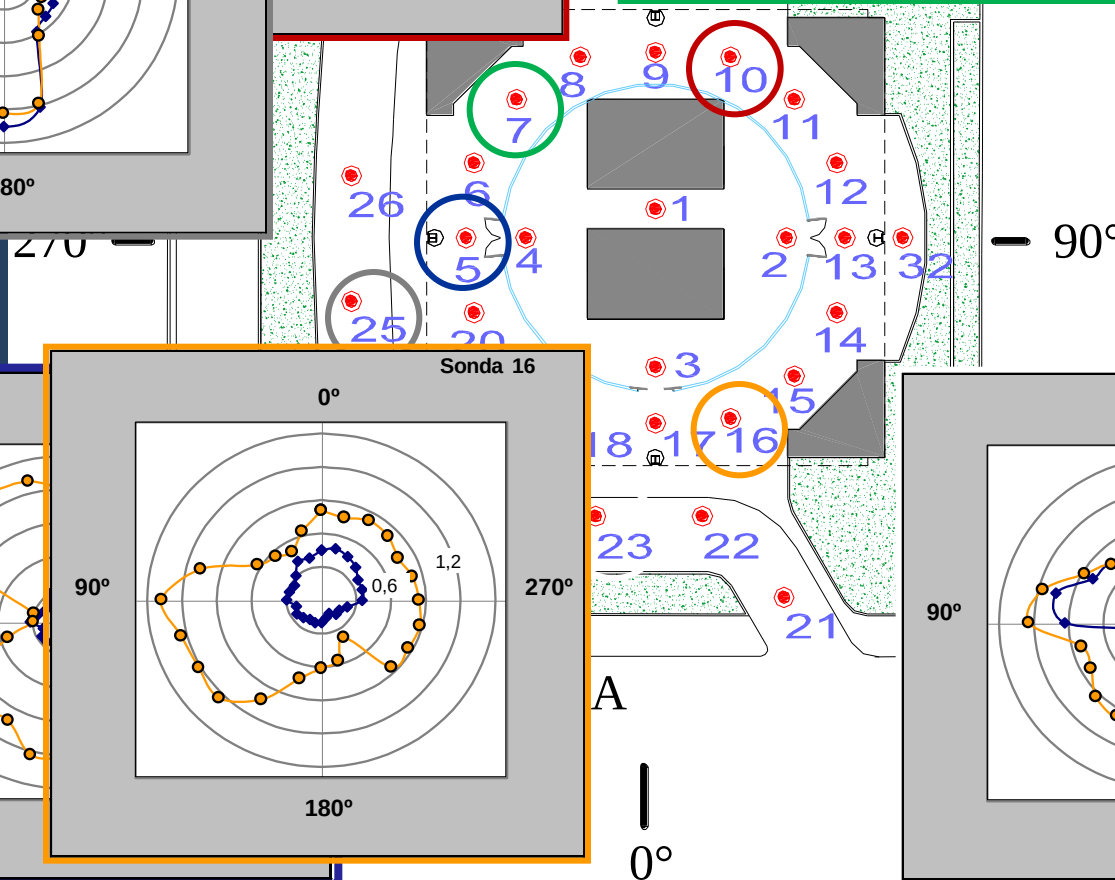
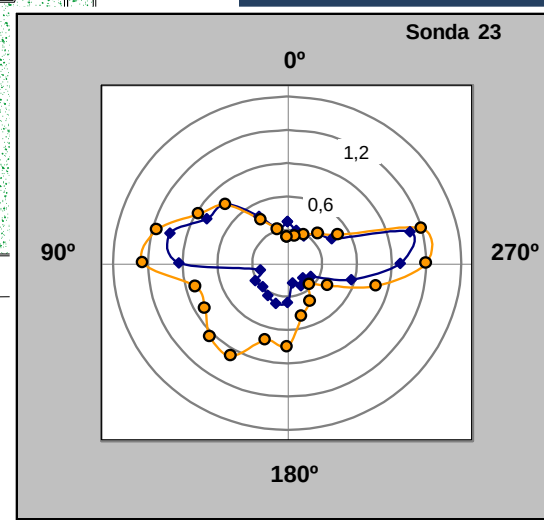
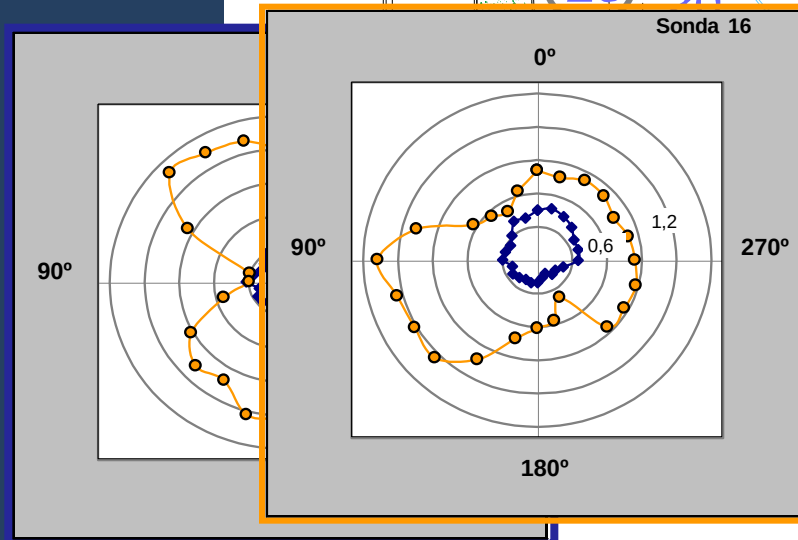
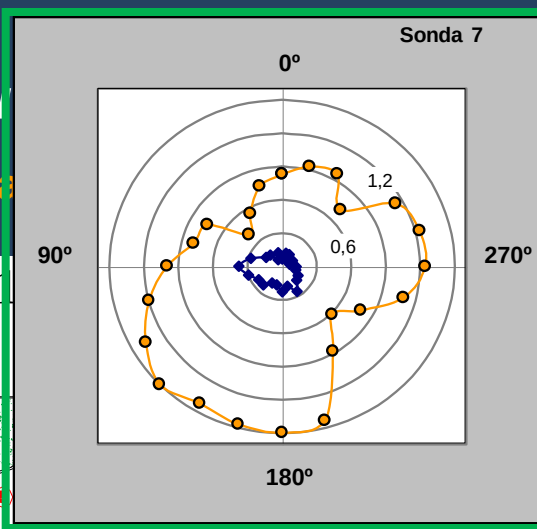
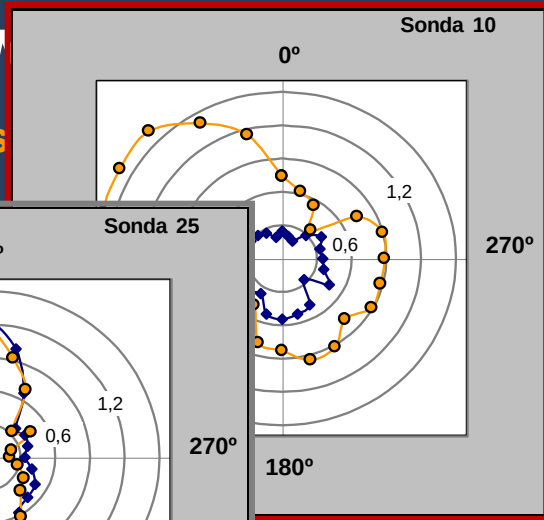
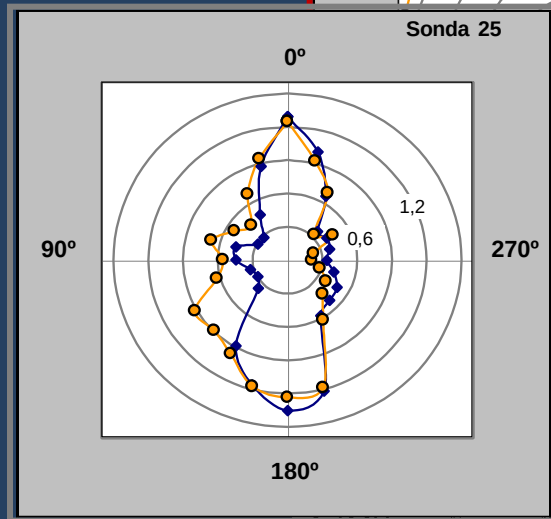


