INSTITUTO DE ENGENHARIA

AVALIAÇÃO PRÁTICA NA ENGENHARIA ESTRUTURAL DE GRANDE COBERTURAS DOS RESULTADOS DE ENSAIO EM TÚNEL DE VENTO

PARCERIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL ABECE

PATROCÍNIO

ENGETI Consultoria e Engenharia

TQS Informática Ltda.

APOIO INSTITUCIONAL

IBRACON

CREA-SP

CONCEITOS BÁSICOS DA AÇÃO DO VENTO

- O vento é um fenômeno meteorológico formado pelo movimento do ar na atmosfera causada por diferenças na pressão atmosférica.
- Os ventos NA ENGENHARIA ESTRUTURAL, são classificados de acordo com a intensidade e direção em que se movimentam
- A determinação das cargas estáticas equivalentes dependem das condições climatológicas locais e das características aerodinâmicas e dinâmicas da edificação

CONCEITOS BÁSICOS DA AÇÃO DO VENTO NA ENGENHARIA ESTRUTURAL

- NORMAS MAIS UTILIZADAS NO BRASIL

BRASIL – NBR 6123 –

Forças devido ao vento em edificações

EUA – ASCE 7 – Chapter 6 – Wind Loads

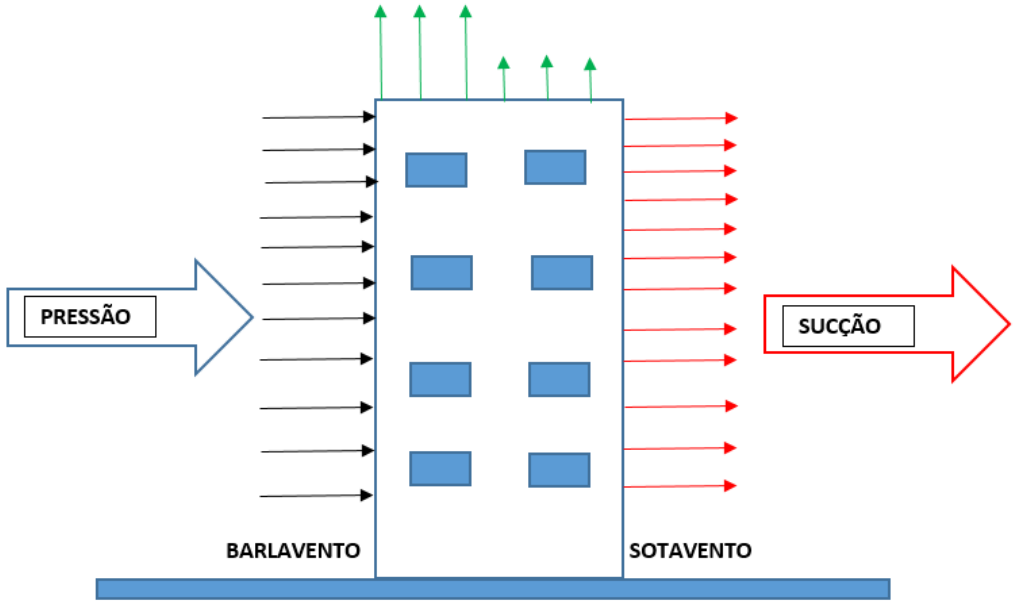
EUROCODE - EN 1991-1-4- Wind Actions

CONCEITOS BÁSICOS DA AÇÃO DO VENTO

1) VENTO A BARLAVENTO – PRESSÃO

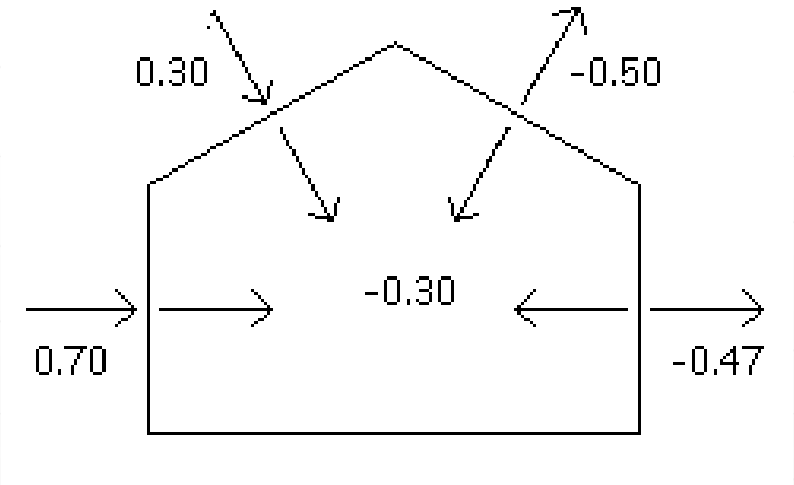
2) VENTO A SOTAVENTO – SUCÇÃO

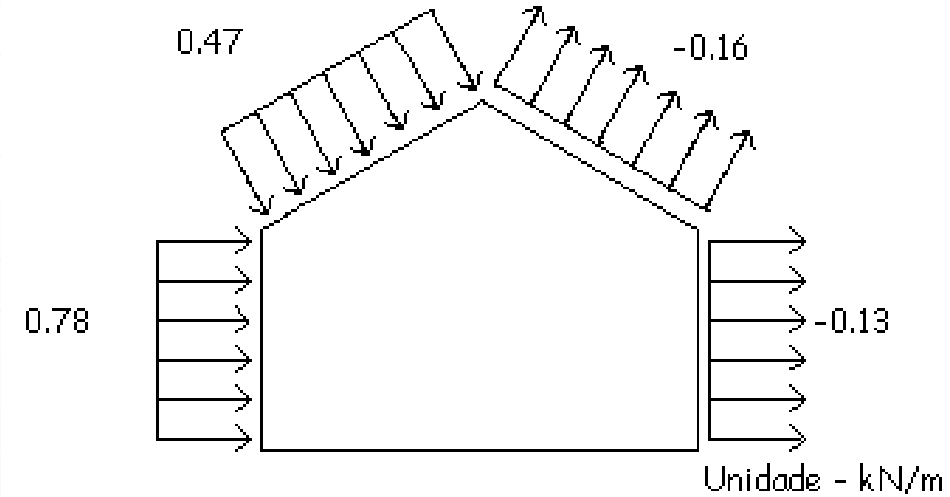
3) VENTO SUCÇÃO – PRESSÃO EFETIVA ABAIXO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA DE REFERÊNCIA



CONCEITOS BÁSICOS DA AÇÃO DO VENTO

- 4) COEFICIENTES DE PRESSÃO
- PRESSÃO EFETIVA (AÇÃO COMBINADA) – DIFERENÇA DE PRESSÃO NA FACE CONSIDERADA ENTRE OS COEFICIENTES DE PRESSÃO INTERNO E EXTERNO



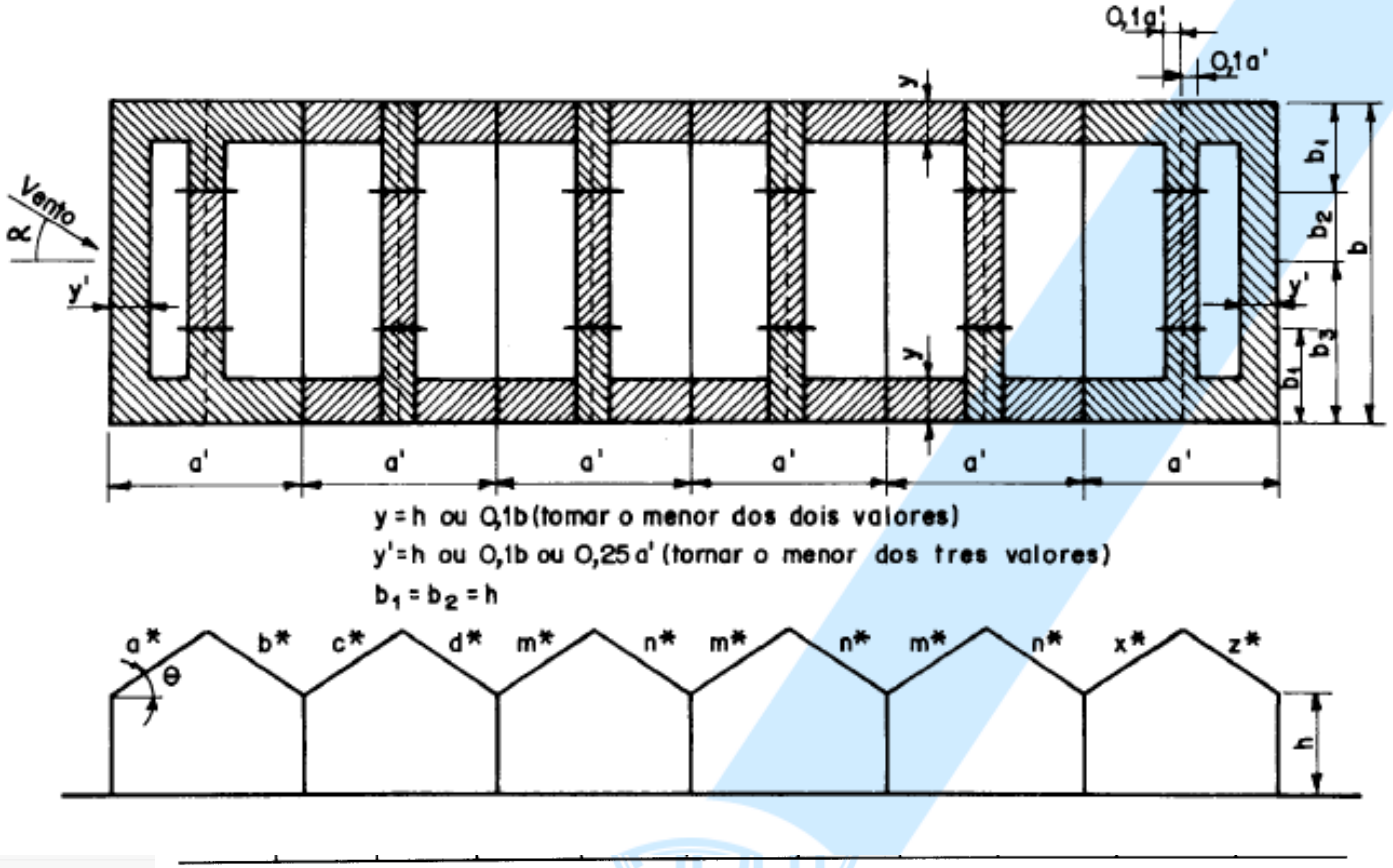


CRÉDITOS DAS IMAGENS PROGRAMA VISUAL VENTOS DESENVOLVIDO PELO PROF ZACARIAS CHAMBERLAIN

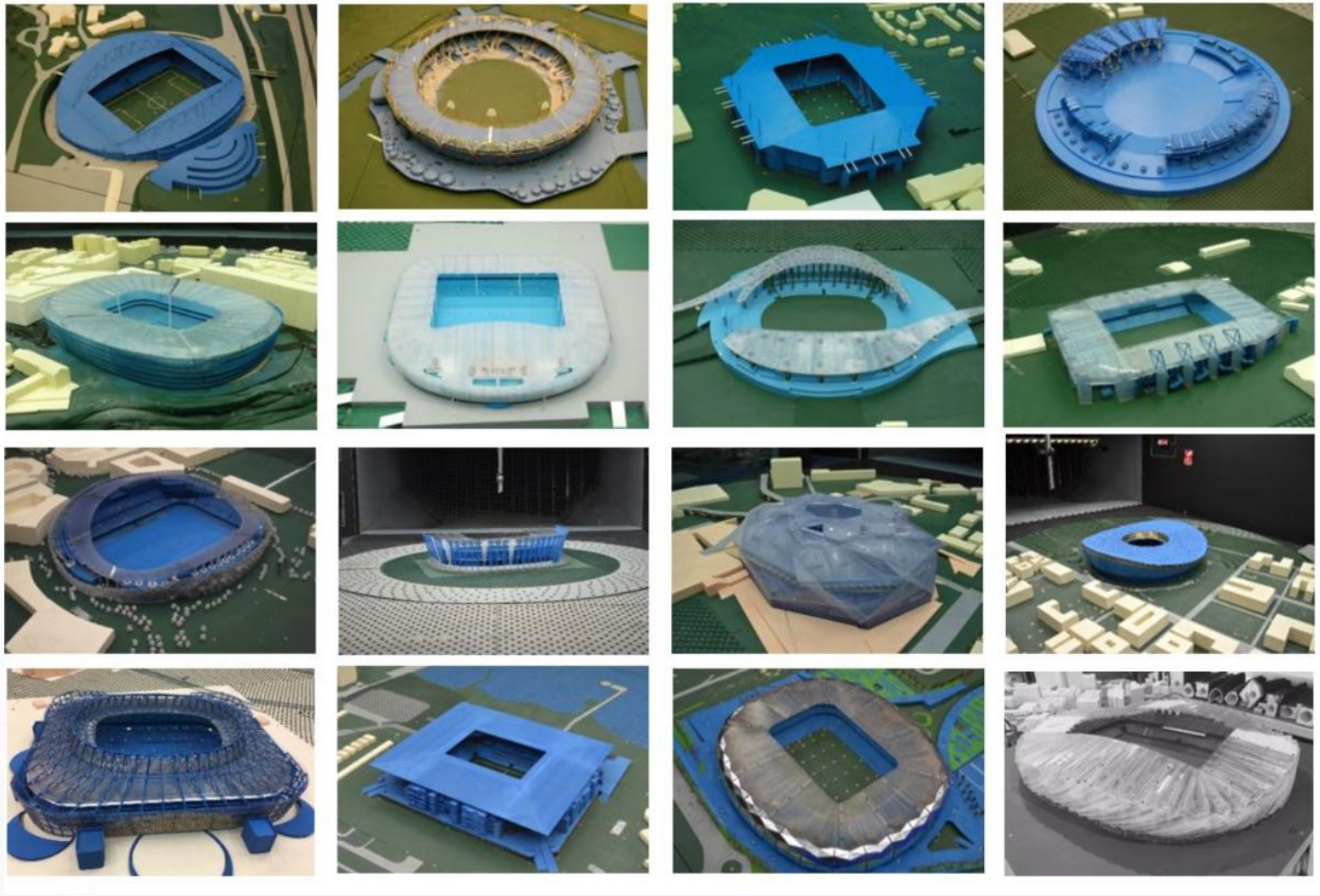
CONCEITOS BÁSICOS DA AÇÃO DO VENTO

NBR 6123/88 – Forças devido ao vento em Edificações

Tabela 7 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados múltiplos, simétricos, de tramos iguais, com $h \leq a'$



AÇÃO DOS VENTOS – COBERTURAS ESPECIAIS



CONCEITOS BÁSICOS DA AÇÃO DO VENTO NA ENGENHARIA ESTRUTURAL

NBR 6123/88 – Forças devido ao vento em Edificações

1 Objetivo

1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações.

1.2 Esta Norma não se aplica a edificações de formas, dimensões ou localização fora do comum, casos estes em que estudos especiais devem ser feitos para determinar as forças atuantes do vento e seus efeitos. Resultados experimentais obtidos em túnel de vento, com simulação das principais características do vento natural, podem ser usados em substituição do recurso aos coeficientes constantes nesta Norma.

ESTUDO EM TÚNEL DE VENTO

- REGRAS BÁSICAS PARA UTILIZAR ENSAIOS EM TÚNEL DE VENTO NA AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS:
  - BAIXAS FREQUÊNCIAS FUNDAMENTAIS DE VIBRAÇÃO LIVRE - NATURAIS (< 1 Hz)
  - EDIFÍCIOS COM MAIS DE 120 M DE ALTURA
  - EDIFÍCIOS COM ALTURA SUPERIOR A 4 VEZES A MENOR LARGURA
  - GEOMETRIAS NÃO CONTEMPLADAS PELA NORMA

ESTUDO EM TÚNEL DE VENTO

- No dia a dia, o engenheiro estrutural necessita encaixar as condições locais (topografia, vizinhança, rugosidade, etc) ou geométricas da construção, às situações prescritas pela Norma, podendo levar a aproximações nem sempre adequadas, interferindo tanto na economia da obra como até mesmo na segurança do empreendimento.

- Do ponto de vista prático, a não ser em casos muito específicos, o contratante não aceita o custo e o tempo adicional de um ensaio em Túnel de Vento, assim sendo proporemos uma metodologia simples e direta que oriente o engenheiro estrutural da real necessidade de se aprofundar no estudo do efeito do vento no “Seu Projeto de Cobertura” gerando argumentos técnicos e econômicos de convencimento do cliente.