Configuração com
ANTEPAROS RADIAIS



Edifício M

Coeficientes



Edifício New Century, São Paulo – SP

Aflalo & Gasperini – 2003



Edifício New Century, São Paulo – SP

Aflalo & Gasperini – 2003



Edifício New Century, São Paulo – SP

Aflalo & Gasperini – 2003

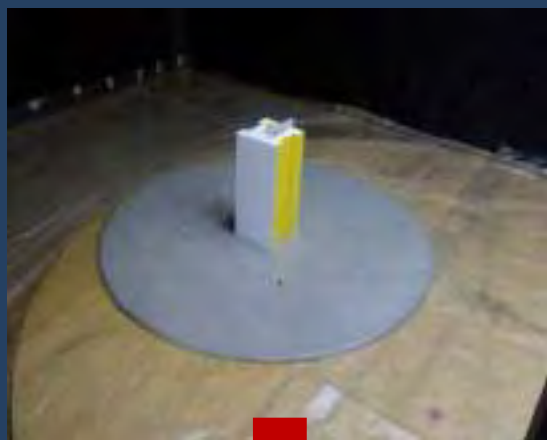


Edifício New Century, São Paulo – SP

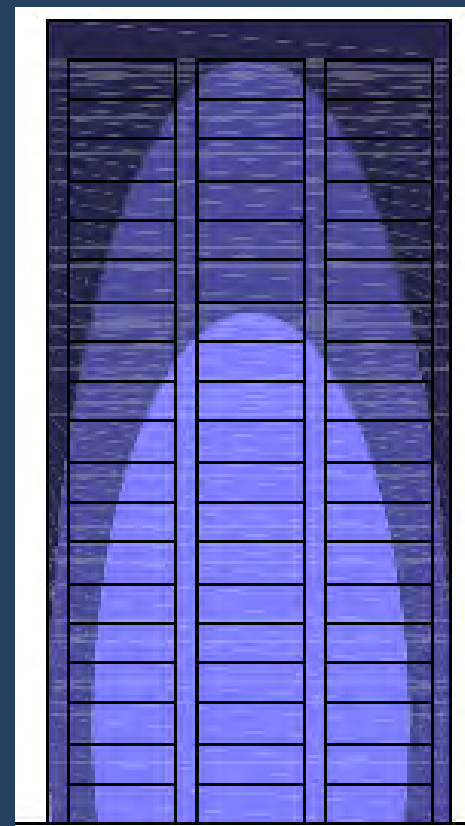
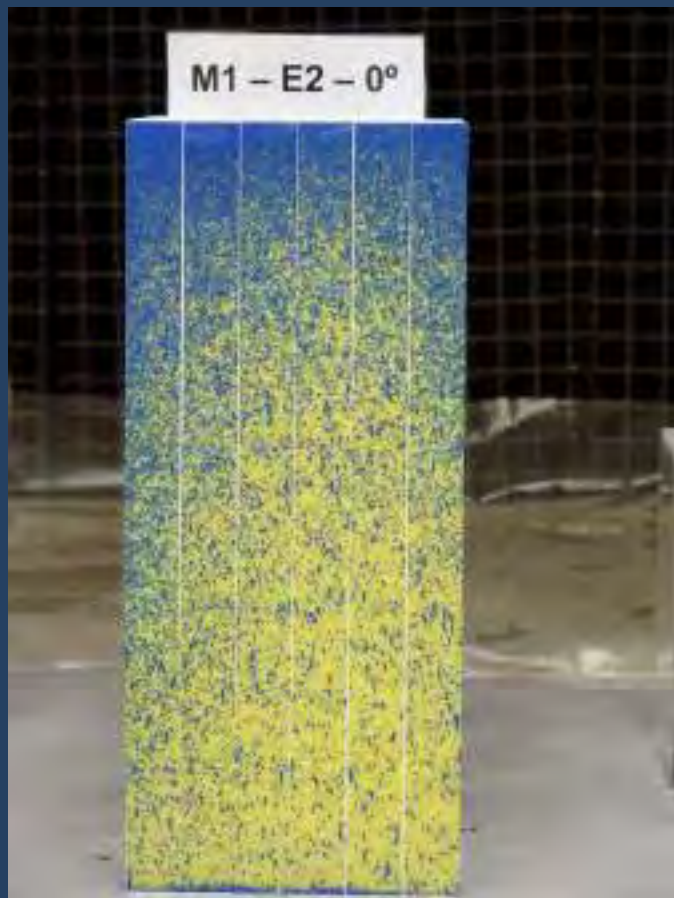
Aflalo & Gasperini – 2003



ENSAIOS COM CHUVA DIRIGIDA



ENSAIOS COM CHUVA DIRIGIDA



(MELO JR.; CARASEK, 2011)



Ginásio SESC - Rio



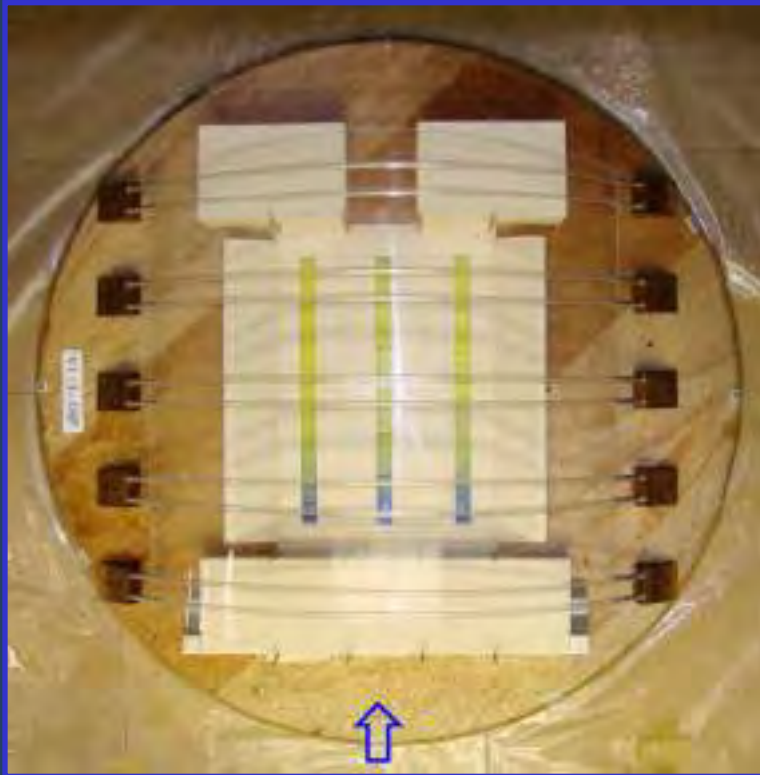
Fase II: Estudo da Penetração da Chuva

- ↳ Modelo reduzido do ginásio em escala 1/64;
- ↳ Simulação física da chuva combinada com o vento;
- ↳ Ensaio para 4 ângulos de incidência do vento ($p=0,22$; Cat. III e IV da NBR 6123/1988);
- ↳ Medição da deposição da chuva.

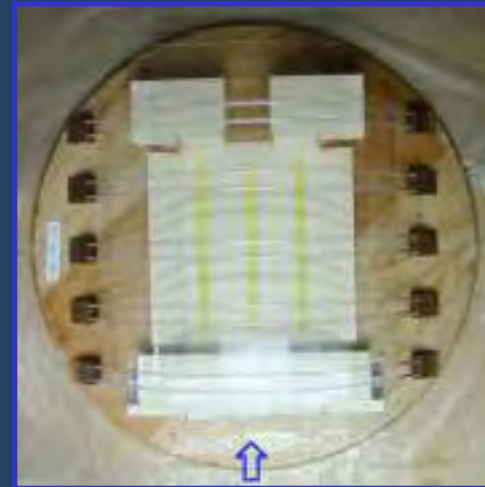


Fase II: Estudo da Penetração da Chuva

⇒ Principais resultados:



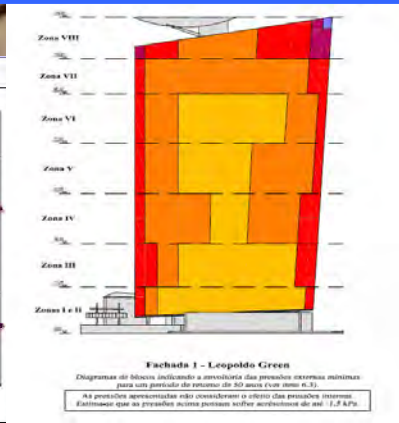
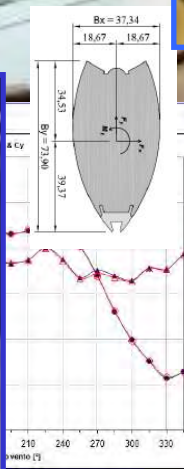
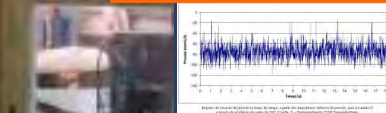
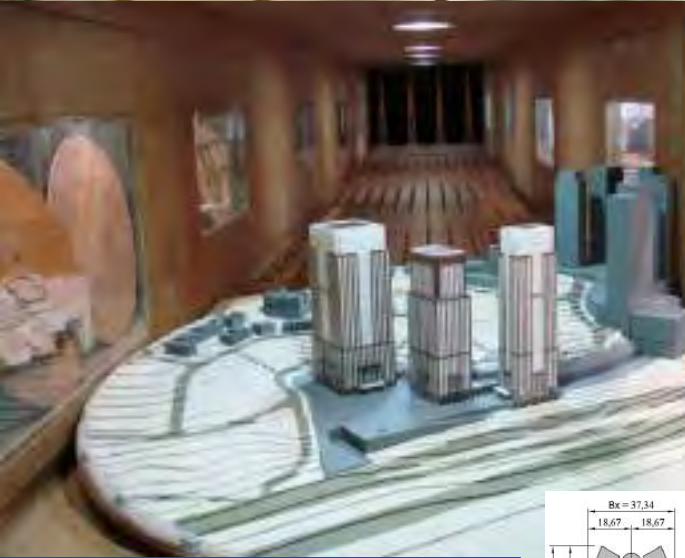
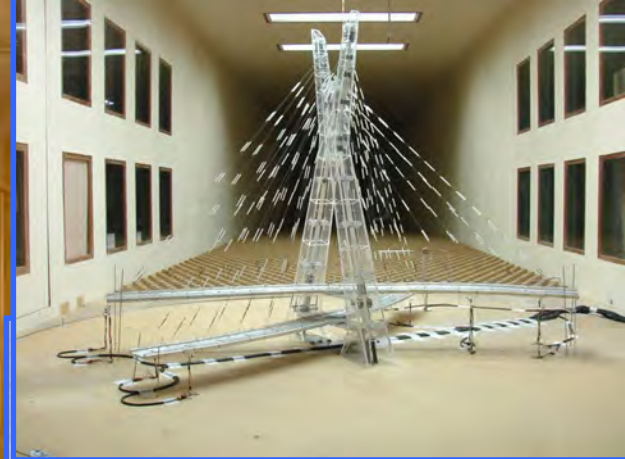
Vento 180°
Sem Placa



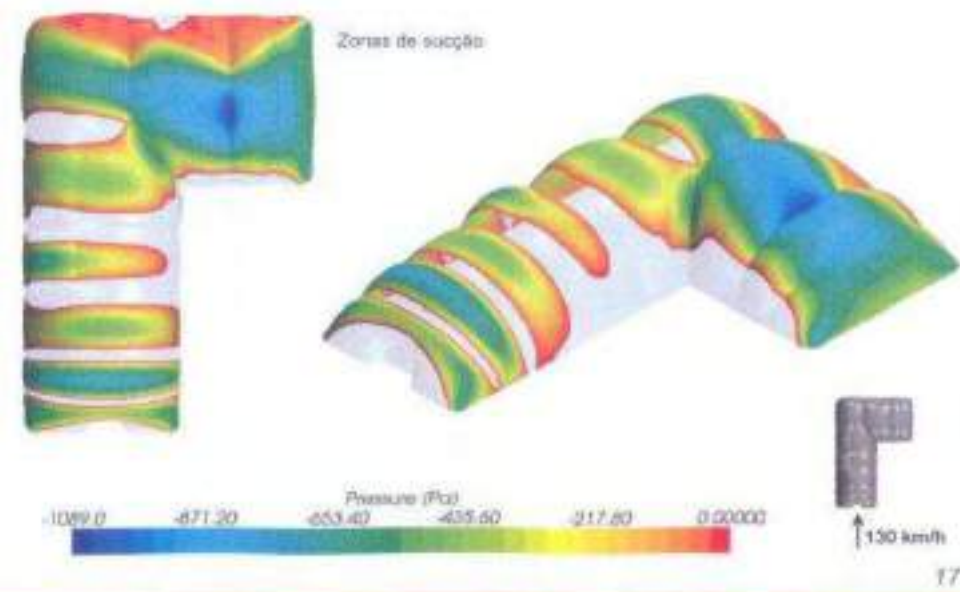
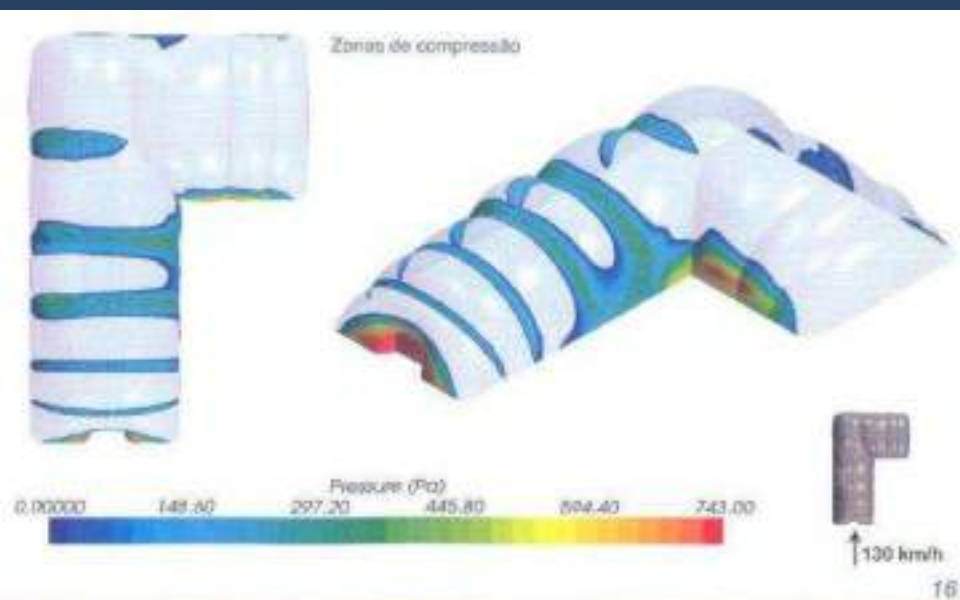
Vento 180°
Placa 5°

Solução adotada:

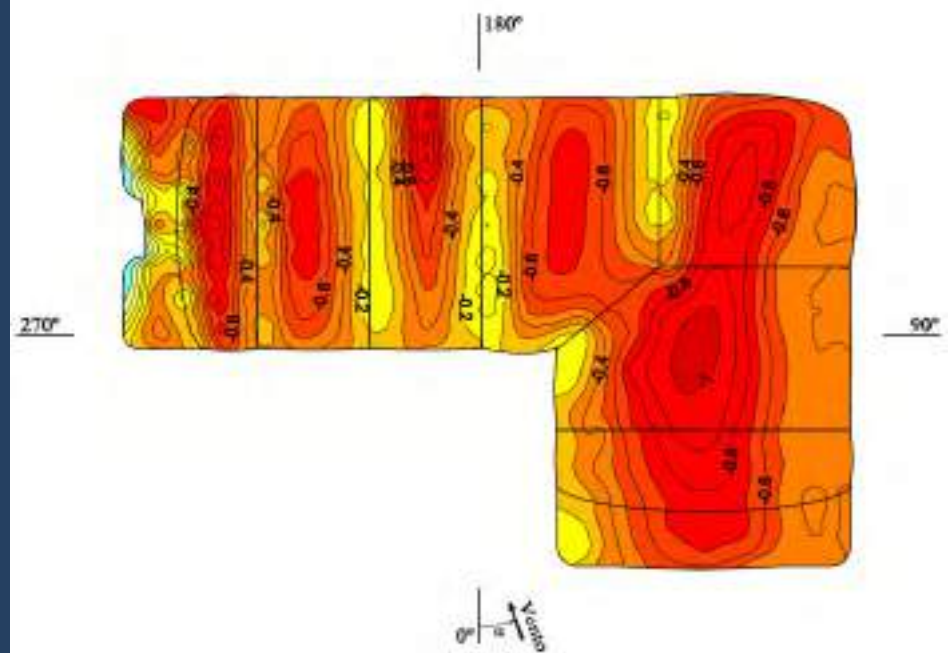




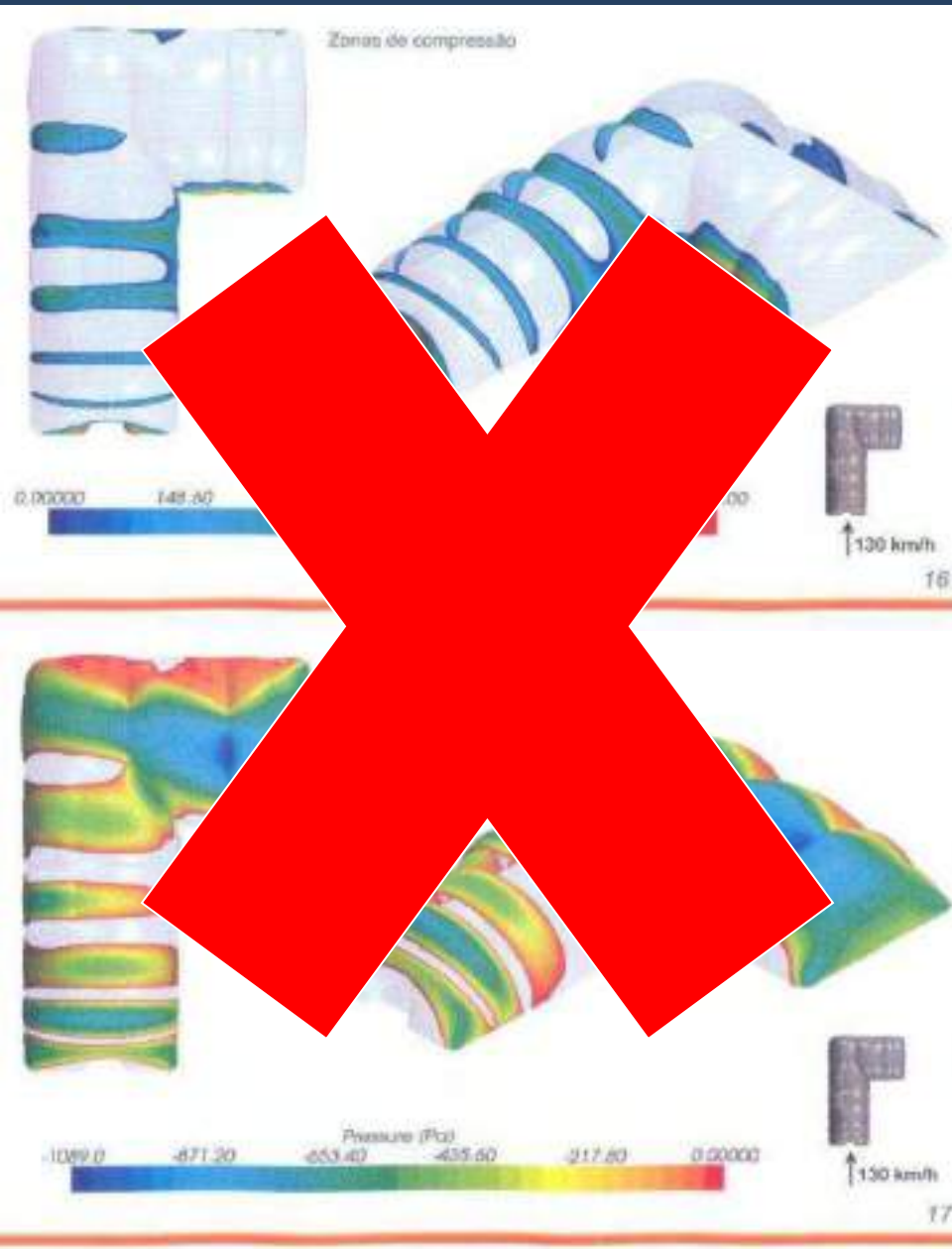
Simulación computacional utilizando el modelo *RANS k-e*



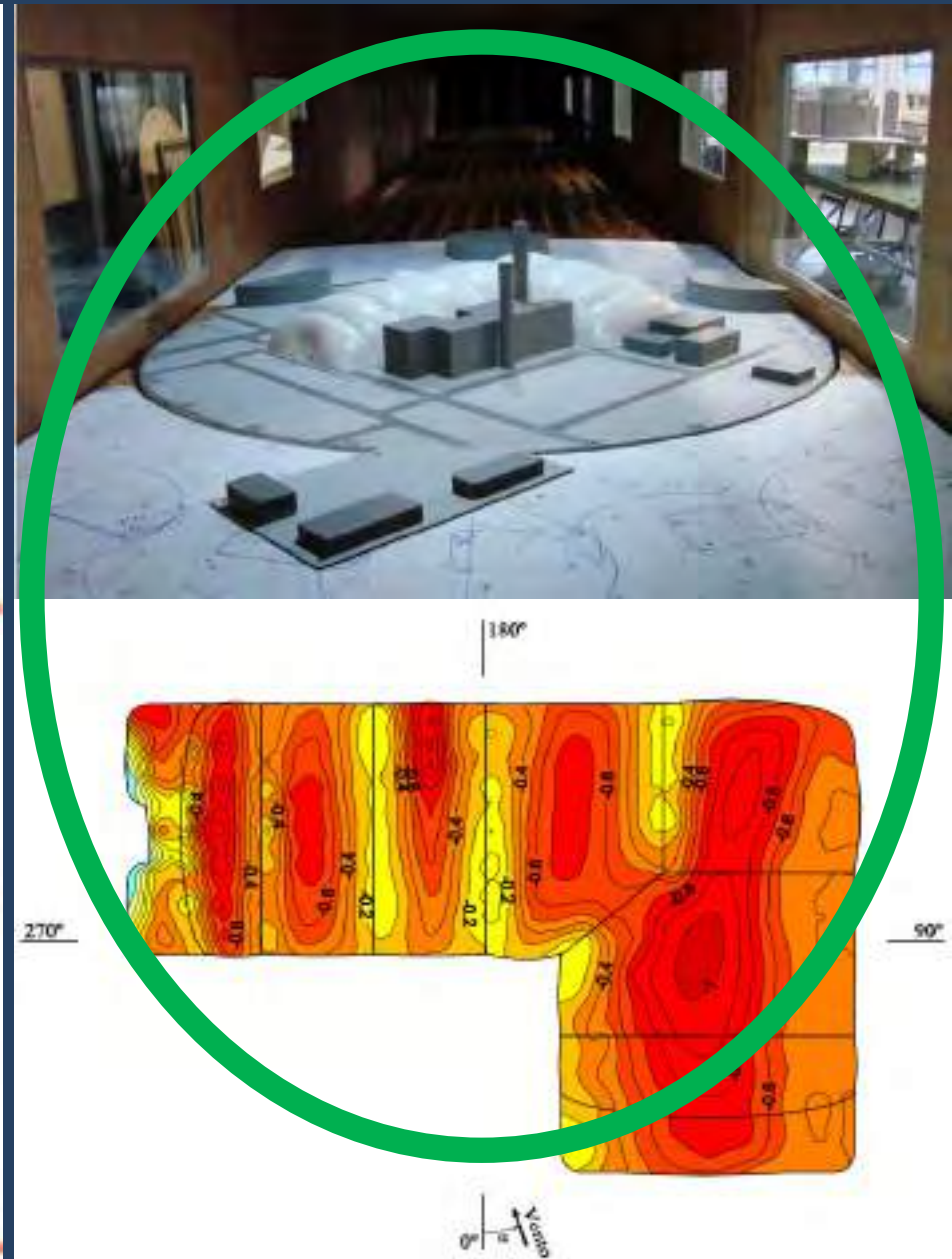
Simulación experimental utilizando el túnel de viento