CRITÉRIOS PRÁTICOS PARA INDICAÇÃO DE ENSAIO EM TUNEL DE VENTO EM COBERTURAS
BASEADO NA NBR 6123

1) FATORES REGIONAIS		PESO
( )	LOCAL PRÓXIMO A AEROPORTO OU CENTROS URBANOS	0
( )	DEMAIS CASOS	10
( )	LOCAL COM HISTÓRIO DE TORNADO	20
( )	LOCAL COM HISTÓRIO DE MICROEXPLOSÕES (TIPO DE TROMBA	30
( )	LOCAL SUJEITO A FURACÃO	40

2) FATORES TOPOGRÁFICOS		PESO
( )	TOPOGRAFIA REGULAR	0
( )	TOPOGRAFIA ACIDENTADA SEM PROTEÇÃO	10
( )	TOPOGRAFIA REGULAR E OBSTRUÇÕES PRÓXIMAS	20
( )	TOPOGRAFIA ACIDENTADA COM AFUNILAMENTO	30

3) FATORES DE VIZINHANÇA (RUGOSIDADE)		PESO
( )	CAMPO	0
( )	CIDADE PEQUENA	10
( )	SUBÚRBIO DE CIDADE MÉDIA/GRANDE	20
( )	REGIÃO DE GRANDE DENSIDADE POPULACIONAL	30

4) FATORES GEOMÉTRICOS		PESO
( )	CONSTRUÇÃO REGULAR CONFORME TABELAS 6123	0
( )	CONSTRUÇÃO REGULAR NÃO CONFORME TABELAS 6123	10
( )	CONSTRUÇÃO IRREGULAR ÁREA <1000m2 NÃO COBERTA PELA 61	40
( )	CONSTRUÇÃO IRREGULAR 1.001<ÁREA <10.000m2 NÃO COBERTA P	60
( )	CONSTRUÇÃO IRREGULAR ÁREA >10.001 m2 NÃO COBERTA PELA	70

5) FATORES INERENTES AO SISTEMA ESTRUTURAL		PESO
( )	COBERTURA COM VÃO LIVRE L≤20 m	0
( )	COBERTURA COM VÃO LIVRE 20,1<L≤50 m	10
( )	COBERTURA COM VÃO LIVRE 50,1<L≤ 70 m	20
( )	COBERTURA COM VÃO LIVRE L>70 m	30

6) FATORES ECONÔMICOS/ SOCIAIS		PESO
( )	CONSTRUÇÕES NORMAIS	0
( )	DEPÓSITOS DE PRODUTOS COM ALTO VALOR AGREGADO	20
( )	HOSPITAIS	30
( )	CENTROS DE ALTA TECNOLOGIA	40
( )	ESTÁDIOS, GINÁSIOS, SHOPPING CENTERS	50
( )	HANGARES DE AVIÕES E HELICÓPTEROS	60

INSTITUTO DE ENGENHARIA

- **ESTUDO EM TÚNEL DE VENTO**
  - **FATORES REGIONAIS**
  - **FATORES TOPOGRÁFICOS**
  - **FATORES DE VIZINHANÇA**
  - **FATORES GEOMÉTRICOS**
  - **FATORES INERENTES AO SISTEMA ESTRUTURAL**
  - **FATORES ECONÔMICOS/SOCIAIS**

PONTUAÇÃO	DIAGNÓSTICO
P≤50	NÃO HÁ NECESSIDADE DE ENSAIO EM TÚNEL DE VENTO
50<P≤100	RECOMENDA-SE ENSAIO EM TÚNEL DE VENTO
100<P≤150	NECESSÁRIO ENSAIO EM TÚNEL DE VENTO
P>150	OBRIGATÓRIO ENSAIO EM TÚNEL DE VENTO

1) FATORES REGIONAIS		PESO
( )	LOCAL PRÓXIMO A AEROPORTO OU CENTROS URBANOS	0
( )	DEMAIS CASOS	10
( )	LOCAL COM HISTÓRIO DE TORNADO	20
( )	LOCAL COM HISTÓRIO DE MICROEXPLOSÓES (TIPO DE TROMBA DÁGUA)	30
( )	LOCAL SUJEITO A FURACÃO	40

- **FAB 147 ESTAÇÕES DE MEDIÇÃO (AEROPORTOS)**

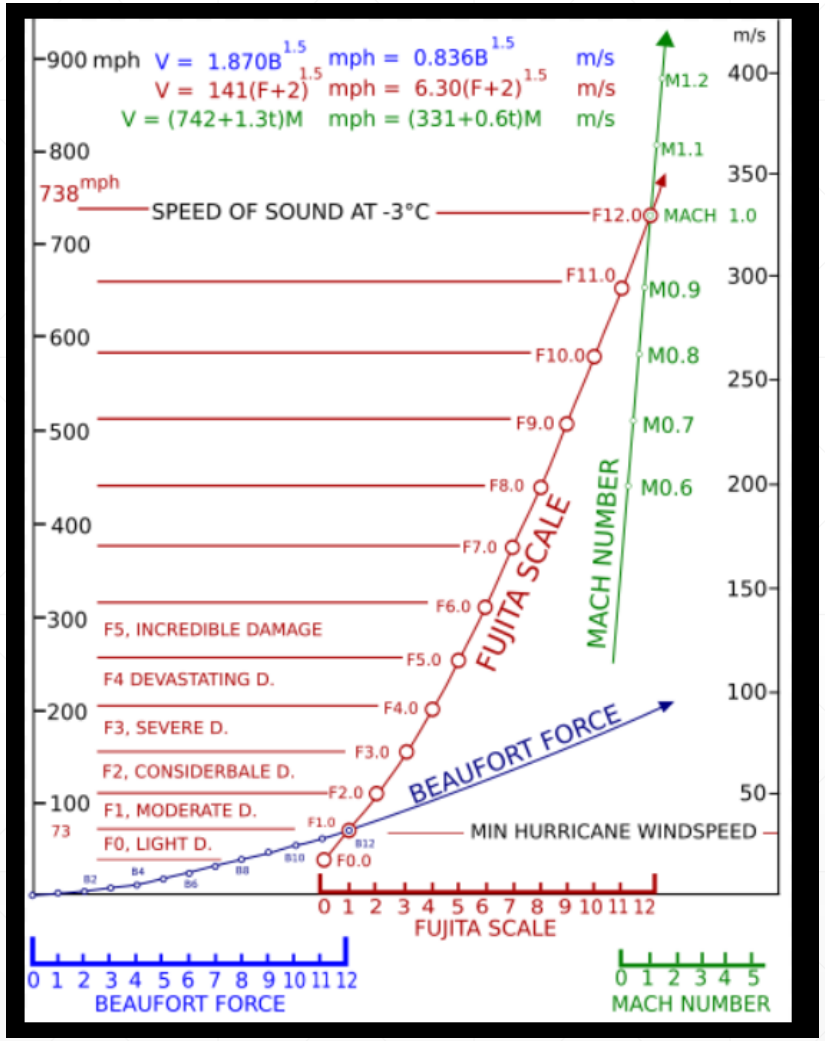
INMET – 744 ESTAÇÕES DE MEDIÇÃO

▪ CONCEITOS BÁSICOS DA AÇÃO DO VENTO

- **TORNADOS – FENÔMENO METEOROLÓGICO, COLUNA DE AR GIRA DE FORMA VIOLENTA PODENDO ATINGIR VELOCIDADES DE 500 Km/hora**

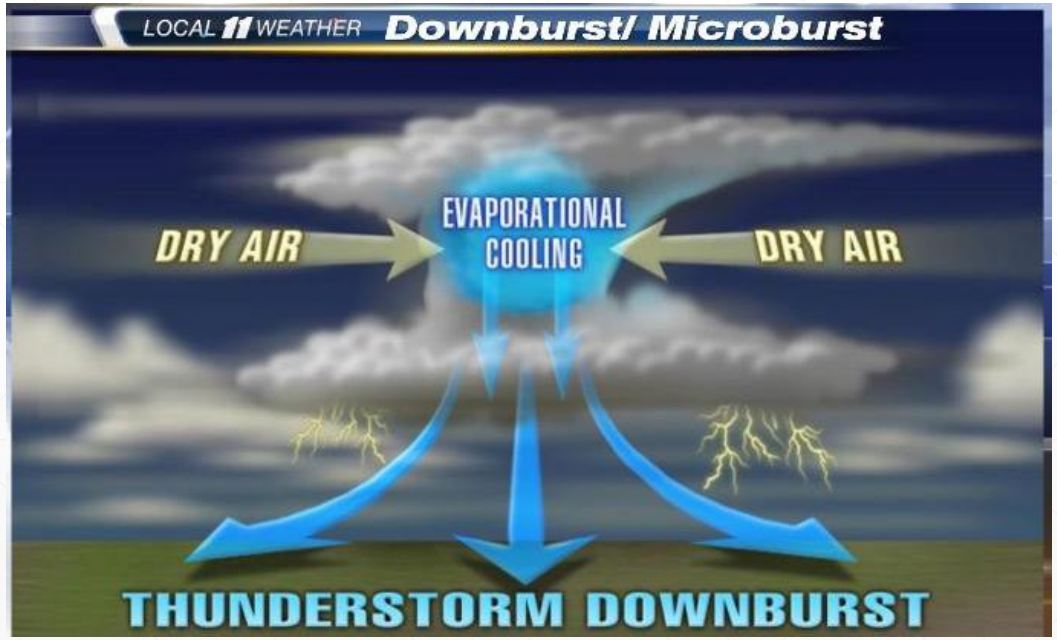
CONCEITOS BÁSICOS DA AÇÃO DO VENTO

- **TORNADOS –**
- ESCALA FUJITA

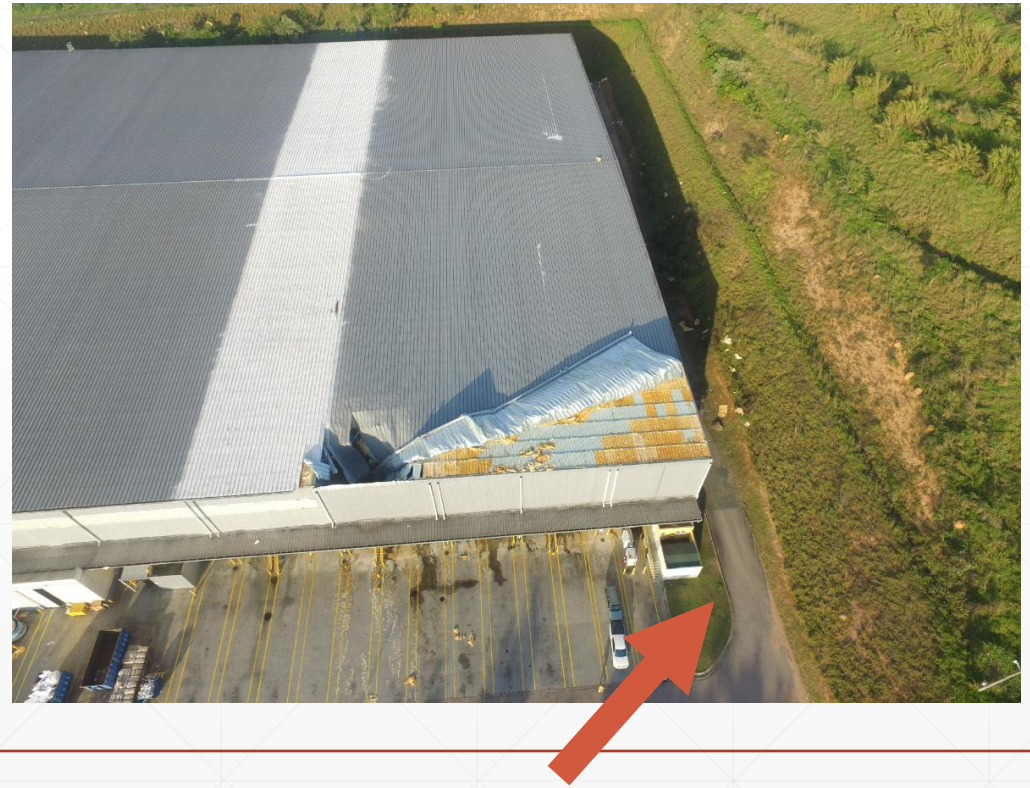


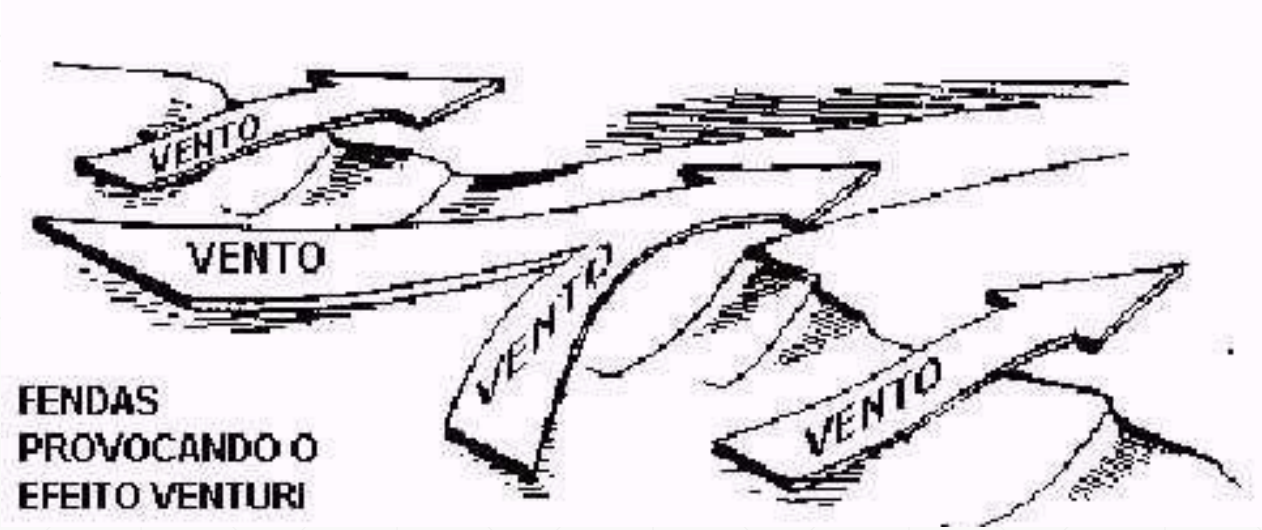
▪ CONCEITOS BÁSICOS DA AÇÃO DO VENTO

- **DOWNBURST - VENTOS DE GRANDE INTENSIDADE MOVENDO-SE NO SENTIDO VERTICAL DE CIMA PARA BAIXO, ESPRAIANDO-SE AO CHEGAR NO SOLO**

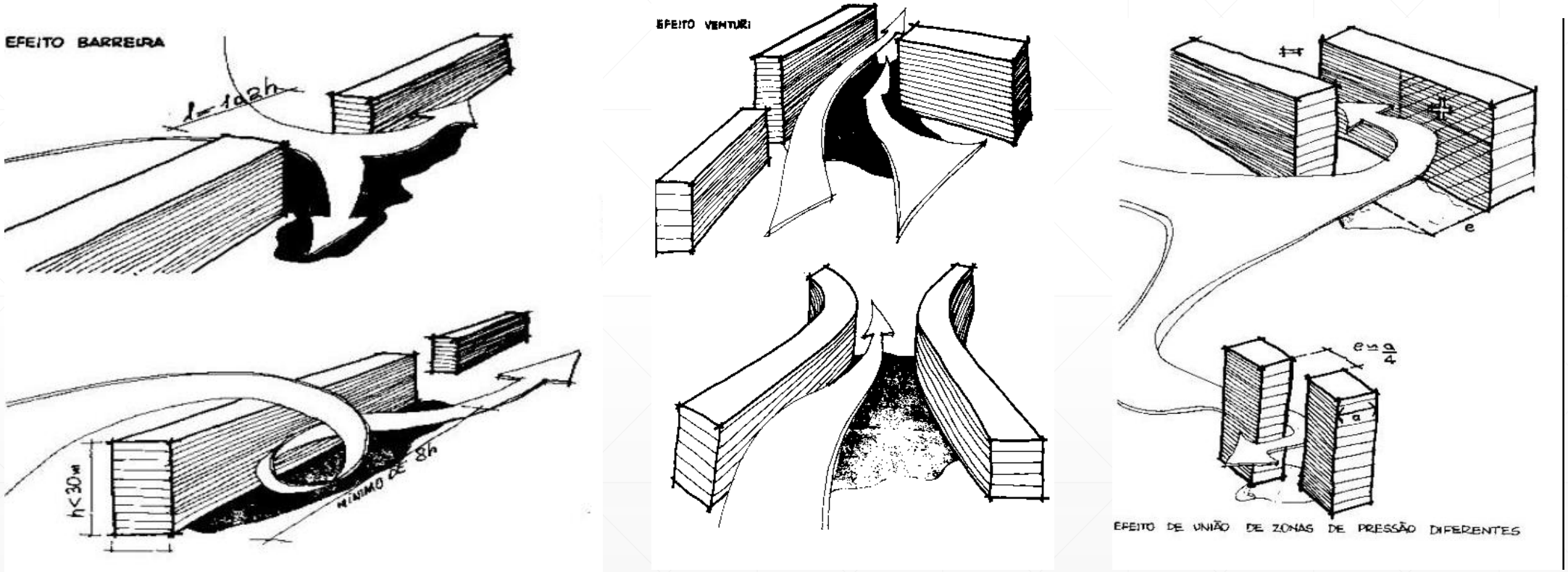


2) FATORES TOPOGRÁFICOS		PESO
( )	TOPOGRAFIA REGULAR	0
( )	TOPOGRAFIA ACIDENTADA SEM PROTEÇÃO	10
( )	TOPOGRAFIA REGULAR E OBSTRUÇÕES PRÓXIMAS	20
( )	TOPOGRAFIA ACIDENTADA COM AFUNILAMENTO	30



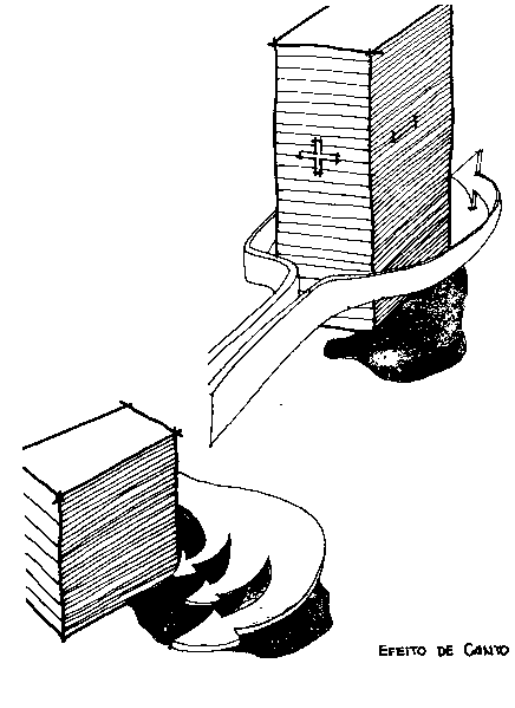


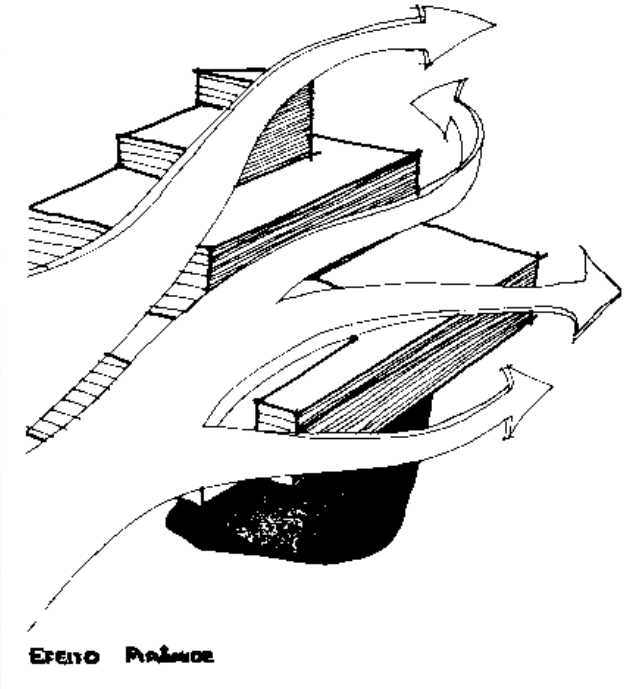
3) FATORES DE VIZINHANÇA (RUGOSIDADE)		PESO
( )	CAMPO	0
( )	CIDADE PEQUENA	10
( )	SUBÚRBIO DE CIDADE MÉDIA/GRANDE	20
( )	REGIÃO DE GRANDE DENSIDADE POPULACIONAL	30