Simulación computacional utilizando el modelo *RANS k-e*



Simulación experimental utilizando el túnel de viento



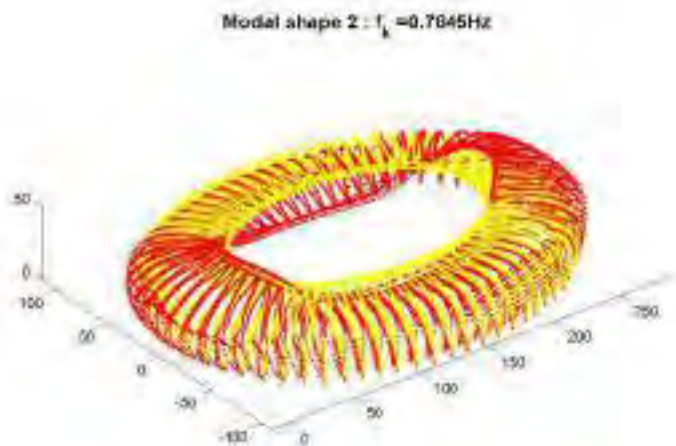
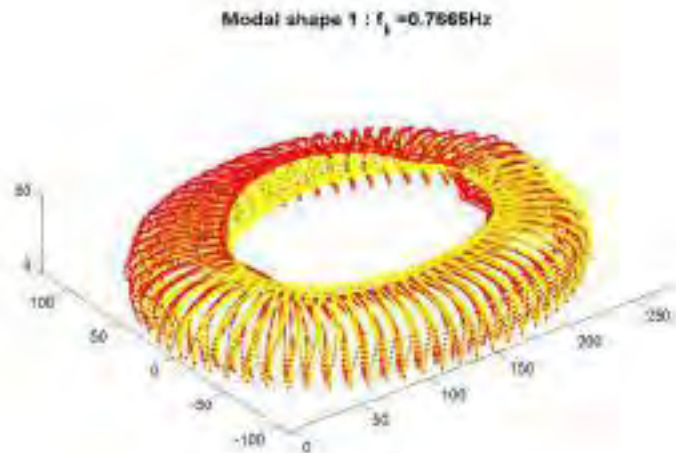
Estádio Beira-Rio, Sport Club Internacional - Porto Alegre



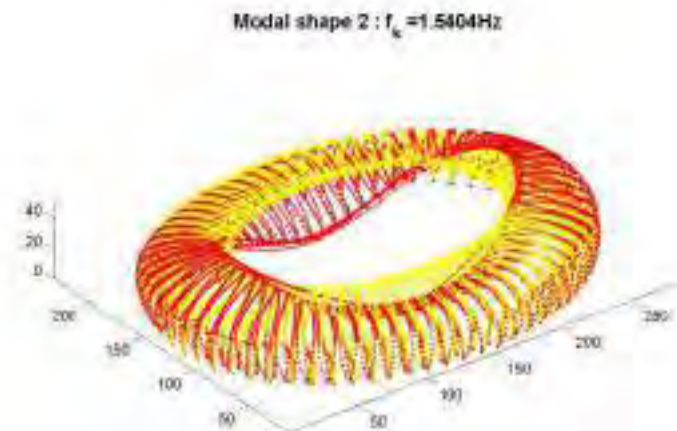
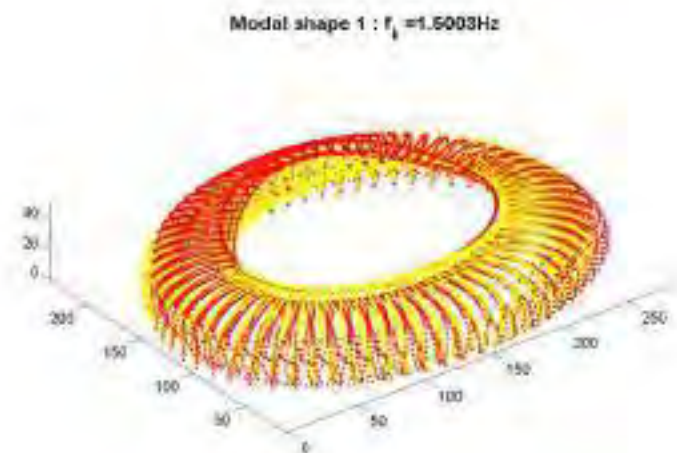
Estádio Beira-Rio, Sport Club Internacional - Porto Alegre



Formas Modais e Freqüências de Vibração Livre para a Estrutura Inicialmente Proposta



Formas Modais e Freqüências de Vibração Livre para a Estrutura Aperfeiçoada - Proposta Final



Porto Alegre - Parque Marinha do Brasil - Pós Vendaval



Full-scale damage to surroundings caused by downburst and no damage to stadium





Arena Grêmio
Porto Alegre, RS

Arena Grêmio - Porto Alegre
Antiga Configuração

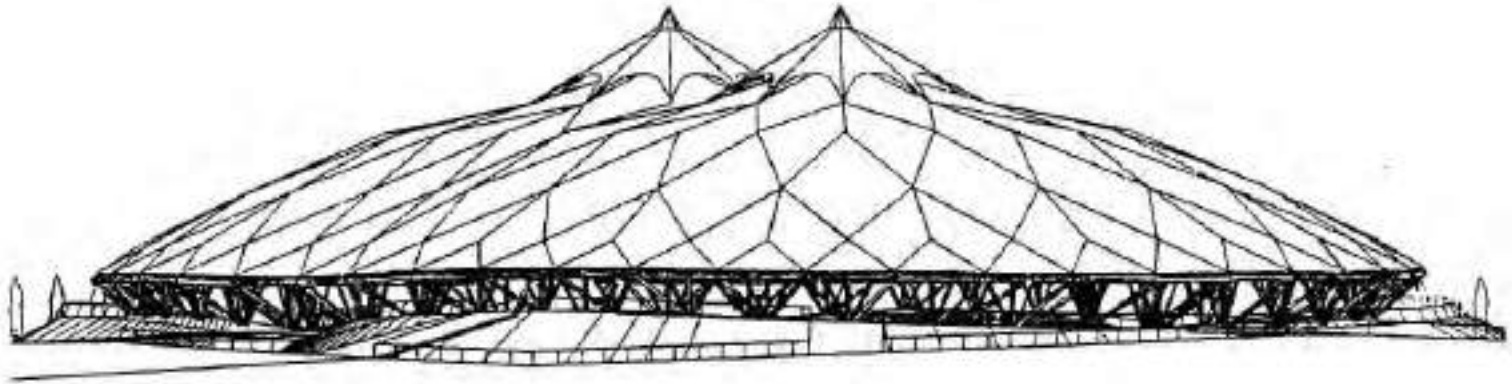


Arena Grêmio - Porto Alegre
Nova Configuração



Estádio La Plata - Argentina

(Riera et al, 2000)