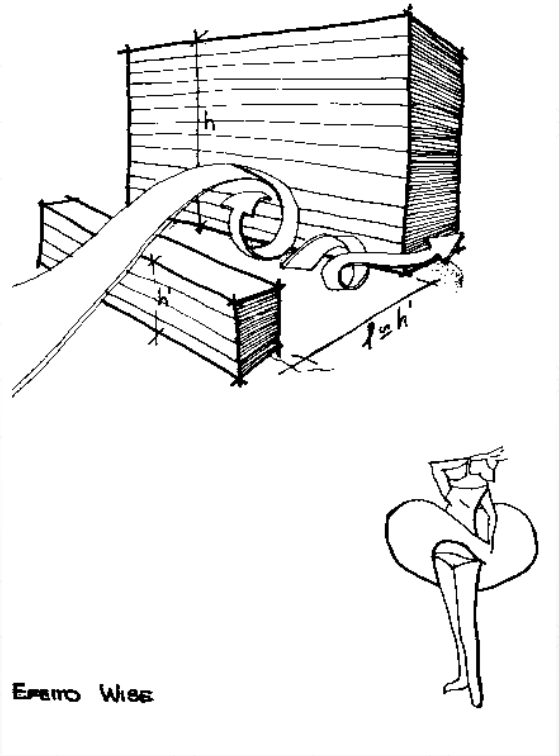


CRÉDITOS DAS IMAGENS CAROLINA PEPITONE – PUBLICAÇÃO CONFORTO TÉRMICO 5

3) FATORES DE VIZINHANÇA (RUGOSIDADE)		PESO
( )	CAMPO	0
( )	CIDADE PEQUENA	10
( )	SUBÚRBIO DE CIDADE MÉDIA/GRANDE	20
( )	REGIÃO DE GRANDE DENSIDADE POPULACIONAL	30







CRÉDITOS DAS IMAGENS **CAROLINA PEPITONE** – PUBLICAÇÃO CONFORTO TÉRMICO – PARTE 5

4) FATORES GEOMÉTRICOS		PESO
( )	CONSTRUÇÃO REGULAR CONFORME TABELAS 6123	0
( )	CONSTRUÇÃO REGULAR NÃO CONFORME TABELAS 6123	10
( )	CONSTRUÇÃO IRREGULAR ÁREA <1000m2 NÃO COBERTA PELA 6123	40
( )	CONSTRUÇÃO IRREGULAR 1.001<ÁREA <10.000m2 NÃO COBERTA PELA 6123	60
( )	CONSTRUÇÃO IRREGULAR ÁREA >10.001 m2 NÃO COBERTA PELA 6123	70

5) FATORES INERENTES AO SISTEMA ESTRUTURAL		PESO
( )	COBERTURA COM VÃO LIVRE L< 30 m	0
( )	COBERTURA COM VÃO LIVRE 30,1 <L< 50 m	10
( )	COBERTURA COM VÃO LIVRE 50,1 <L< 70 m	20
( )	COBERTURA COM VÃO LIVRE L>70 m	30

6) FATORES ECONÔMICOS/ SOCIAIS		PESO
( )	CONSTRUÇÕES NORMAIS	0
( )	DEPÓSITOS DE PRODUTOS COM ALTO VALOR AGREGADO	20
( )	HOSPITAIS	30
( )	CENTROS DE ALTA TECNOLOGIA	40
( )	ESTÁDIOS, GINÁSIOS, SHOPPING CENTERS	50
( )	HANGARES DE AVIÕES E HELICÓPTEROS	60

▪ ESTUDO EM TÚNEL DE VENTO

- CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DO LABORATÓRIO A REALIZAR OS ENSAIOS
  - INSTALAÇÕES ADEQUADAS EX. DIMENSÃO DO DUTO, NÚMERO DE SENSORES PARA LEITURA SIMULTÂNEA (INTERNA E EXTERNA)
  - EXPERIÊNCIA COMPROVADA
  - FACILIDADE DE COMUNICAÇÃO (INTERAÇÃO COM O ENG ESTRUTURAL), REJEITAR O RELATÓRIO “CAIXA PRETA”

▪ TIPOS DE ENSAIOS EM TÚNEL DE VENTO

- A) PRESSÕES NO MODELO RÍGIDO
- B) MODELO AEROELÁSTICO

▪ ESTUDO EM TÚNEL DE VENTO

- A) PRESSÕES NO MODELO RÍGIDO

- É O TIPO MAIS UTILIZADO, FORNECE PRESSÕES INTERNAS E EXTERNAS, PICOS DE PRESSÃO, ARRASTO PARA ANÁLISE DOS ELEMENTOS DE FECHAMENTO E DA ESTRUTURA

- **B) MODELO AEROELÁSTICO**
- É EMPREGADO PARA MEDIÇÃO DIRETA DE CARGAS, DEFLEXÕES E ACELERAÇÕES:
- EXEMPLO: QUANDO MOVIMENTOS LATERAIS DE UMA EDIFÍCIO, TEM GRANDE INFLUÊNCIA NO CARREGAMENTO DO VENTO
- **COMENTÁRIO** – 1 OU MAIS TIPOS DE ENSAIOS PODEM SER REALIZADOS , DEPENDENDO DO TIPO DE ESTRUTURA

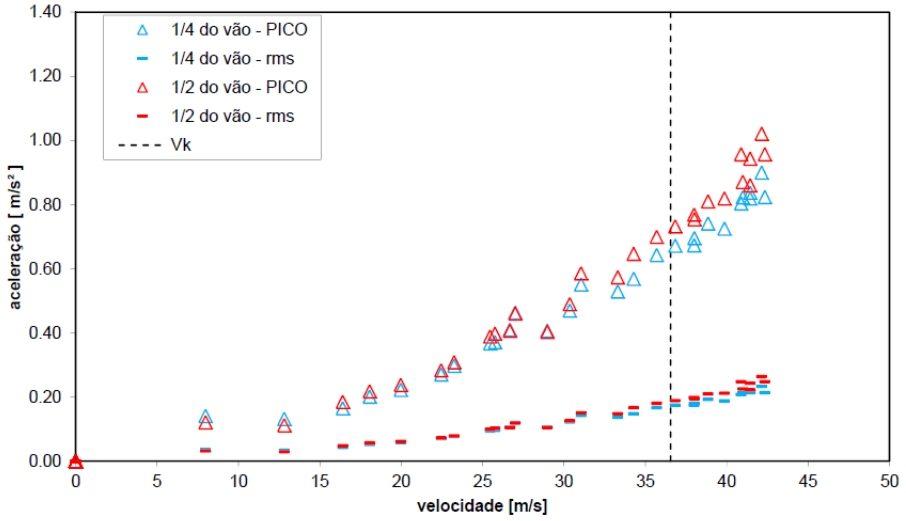


Figura 1 - Parcela FLUTUANTE das acelerações horizontais do TABULEIRO na direção do eixo Y para um ângulo de incidência do vento α=0°, e escoamento com intensidade da componente longitudinal da turbulência no nível do tabuleiro Iu = 9,0%.

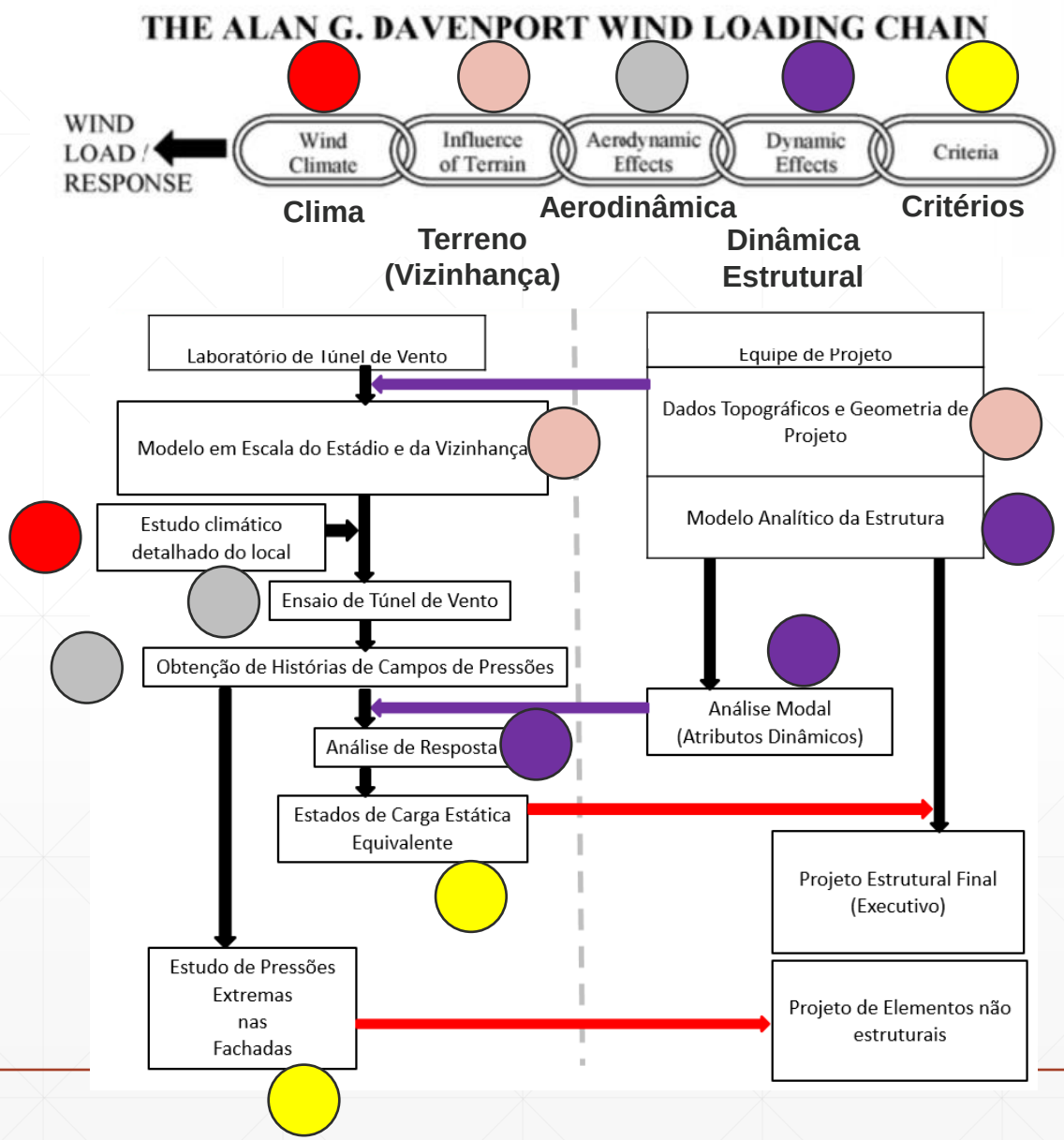
A velocidade é referenciada a 16m acima do nível da água. Acelerações calculadas para amortecimento estrutural = 1.0%.

ESTUDO EM TÚNEL DE VENTO

- DADOS DE PROJETO:

- Eng ESTRUTURAL DEVE FORNECER:

- DADOS TOPOGRÁFICOS (aerofotogrametria)
- MODELO DE CÁLCULO ESTRUTURAL
- PROJETOS ESTRUTURAIS
- CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DO FATORES S1, S2 e S3



AUTOR – Eng SERGIO STOLOVAS

ESTUDO EM TÚNEL DE VENTO

- Eng ESTRUTURAL DEVE OPINAR SOBRE A QUANTIDADE E FORMA DE APRESENTAÇÃO DOS DADOS COLETADOS NO ENSAIO:

- Coeficientes de pressão externos e internos , médios, máximos e mínimos, valores de pico para ações locais

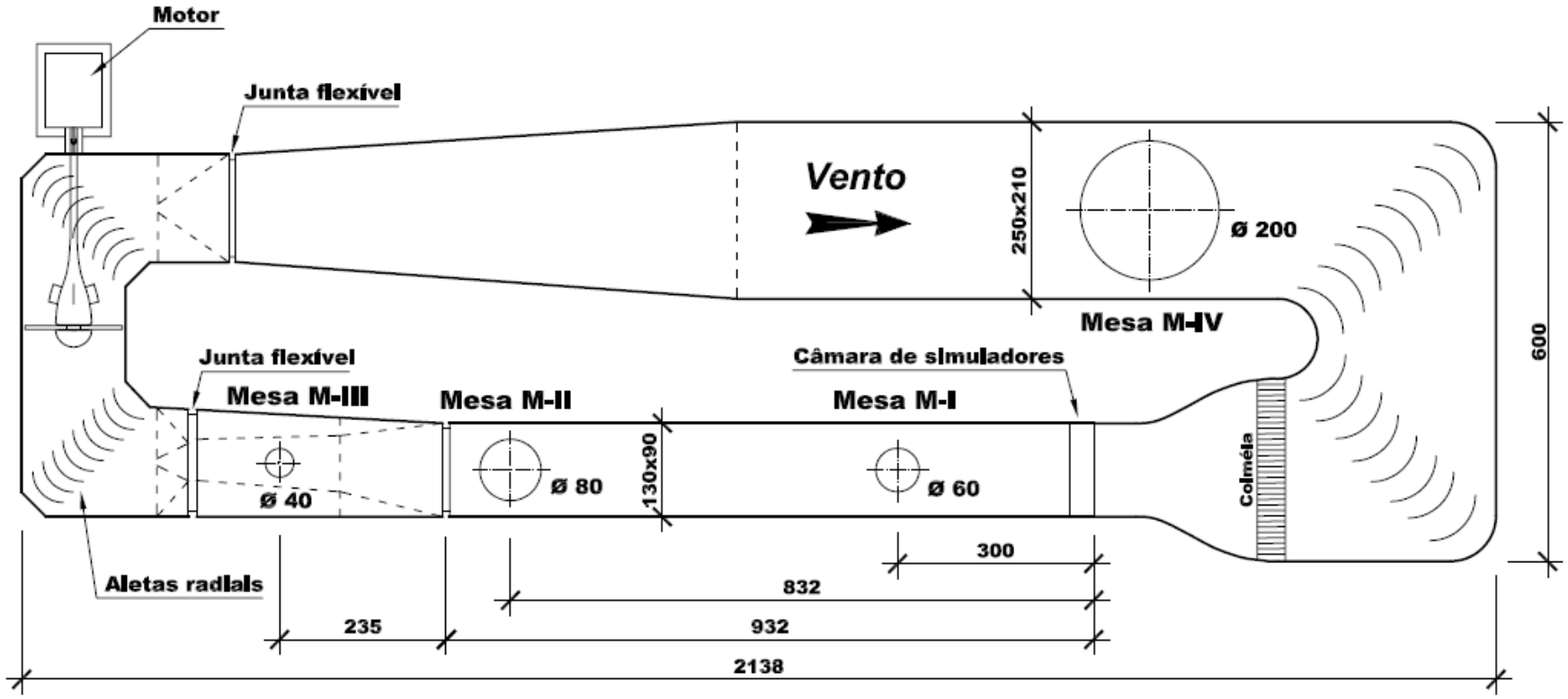
- Valores de pressões médias

- Diagramas com sucções e sobrepressões max

ENSAIO EM TÚNEL DE VENTO

- Devem ser feitas em instalações que permitem a simulação do efeito do vento (movimento do ar) ao redor de objetos sólidos
- Modelos físicos em escala reduzida são devidamente instrumentados e submetidos a velocidade subsônica do ar.
- Principais laboratórios no Brasil
    - LAC – UFRGS
    - IPT - SP

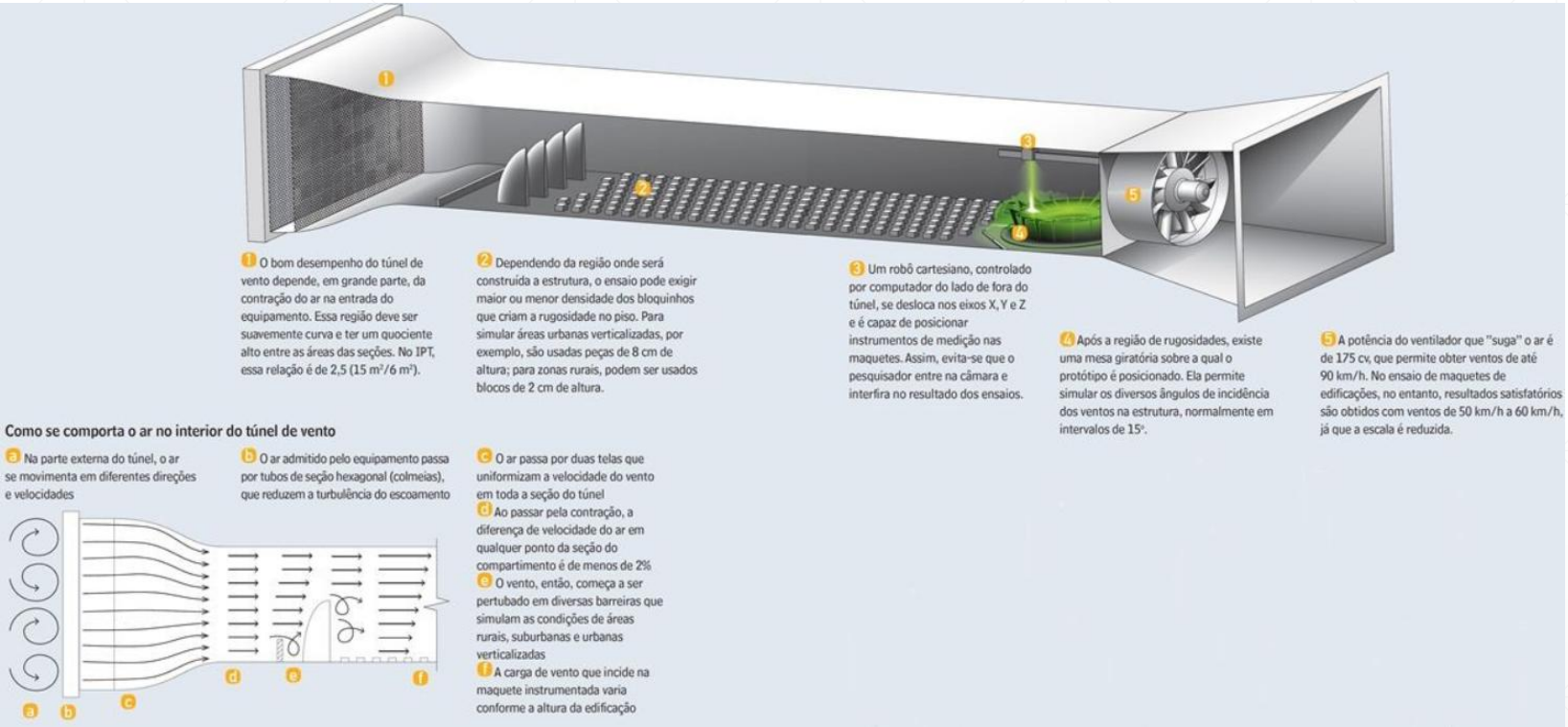
▪ TÚNEL DE VENTO – LAC - UFRS



Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann

Dimensões em [cm]

▪ TÚNEL DE VENTO – IPT SP



- **COMPRIMENTO – 28 m** **ÁREA DO DUTO 6 m2**

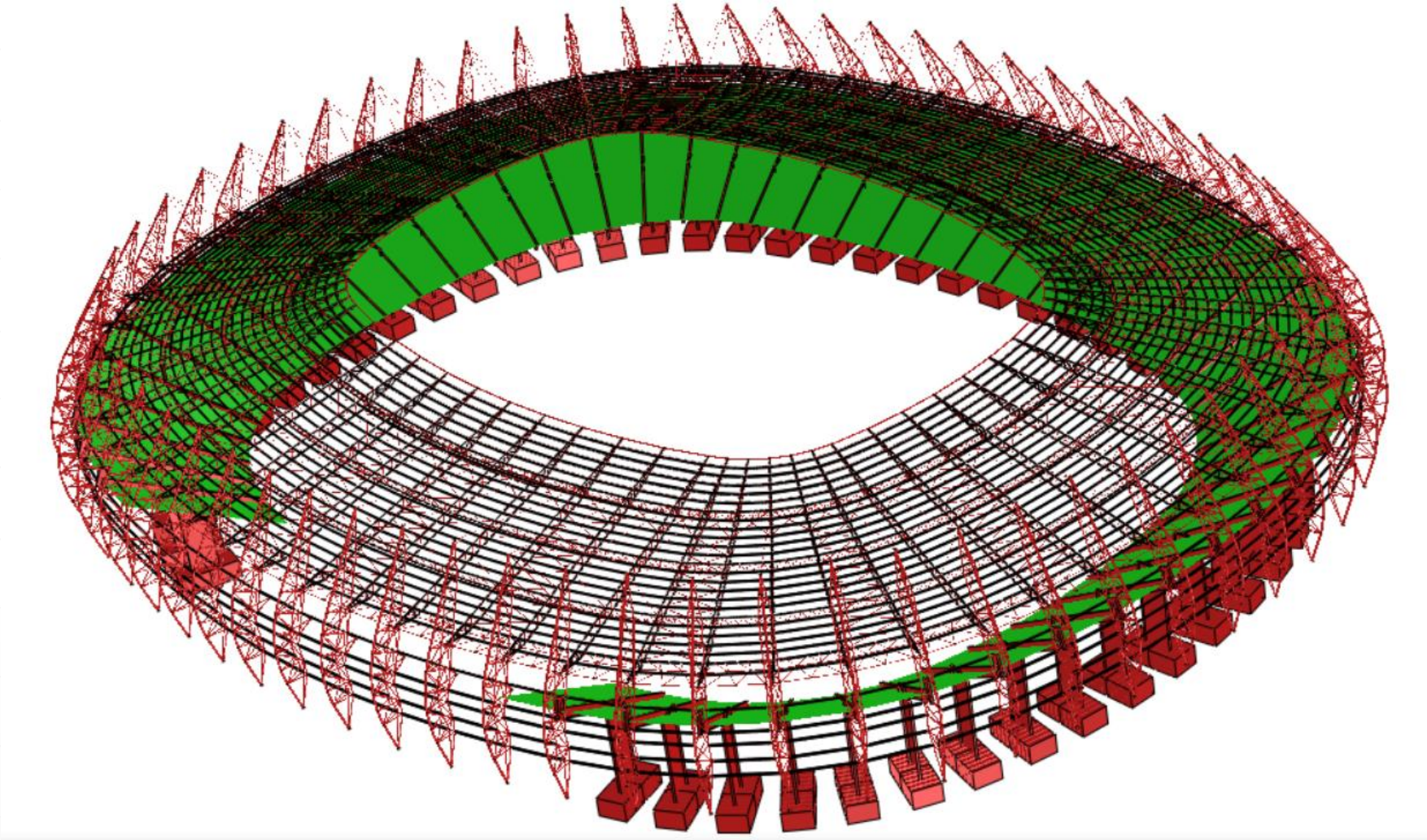
- **ESTÁDIO PLACIDO ADERALDO CASTELO (CASTELÃO) cap =67 037**
  - **FORTALEZA**

ESTUDO EM TÚNEL DE VENTO – CASOS PRÁTICOS

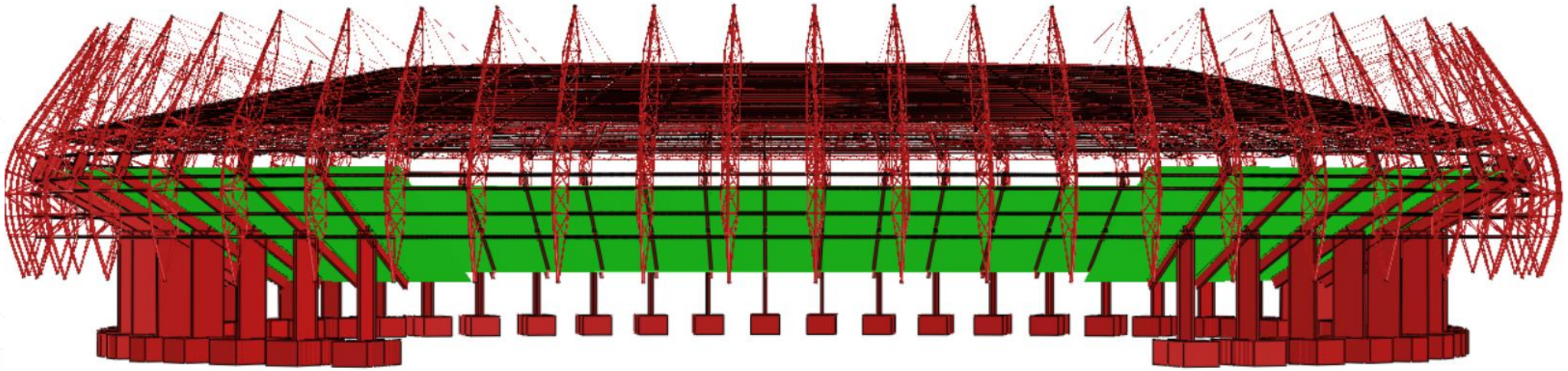
- DADOS DE PROJETO

  - NORMA ABNT 6123
  - S1 = 1,0
  - S2 = 1,02 (5 seg, H=40 m, CAT III e IV)
  - S3 = 1,0 RECORRÊNCIA (S1) – 50 anos
  - Vo = 30 m/seg Vk = 33,60m/seg
  - Pressão dinâmica q = 0,58 kN/m2

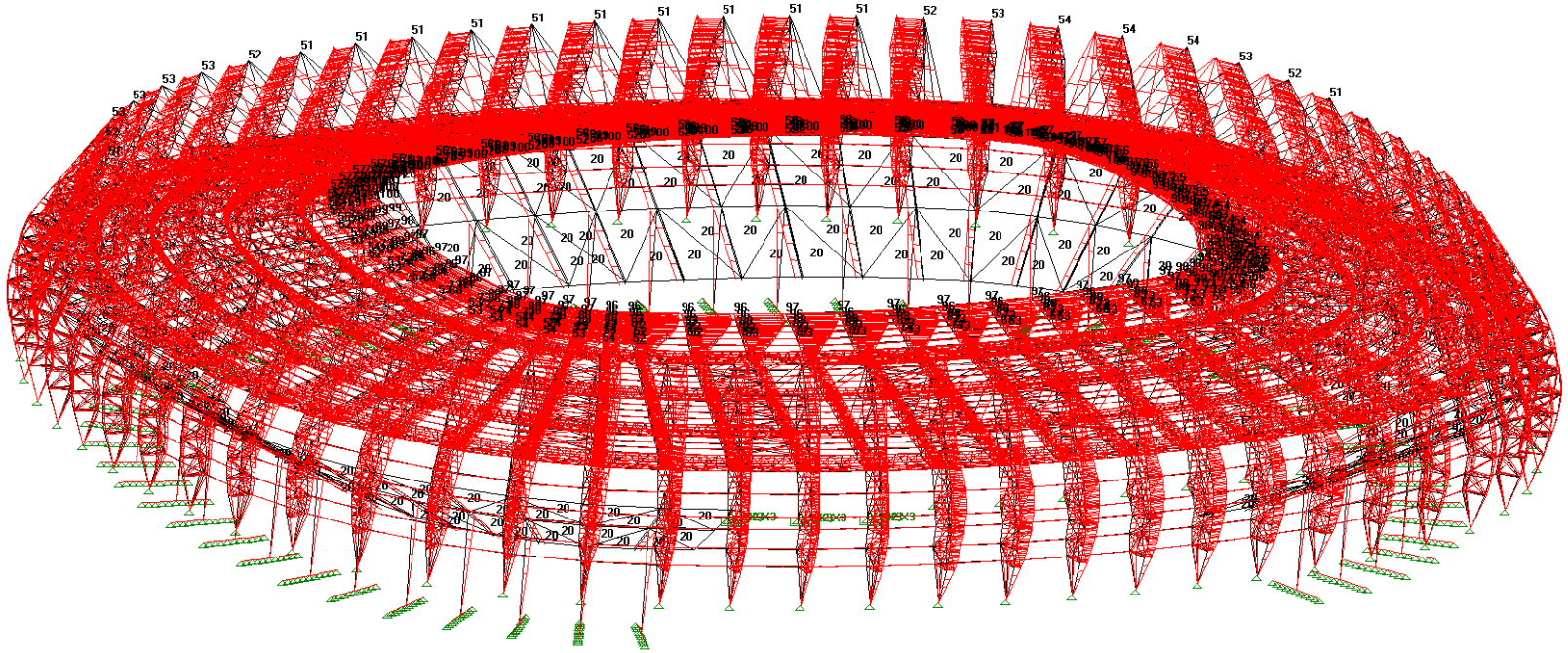
- FATOR PARA ENSAIO EM TÚNEL DE VENTO = 160