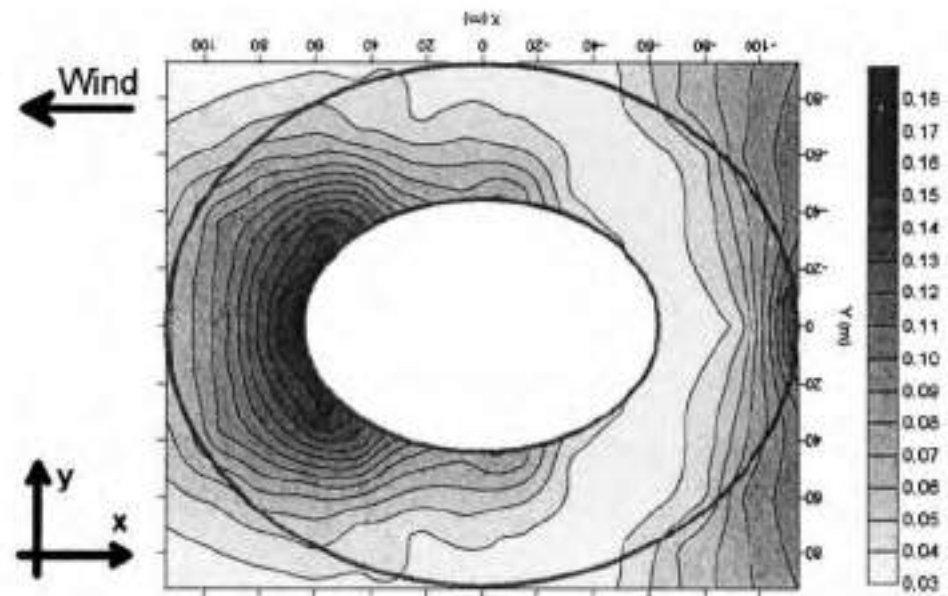
Schematic view of the cable roof of the La Plata Stadium, La Plata, Argentina.

$$\sigma_d^2 = E\{[d(t) - \mu_d]^2\} = \sum_{k=1}^n d_k^2 \lambda_k$$

m_d : resposta ao campo
de pressões médias.

d_k : resposta ao k-ésimo
“modo de pressão”

l_k : peso do k-ésimo modo
de pressão



Example of application: standard deviation of wind pressure for wind direction $\alpha = 180^\circ$.

Estádio La Plata Argentina





*Estádio Olímpico
Luís Ramos*

Puerto La Cruz

Venezuela

MEDABIL





Estádio Olímpico Luís Ramos

**Puerto La Cruz,
Venezuela**

Dimensões:

**270,0m – Arco principal
166,7m – Cobertura**

**Projeto: Ferenge
Engenharia Ltda.**

**Estrutura: Medabil
Sistemas Construtivos S.A.**

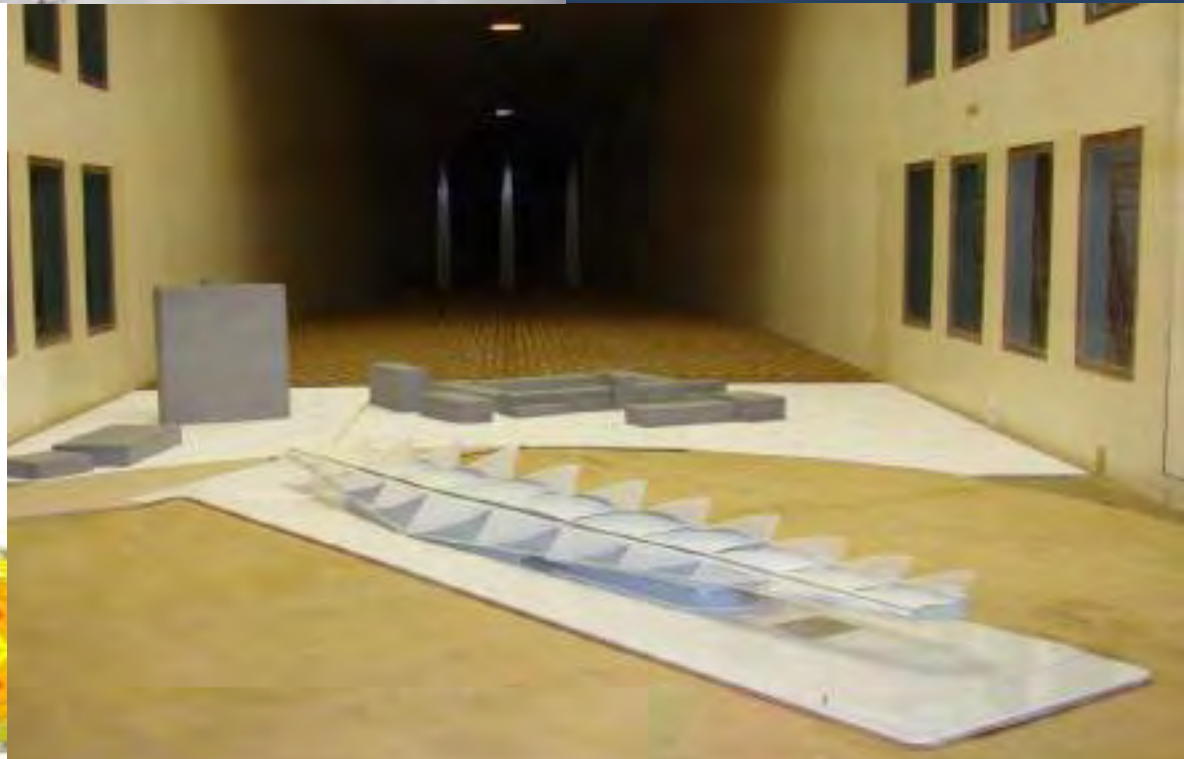
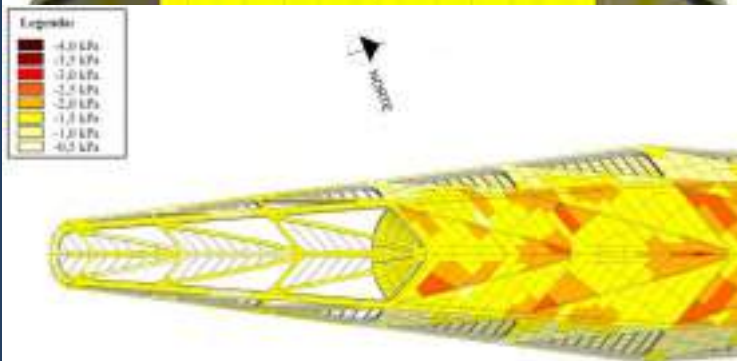
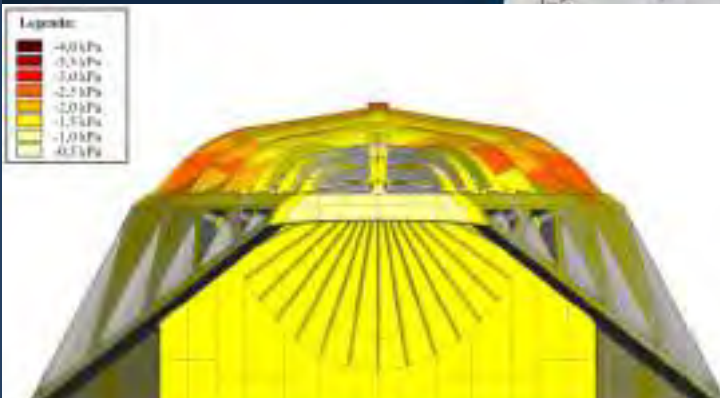




*Museu do
Amanhã*

Rio de Janeiro

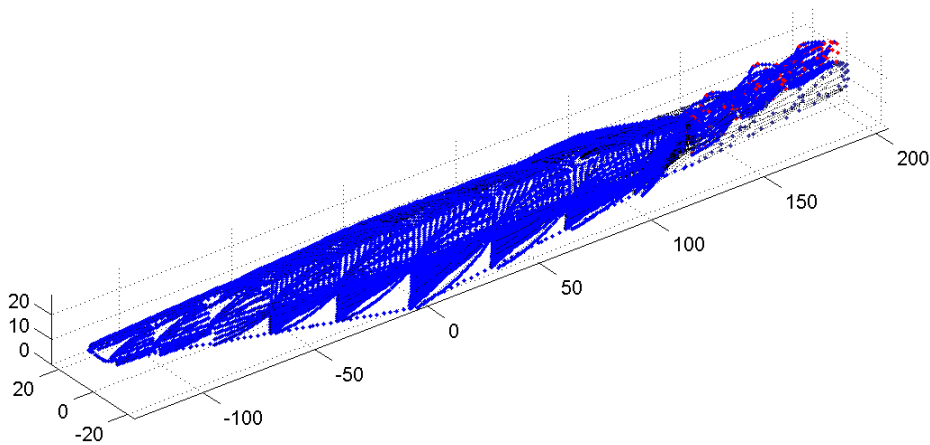
*Santiago
Calatrava*



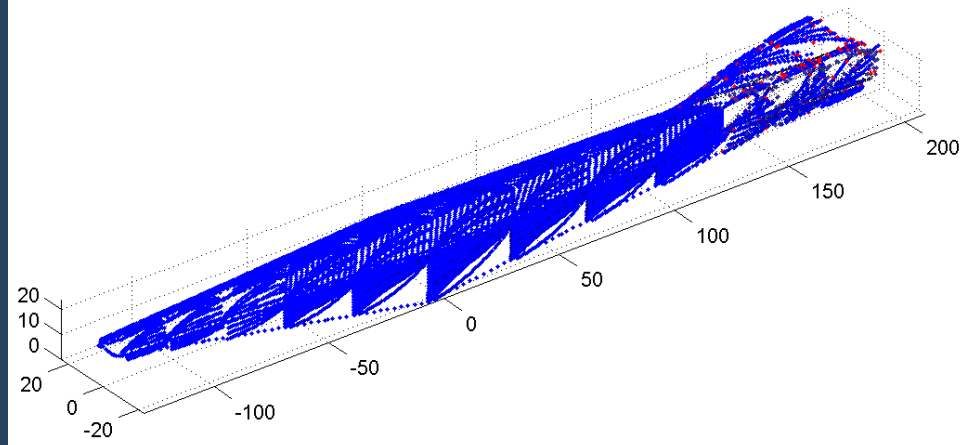
Formas Modais e Freqüências de Vibração Livre