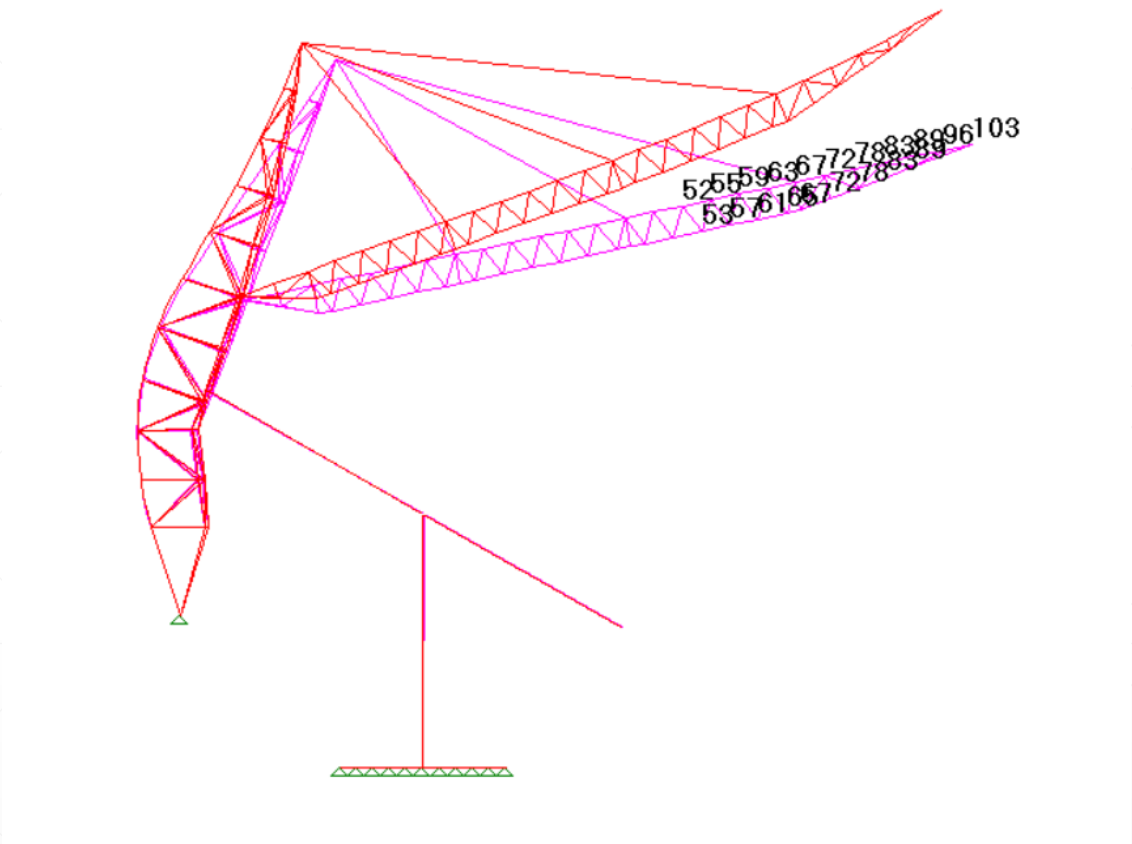


MODELO ANALÍTICO

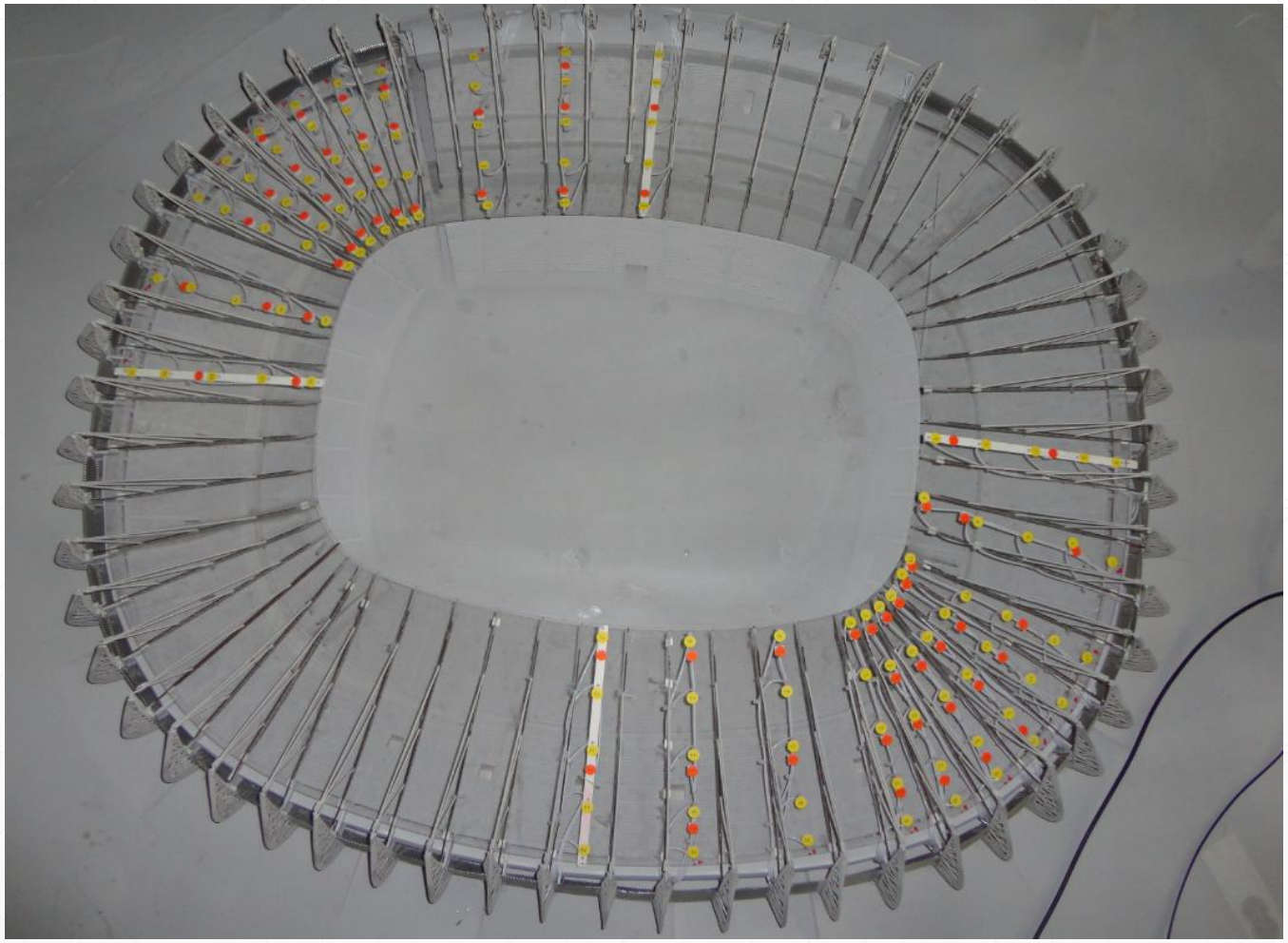


MODELO ANALÍTICO

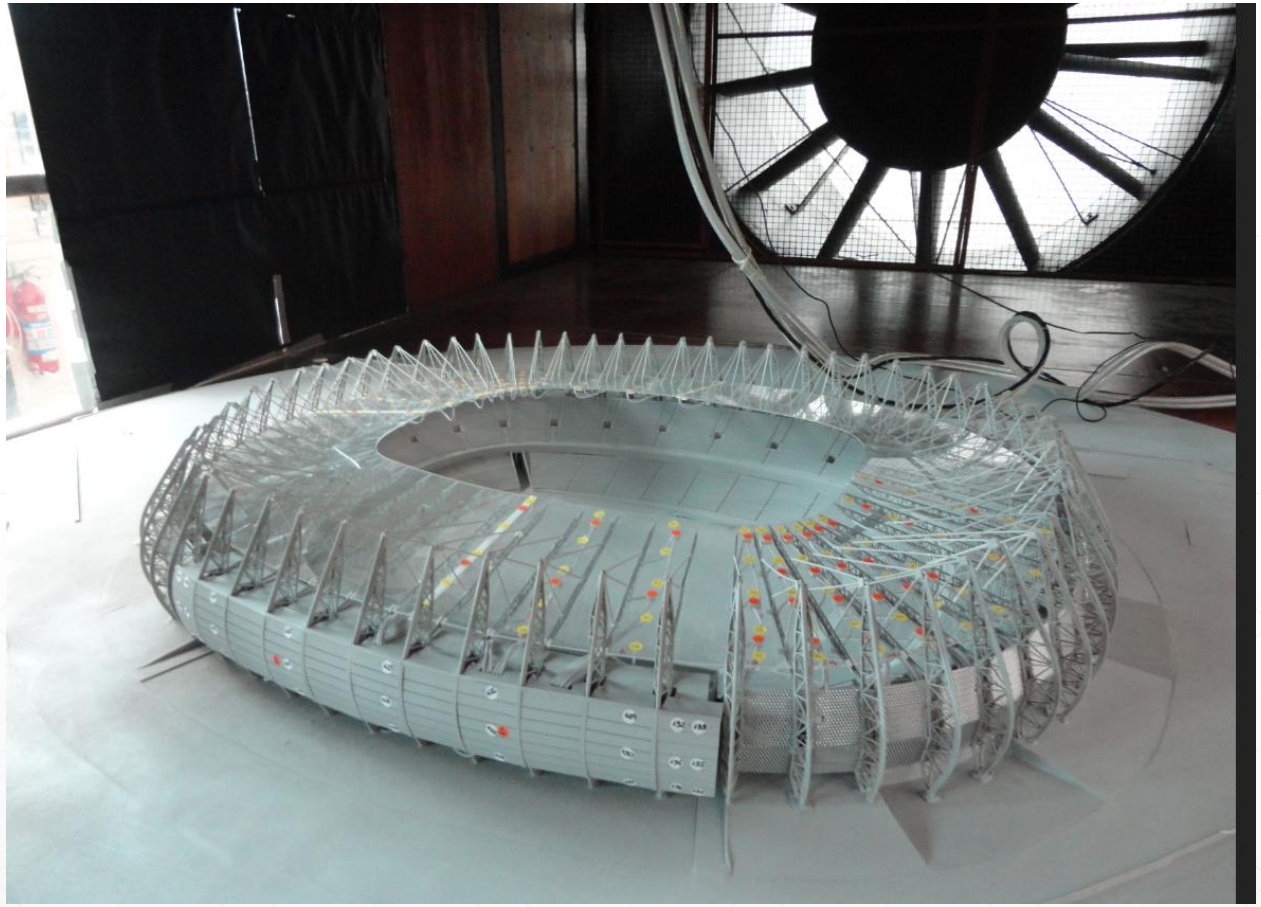




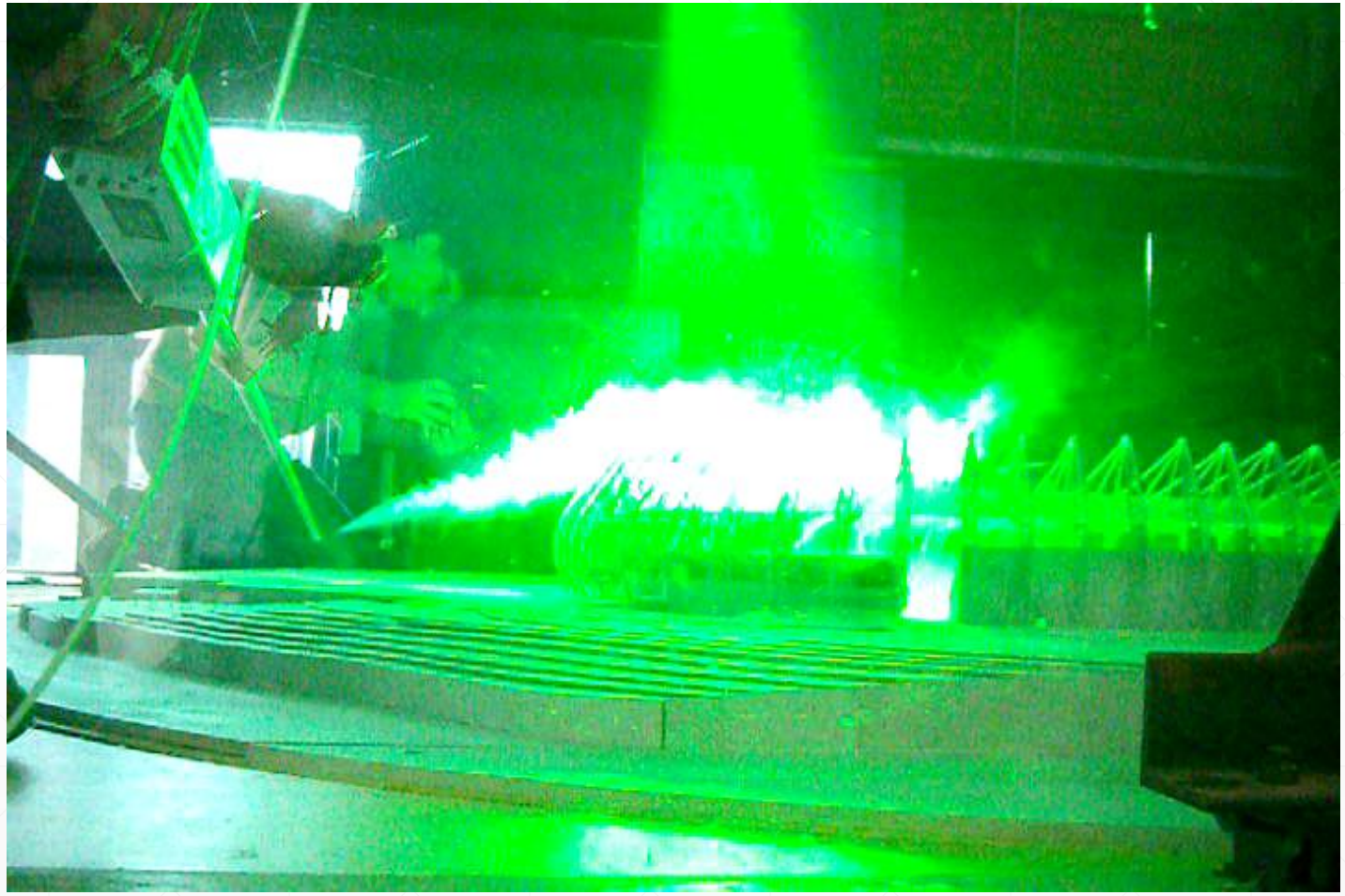
Freq natural – 0,88 Hz



- **ESCALA DO MODELO – 1/200**
- **PONTOS DE MEDIÇÃO – 174 (110 EXTERNOS E 64 INTERNOS)**

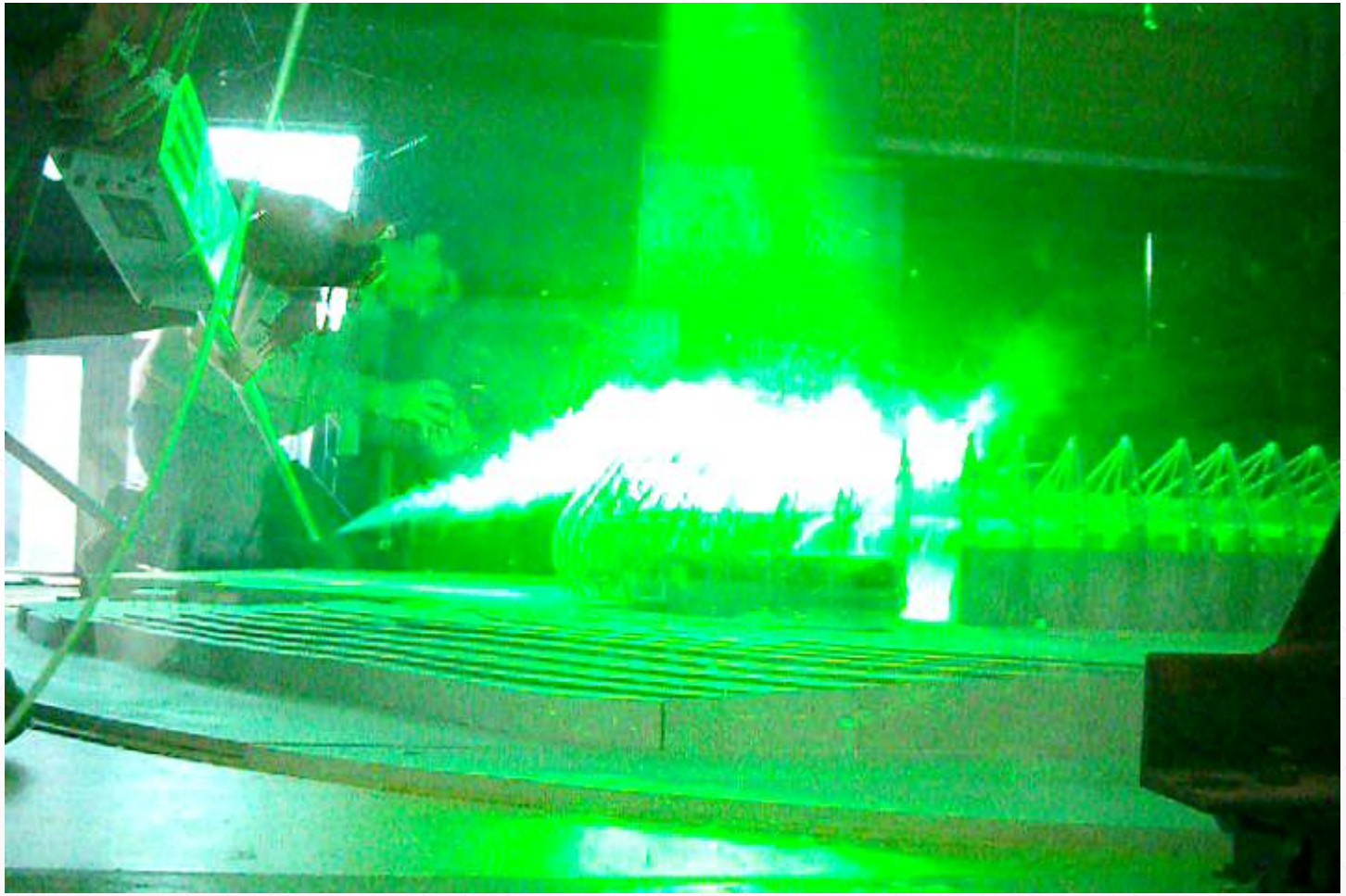


CASTELÃO – SIMULAÇÃO ENSAIO



CASTELÃO – SIMULAÇÃO ENSAIO

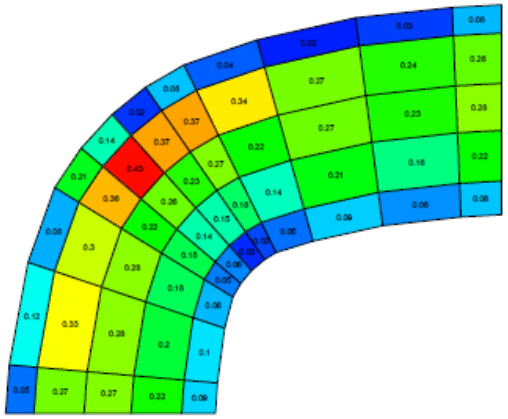
- - FUMAÇA ÓLEO VEGETAL - FLASHES LASER VERDE



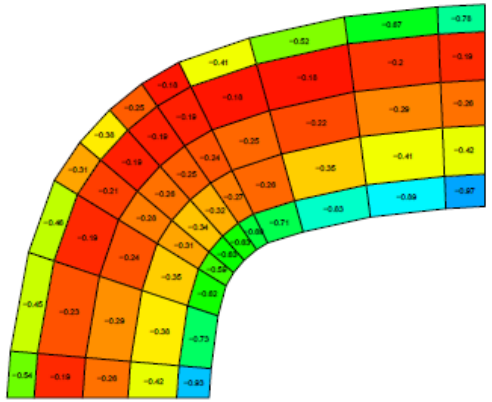
CASTELÃO – COEFICIENTES DE PRESSÃO

Tomada	Ang.	$\Delta\overline{C}_p$	Tomada	Ang.	$\Delta\overline{C}_p$	Tomada	Ang.	$\Delta\overline{C}_p$	Tomada	Ang.	$\Delta\overline{C}_p$	Tomada	Ang.	$\Delta\overline{C}_p$
A1	0	0,09	A3	0	0,27	A5	0	-0,54	A7	0	0,19	A9	0	0,3
A1	15	0,07	A3	15	0,27	A5	15	-0,42	A7	15	0,17	A9	15	0,27
A1	30	0,06	A3	30	0,24	A5	30	-0,24	A7	30	0,14	A9	30	0,21
A1	45	0,04	A3	45	0,2	A5	45	-0,13	A7	45	0,1	A9	45	0,14
A1	60	0,02	A3	60	0,15	A5	60	-0,01	A7	60	0,07	A9	60	0,09
A1	75	0,01	A3	75	0,09	A5	75	0,02	A7	75	0,05	A9	75	0,04
A1	90	-0,01	A3	90	0,08	A5	90	0,05	A7	90	0,05	A9	90	0,03
A1	105	-0,02	A3	105	0,03	A5	105	-0,02	A7	105	-0,05	A9	105	-0,05
A1	120	-0,18	A3	120	-0,03	A5	120	-0,04	A7	120	-0,12	A9	120	-0,04
A1	135	-0,31	A3	135	-0,08	A5	135	-0,05	A7	135	-0,19	A9	135	-0,08
A1	150	-0,54	A3	150	-0,16	A5	150	-0,09	A7	150	-0,3	A9	150	-0,19
A1	165	-0,83	A3	165	-0,24	A5	165	-0,15	A7	165	-0,38	A9	165	-0,23
A1	180	-0,78	A3	180	-0,26	A5	180	-0,16	A7	180	-0,33	A9	180	-0,19
A1	195	-0,93	A3	195	-0,23	A5	195	-0,13	A7	195	-0,21	A9	195	-0,15
A1	210	-0,36	A3	210	-0,08	A5	210	-0,04	A7	210	-0,09	A9	210	-0,07
A1	225	-0,23	A3	225	-0,04	A5	225	-0,01	A7	225	-0,05	A9	225	-0,06
A1	240	-0,14	A3	240	-0,02	A5	240	-0,03	A7	240	-0,01	A9	240	-0,05
A1	255	-0,03	A3	255	0,02	A5	255	-0,03	A7	255	0,03	A9	255	0,01
A1	270	0,01	A3	270	0,08	A5	270	0,04	A7	270	0,06	A9	270	0,08
A1	285	0,02	A3	285	0,11	A5	285	0,04	A7	285	0,08	A9	285	0,15
A1	300	0,03	A3	300	0,16	A5	300	-0,02	A7	300	0,11	A9	300	0,25
A1	315	0,06	A3	315	0,21	A5	315	-0,13	A7	315	0,16	A9	315	0,29
A1	330	0,08	A3	330	0,25	A5	330	-0,31	A7	330	0,19	A9	330	0,33
A1	345	0,09	A3	345	0,27	A5	345	-0,52	A7	345	0,2	A9	345	0,32

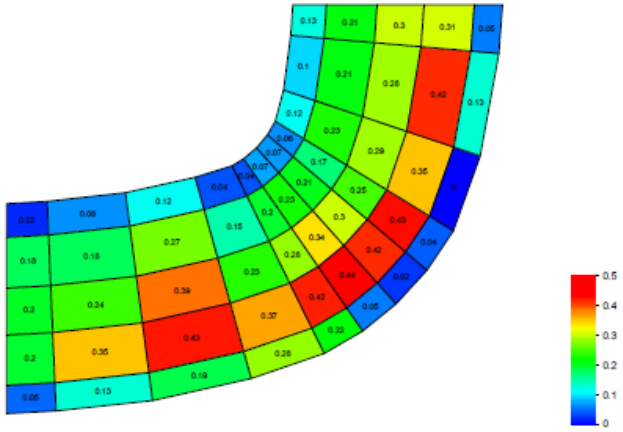
- Valores máximos de $\overline{C}_{P,e} - \overline{C}_{P,i}$ - Figura C.2;
- Valores mínimos de $\overline{C}_{P,e} - \overline{C}_{P,i}$ - Figura C.3;



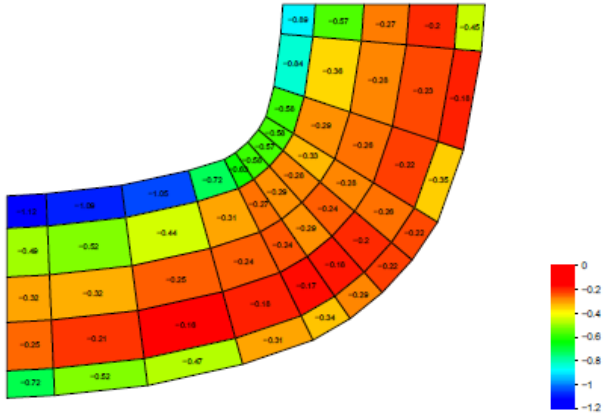
(a) Faces A, B e C.



(a) Faces A, B e C.



(a) Faces D, E e F.

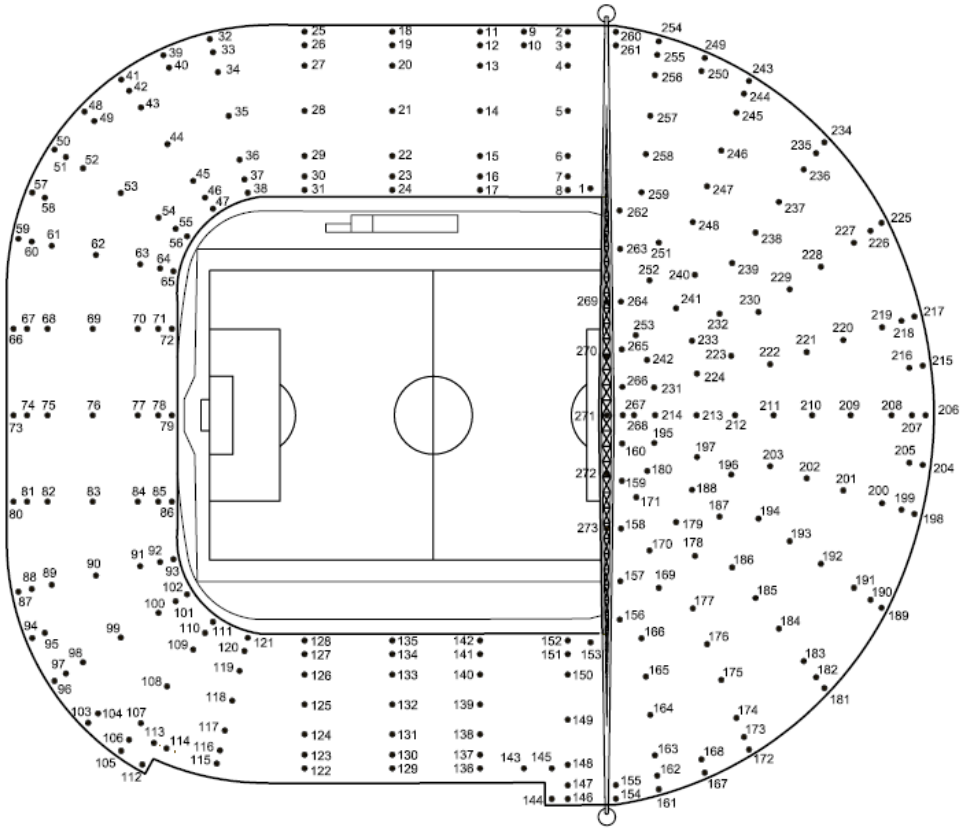


(a) Faces D, E e F.

ESTUDO EM TÚNEL DE VENTO –CASOS PRÁTICOS

- ESTÁDIO ALLIANZ PARQUE
- LOCAL – SÃO PAULO - BR
- LABORATÓRIO – LAC Laboratório de Aerodinâmica das Construções - UFRGS

- **ESCALA DO MODELO – 1/400**
- **PONTOS DE MEDIÇÃO - 273**



Cobertura - Estádio Palestra Itália
Localização das tomadas de pressão externas

▪ ESTUDO EM TÚNEL DE VENTO –

- DADOS DE PROJETO

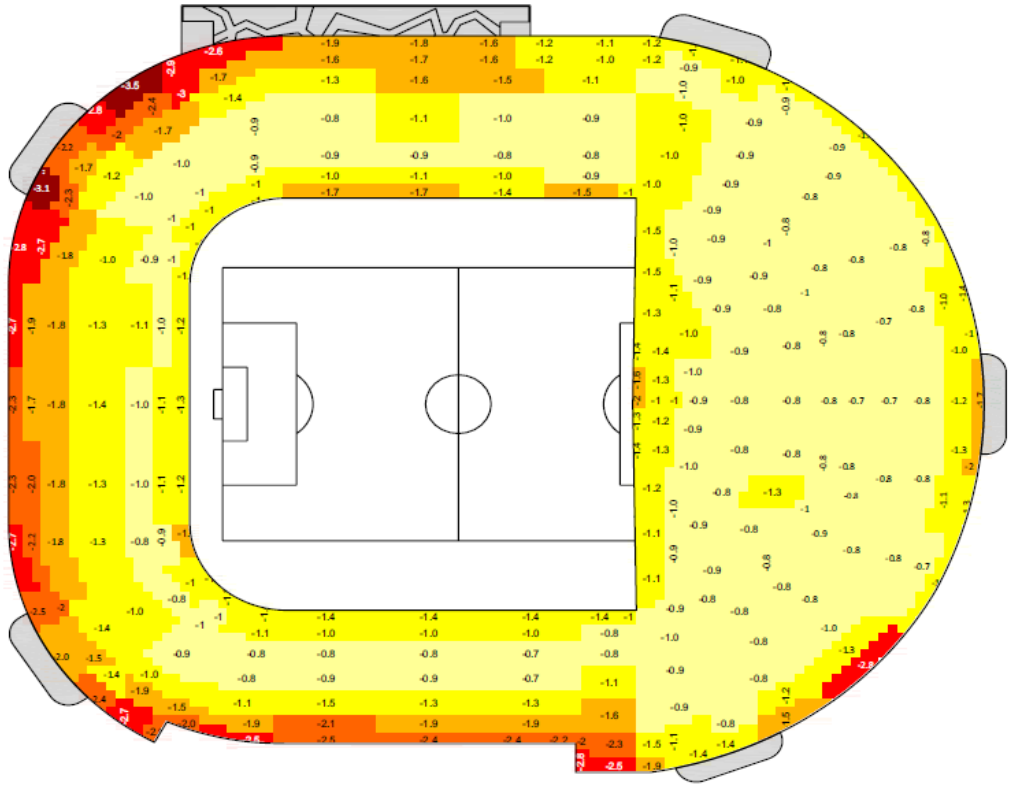
‘

- NORMA ABNT 6123
- S1 = 1,0
- S2 = 1,03 (5 seg, H=40 m, CAT III e IV)
- S3 = 1,0 RECORRÊNCIA (S1) – 50 anos
- Vo = 38 m/seg Vk = 39,1 m/seg
- Pressão dinâmica q = 0,94 kN/m2

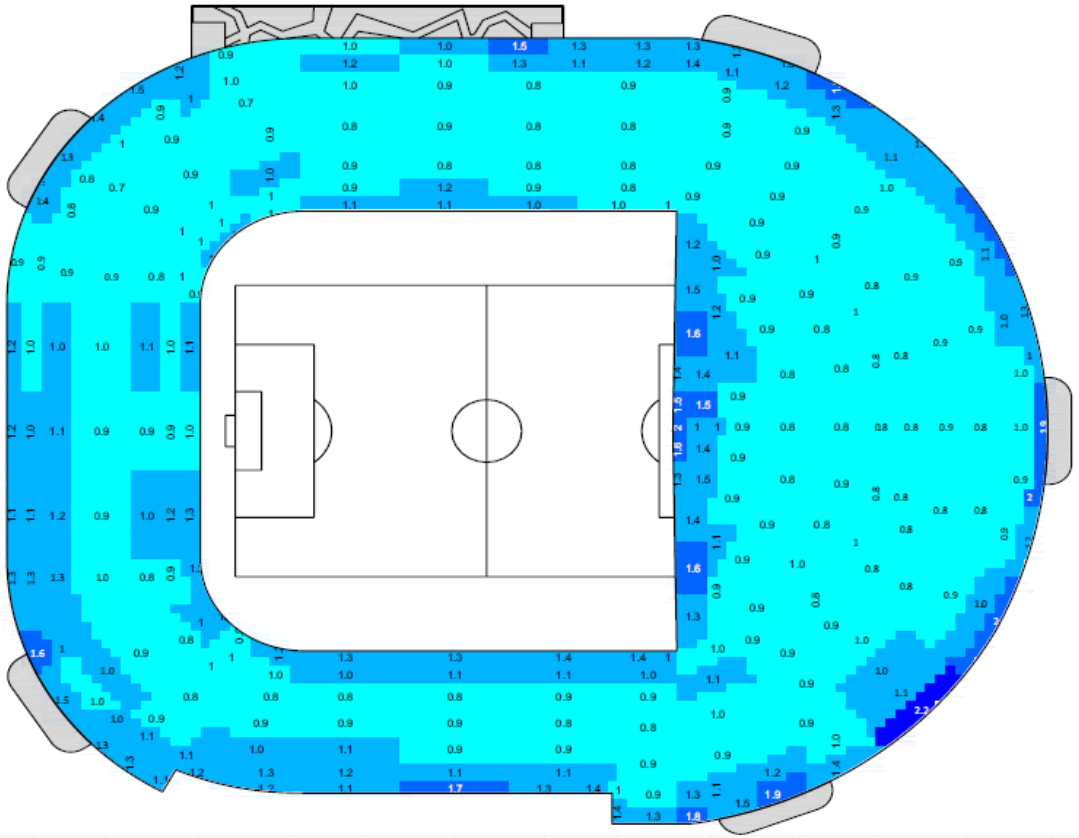
FATOR PARA ENSAIO EM TÚNEL DE VENTO = 180

ESTUDO EM TÚNEL DE VENTO – CASOS PRÁTICOS

Sucção



SobrePressão



- **ARENA PANTANAL – cap 44 097**
  - **CUIABÁ**

- DADOS DE PROJETO

- NORMA ABNT 6123

‘ - S1 = 1,0

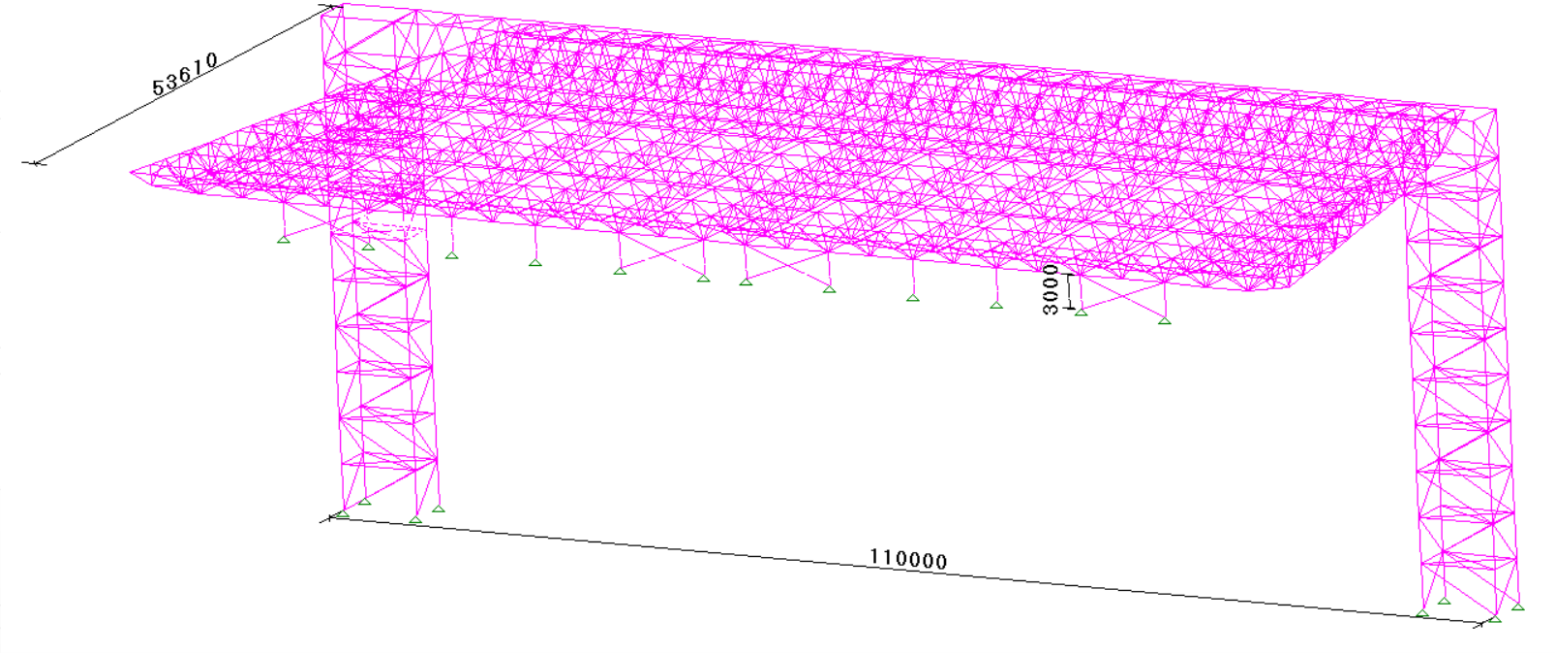
- S2 = 1,04 (5 seg, H=40 m, CAT III)

- S3 = 1,0 RECORRÊNCIA (S1) – 50 anos

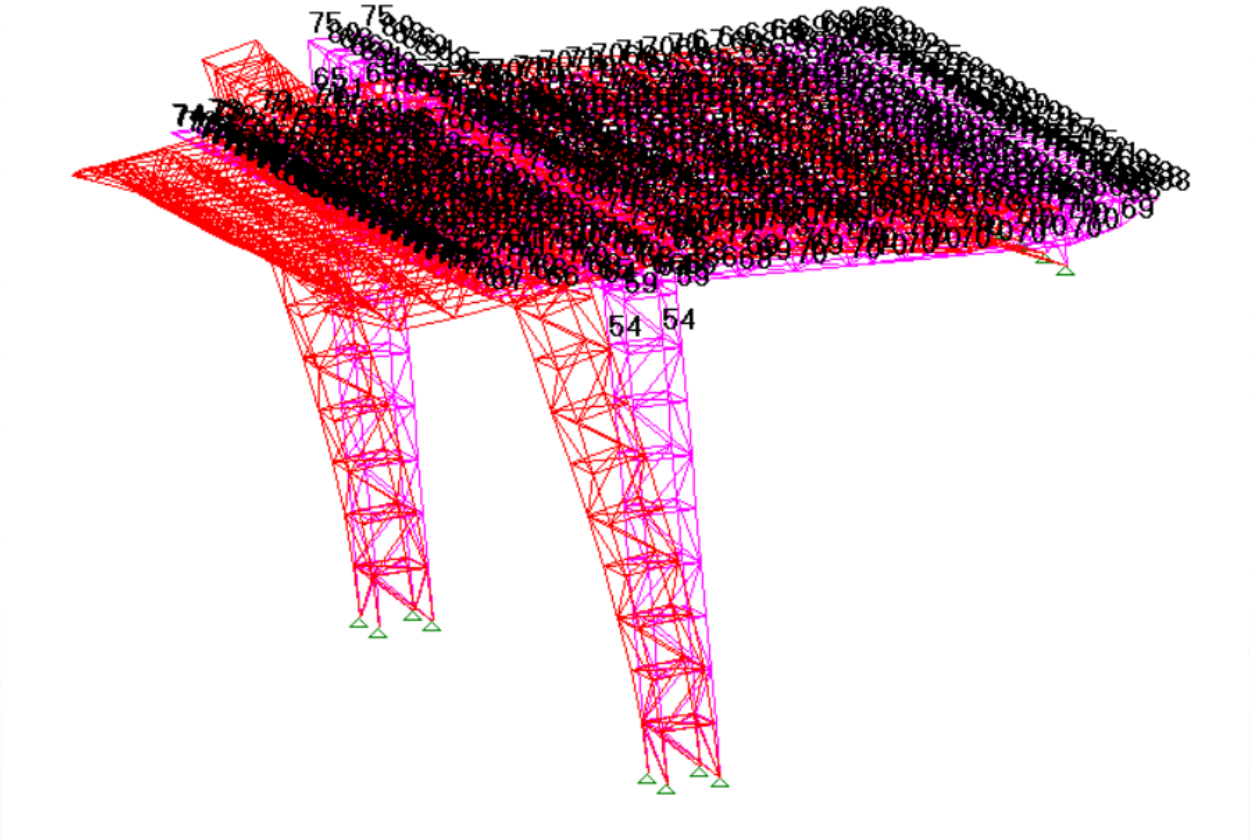
- Vo = 35 m/seg Vk = 36,40 m/seg

- Pressão dinâmica q = 0,82 kN/m2

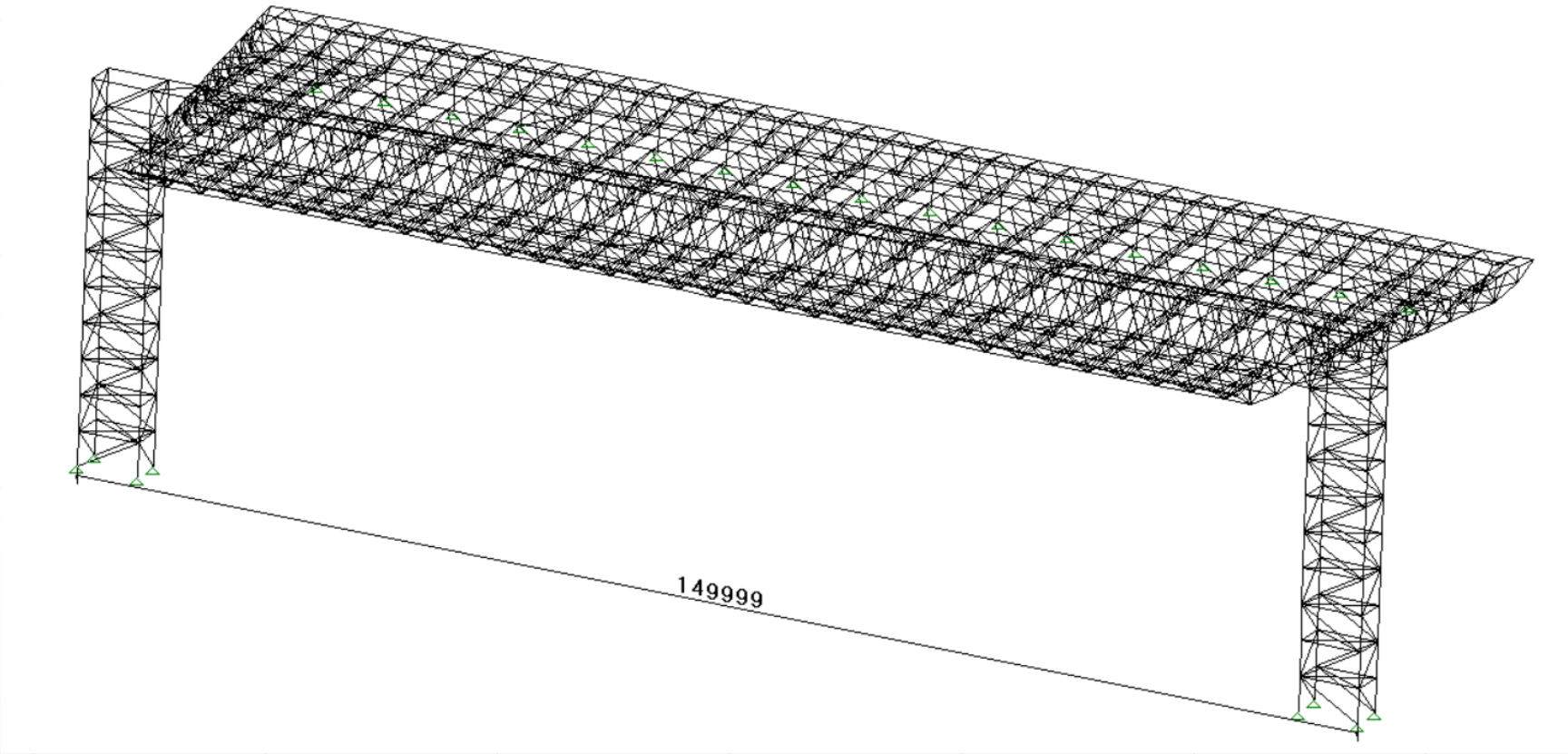
FATOR PARA ENSAIO EM TÚNEL DE VENTO = 170