Museu do Amanhã

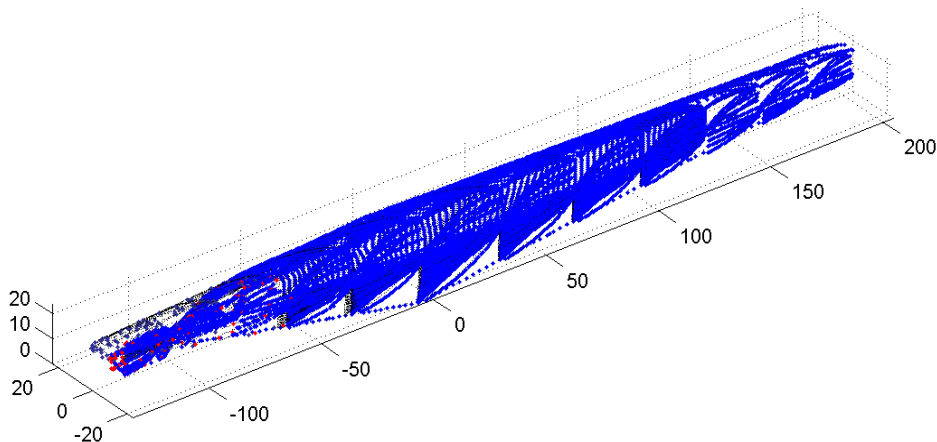
Modal shape 1 : $f_k = 0.61\text{Hz}$



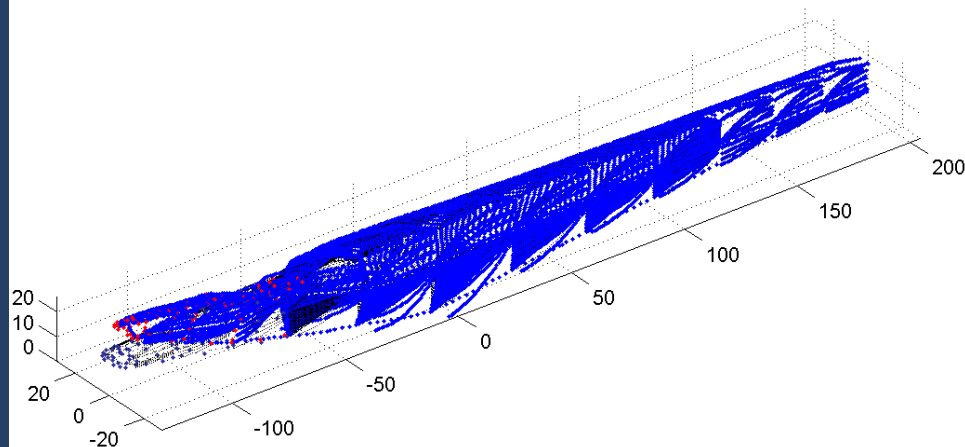
Modal shape 2 : $f_k = 0.79\text{Hz}$



Modal shape 3 : $f_k = 0.88\text{Hz}$



Modal shape 4 : $f_k = 0.97\text{Hz}$



Instituto Moreira Salles

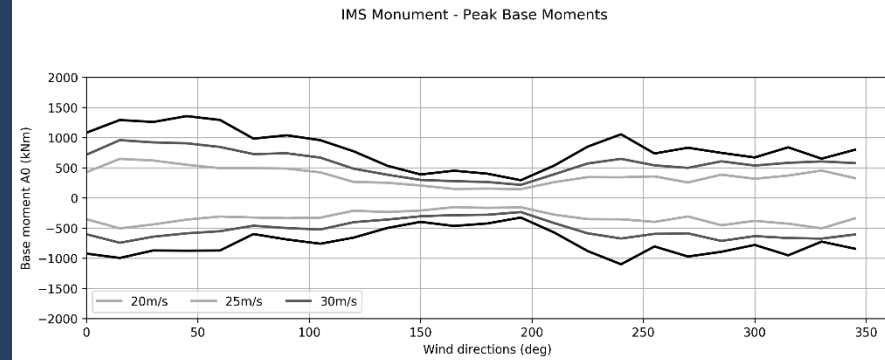
São Paulo, SP



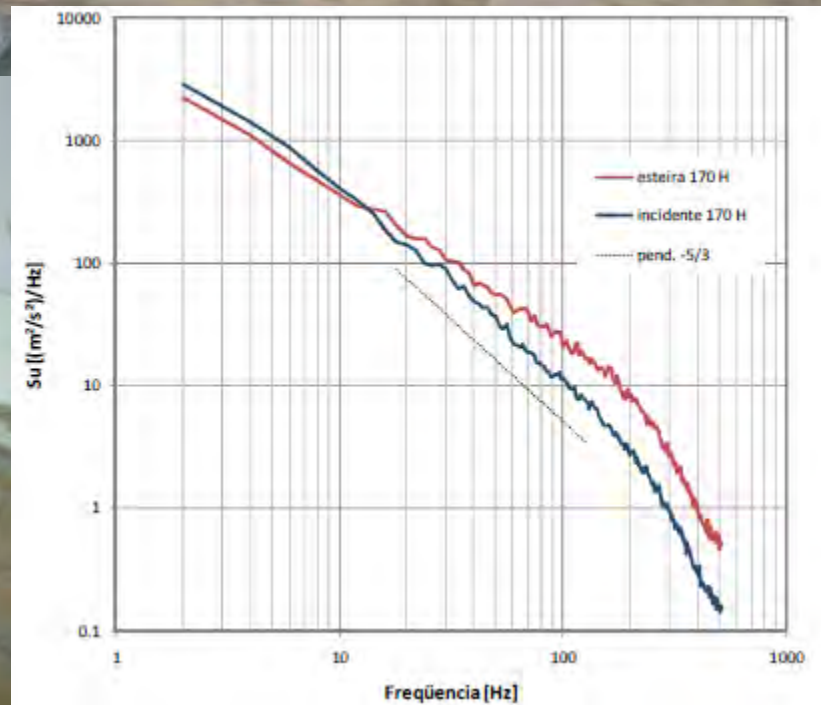
Instituto Moreira Salles - São Paulo, SP
Richard Serra "Echo" (2019)



Instituto Moreira Salles
São Paulo, SP
Richard Serra “Echo” (2019)



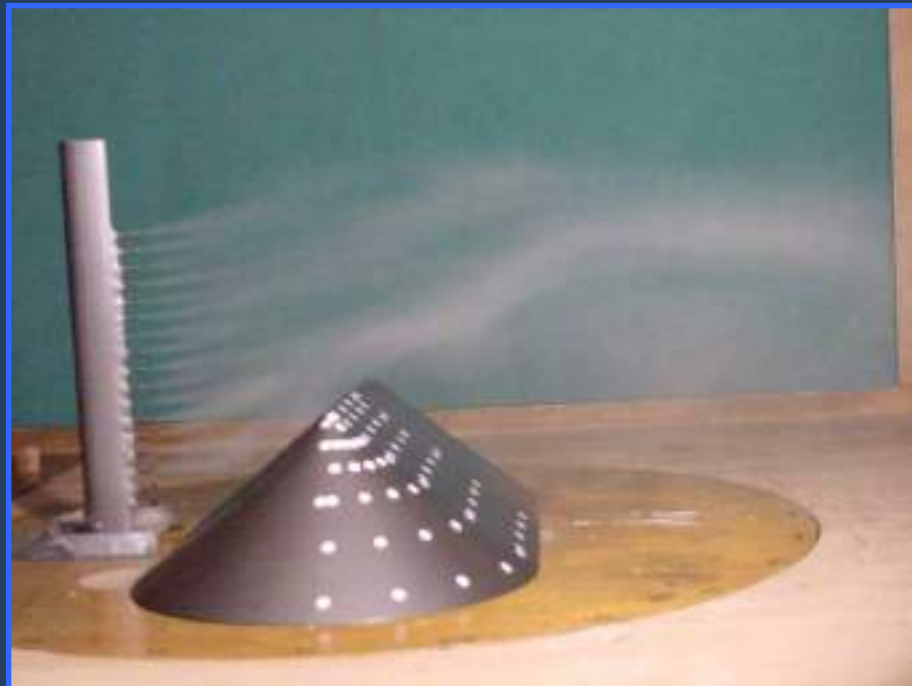
Aerogeradores



Pátio de Carvão de Tubarão – CVRD, Vitória - ES



Pátio de Carvão de Tubarão – CVRD, Vitória - ES



Transporte de partículas de carvão



Celulose Riograndense, Guaíba, RS - Modelo da pilha de cavacos no interior do Túnel de Vento. Ângulo 266° - Config. II / Posic. 225°

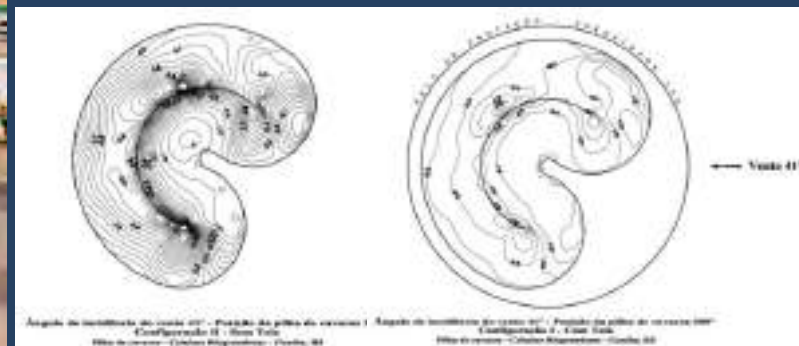
CMPC - Celulose Riograndense,
Guaíba, RS

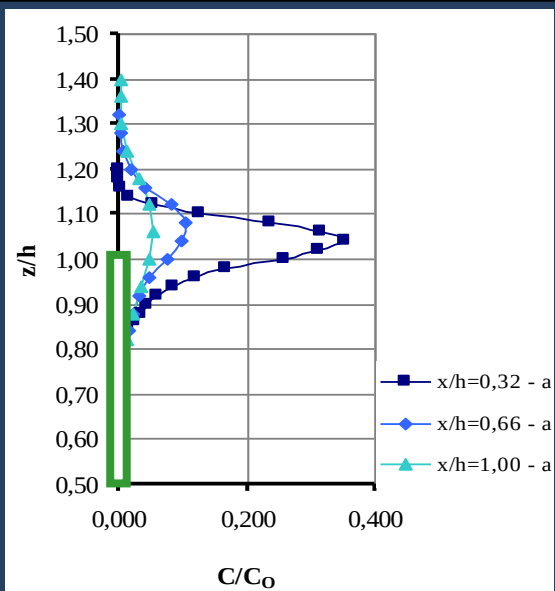
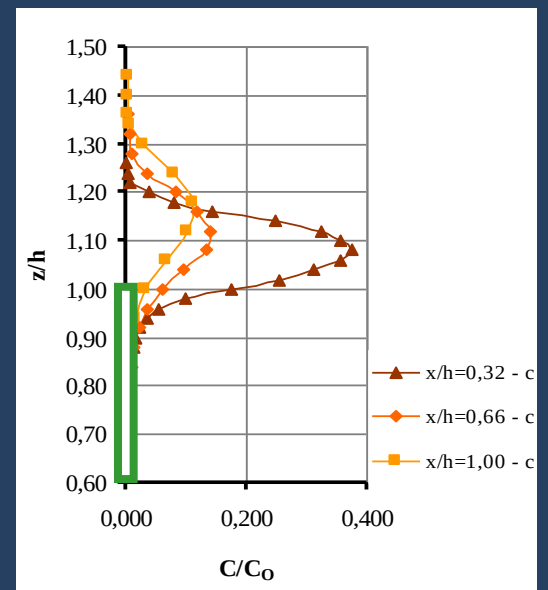


**Estudo em Túnel de Vento dos
Efeitos de Proteção
Propiciados por uma Tela
Porosa ao Transporte Eólico
de Partículas de Madeira para
a Pilha de Cavacos da Nova
Planta da *CMPC - Celulose
Riograndense* – Guaíba, RS**



Campo de pressões





*CTA – Centro de
Lançamento de Alcântara,
Maranhão*

*Estudo em Túnel de Vento
da Dispersão de Gases no
Lançamento*





*CTA – Centro de
Lançamento de Alcântara,
Maranhão*

*Estudo em Túnel de Vento
da Dispersão de Gases no
Lançamento*





L A C

LABORATÓRIO
DE AERODINÂMICA
DAS CONSTRUÇÕES