MODELO ANALÍTICO – COBERTURAS N-S



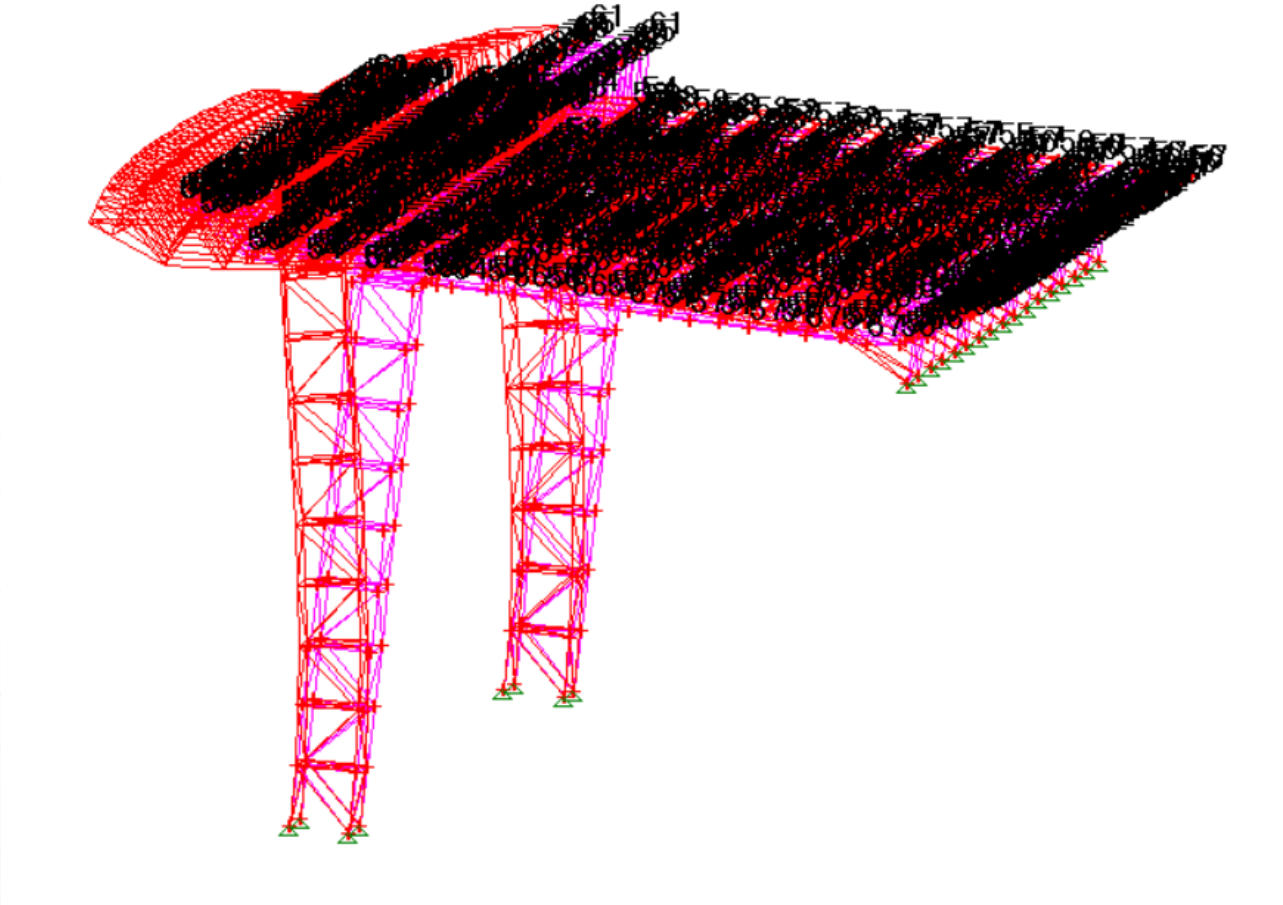
Freq natural – 0,47 Hz



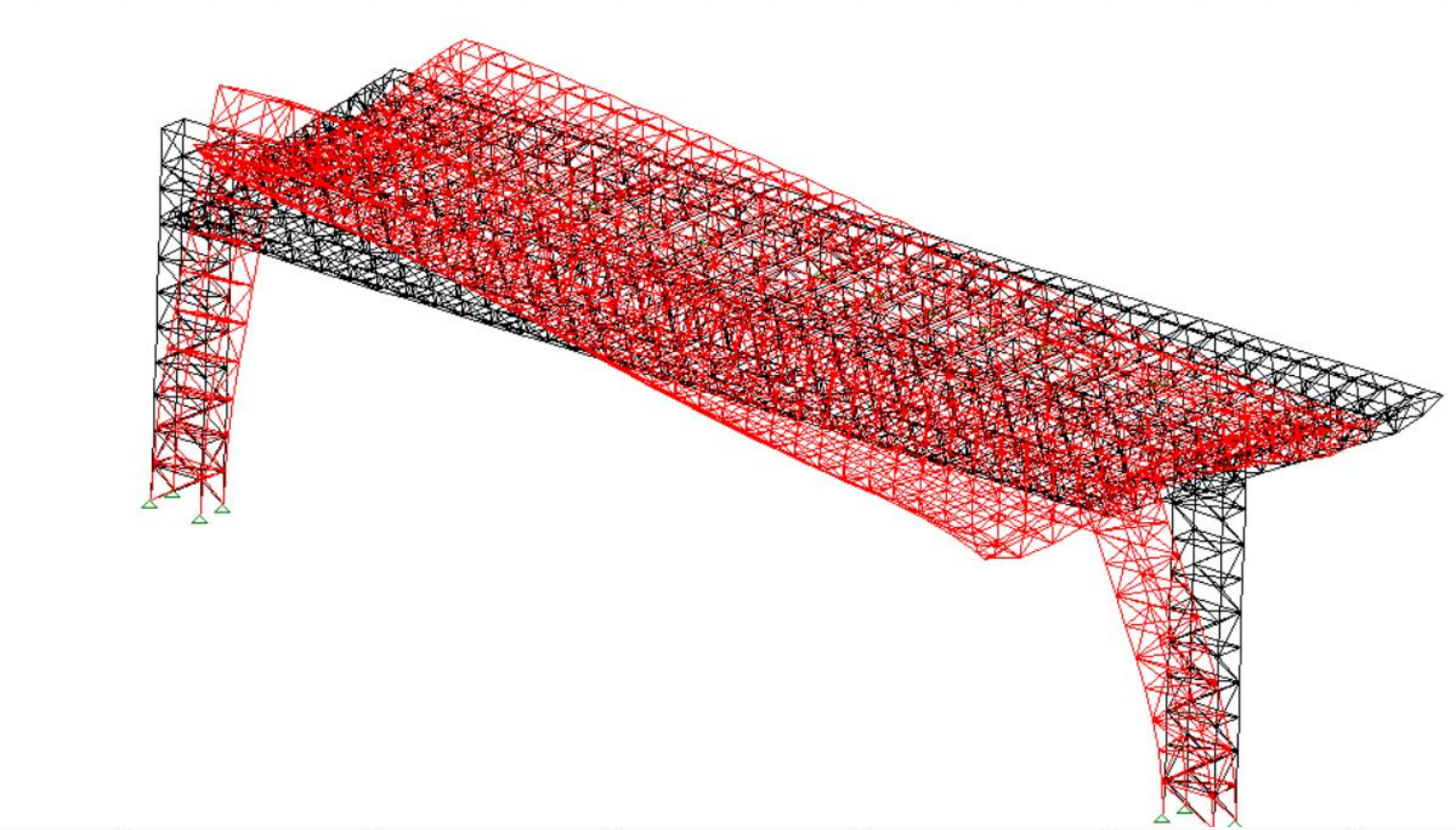
MODELO ANALÍTICO – COBERTURAS L-O

Modo N.º	Autovalor (Omega**2)	Frequência Natural	Período
1	6.124	0.3939	2.53893
2	19.937	0.7106	1.40719
3	27.273	0.8312	1.20312
4	34.529	0.9352	1.06927
5	53.755	1.1669	0.85698
6	95.054	1.5517	0.64446
7	145.276	1.9183	0.52129
8	154.980	1.9813	0.50471
9	209.201	2.3020	0.43441
10	250.558	2.5193	0.39694

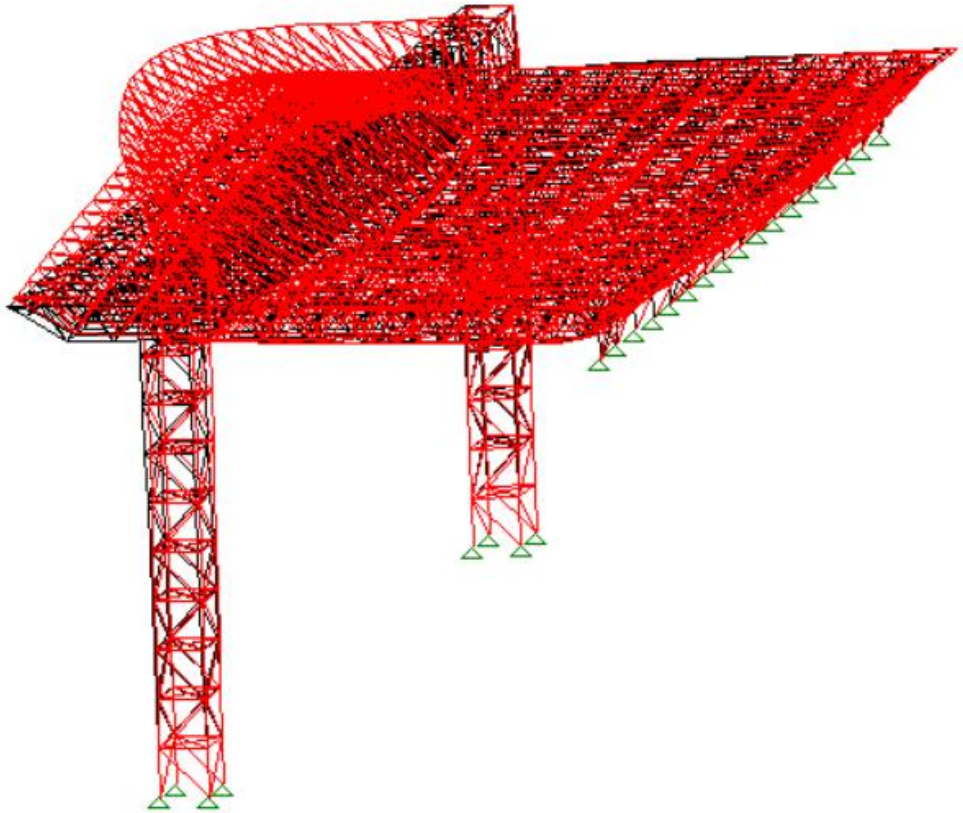
- TABELA - 10 PRIMEIROS MODOS DE VIBRAÇÃO



1ª Freq natural – 0,39 Hz

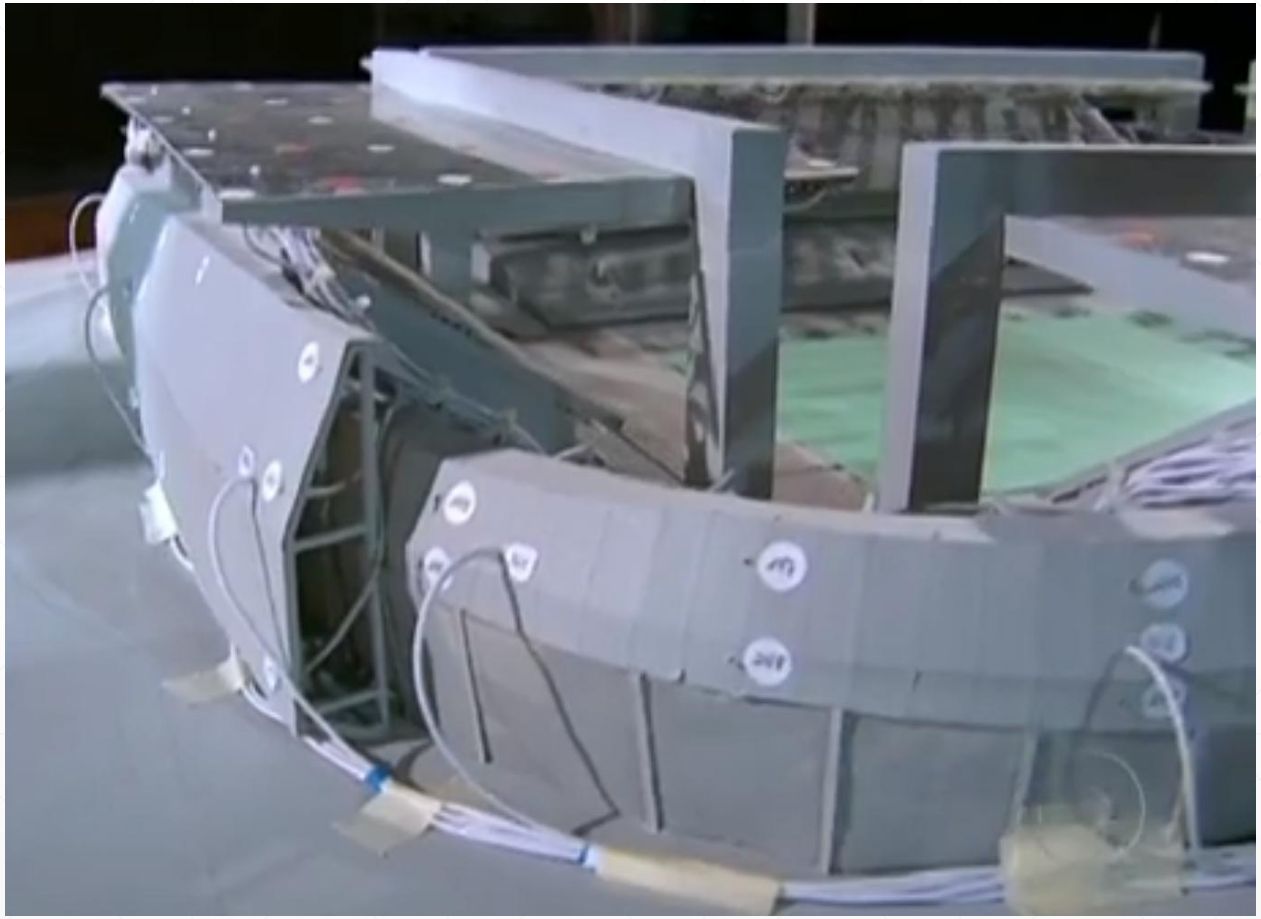


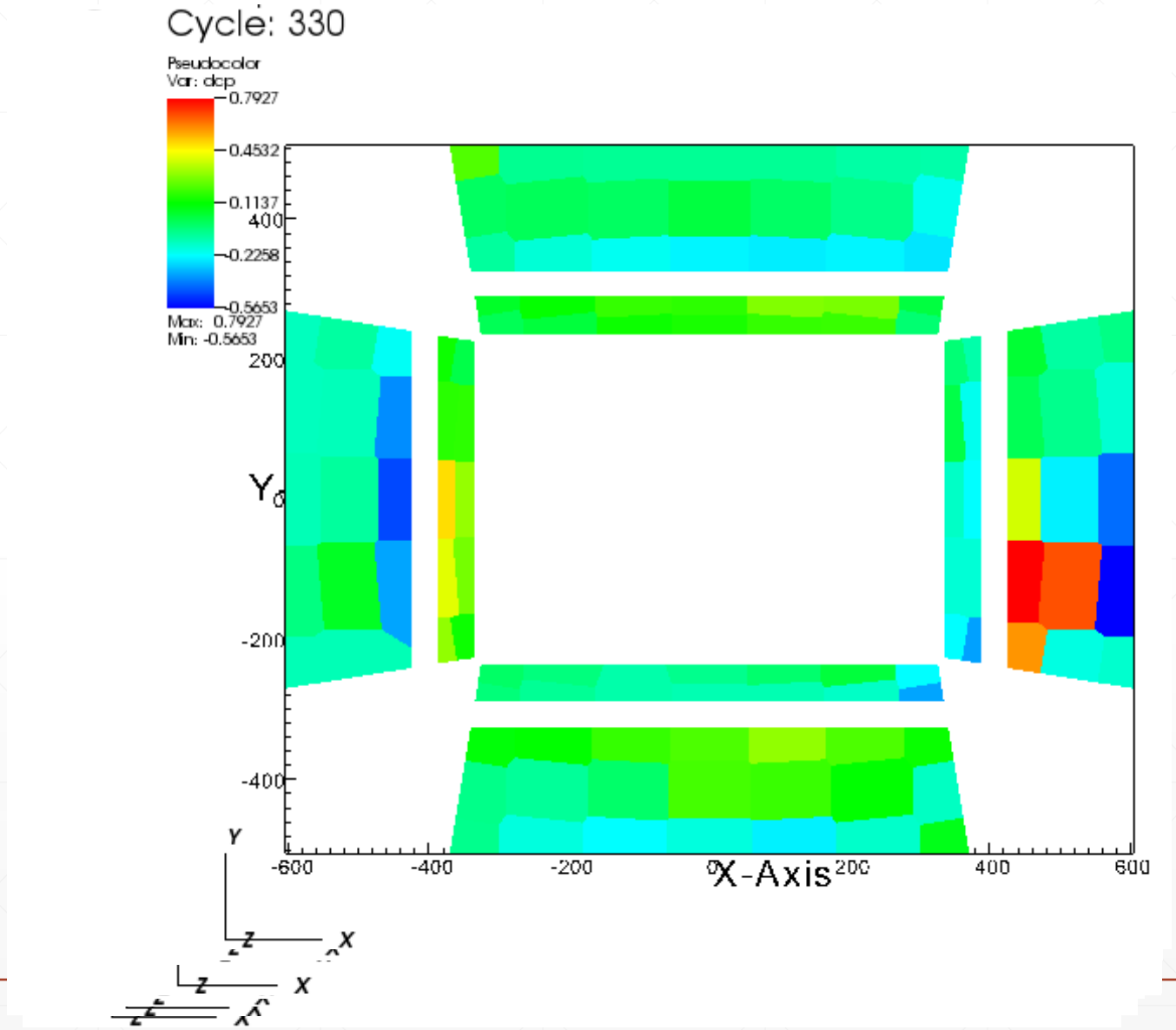
2ª Freq natural – 0,71 Hz



3ª Freq natural – 0,83 Hz

- **ESCALA DO MODELO – 1/200**
- **PONTOS DE MEDIÇÃO – 308**




Cycle: 330
Pseudocolor
Var: dcp
0.7927
0.4532
0.1137
0.2258
-0.5653
Max: 0.7927
Min: -0.5653
400
200
Y
-200
-400
-600
-400
-200
X-Axis
200
400
600
Y
Z
X

MUSEU DO AMANHÃ - RJ

- **MUSEU DO AMANHÃ - RJ**

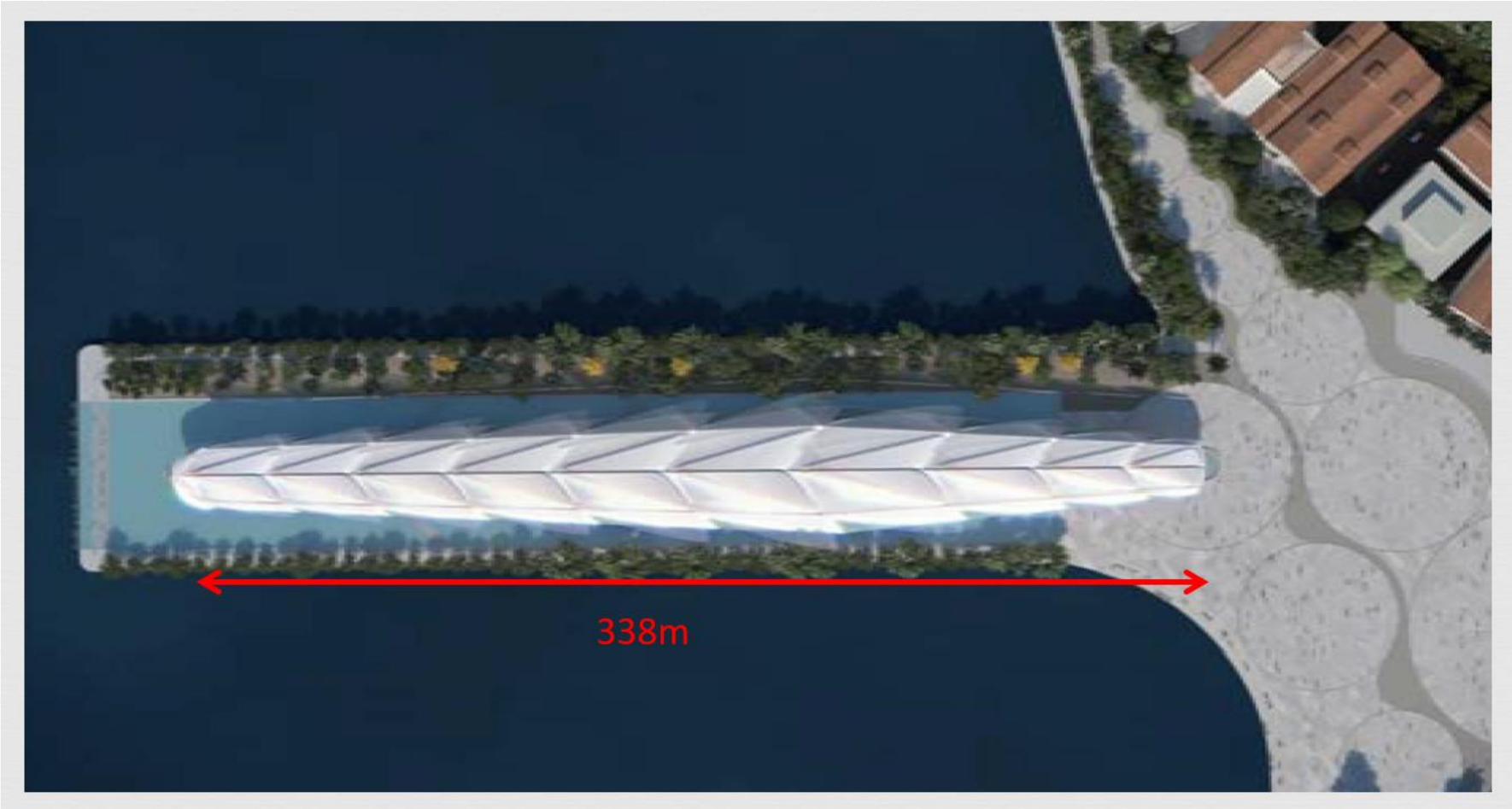
MUSEU DO AMANHÃ - RJ

ILUSTRAÇÃO ARTÍSTICA

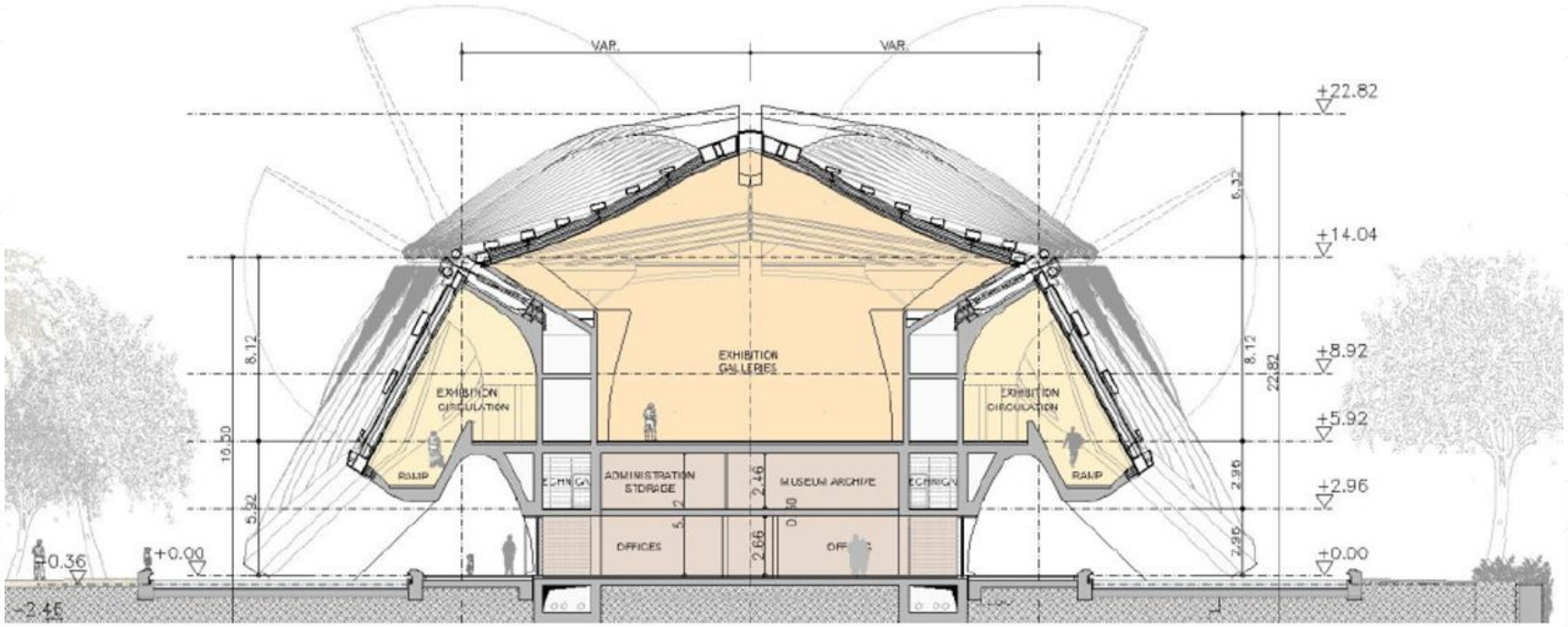
SITUAÇÃO REAL

CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA

▪ MUSEU DO AMANHÃ - RJ

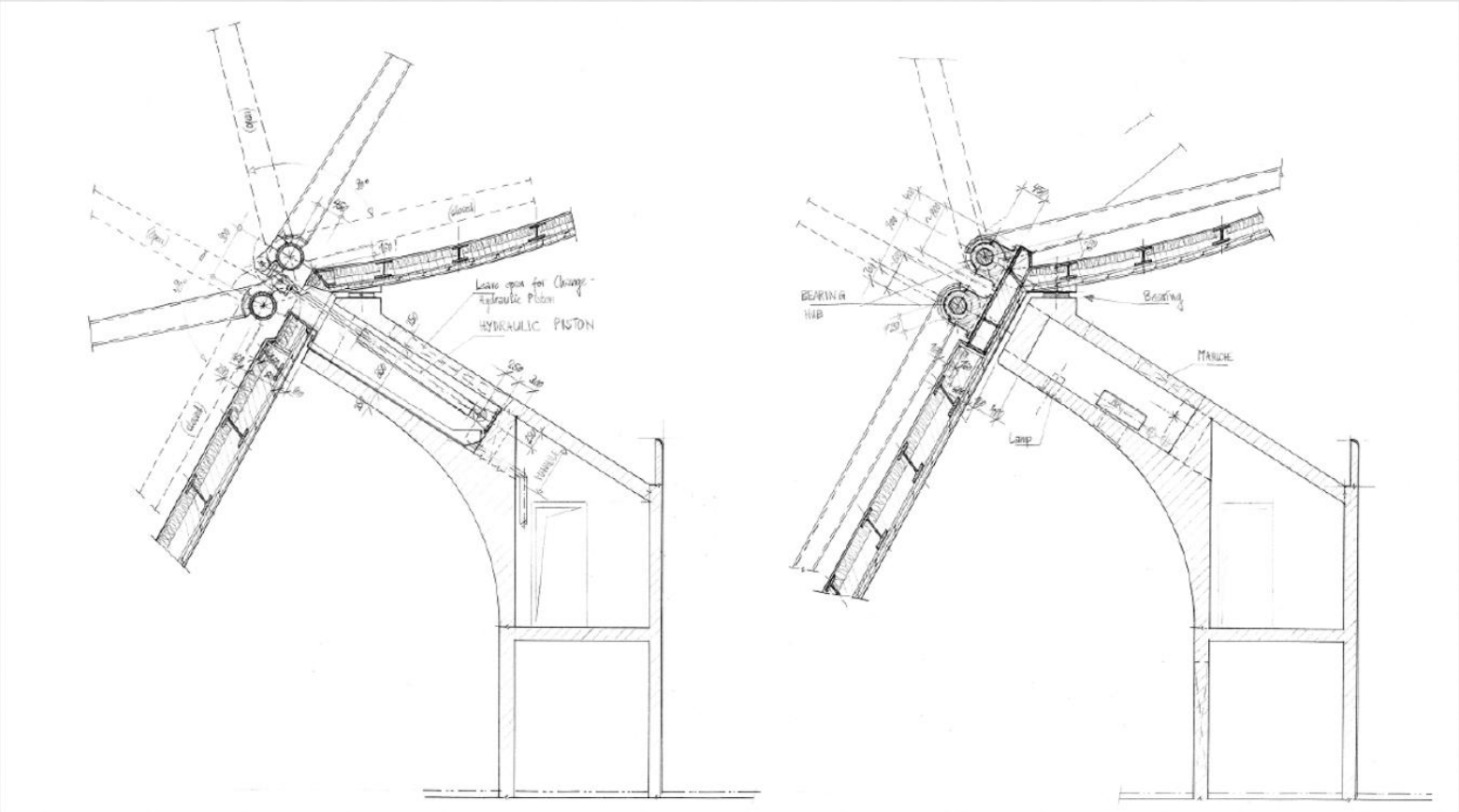


▪ MUSEU DO AMANHÃ - RJ



SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA

▪ MUSEU DO AMANHÃ - RJ

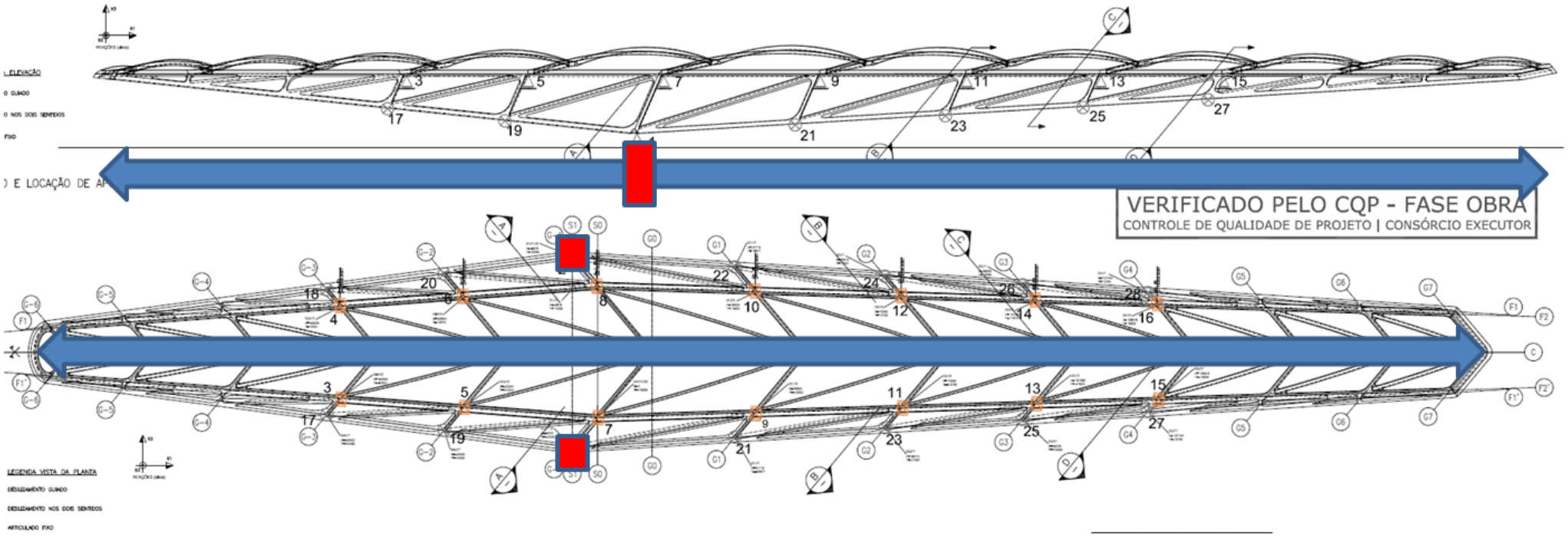


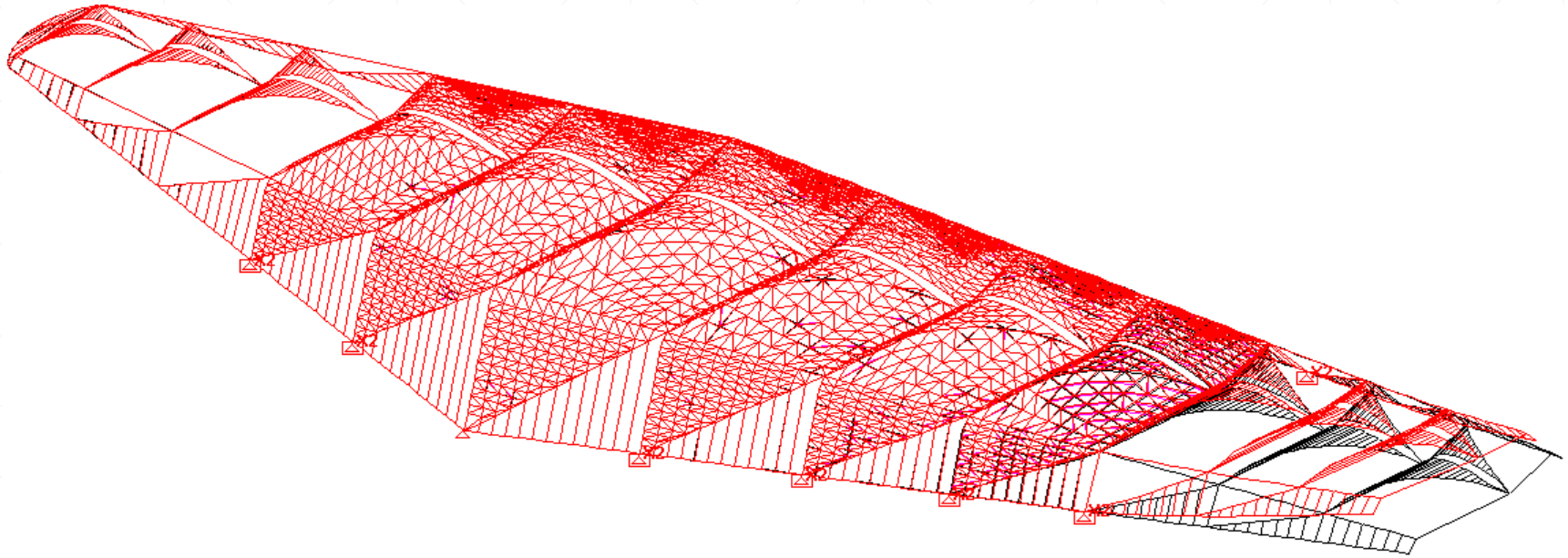
MOVIMENTAÇÃO DAS ALETAS

MUSEU DO AMANHÃ - RJ

- 338 m de extensão
- 70 m de balanço (lado terra);
- 74 m de balanço (lado mar)
- 44 m de largura máxima;
- PESO TOTAL 3 800 ton

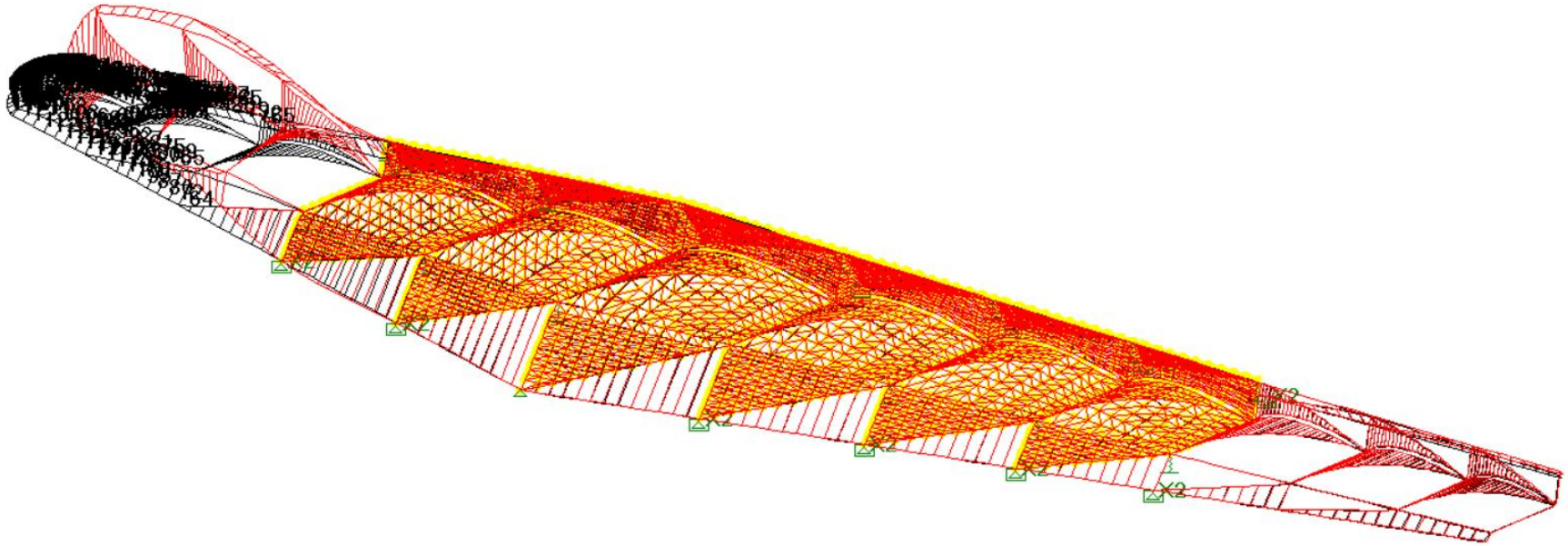
- **MUSEU DO AMANHÃ – RJ**
  - **VÍNCULOS**





MODOS : Autovalores

Modo N.º	Autovalor (Omega**2)	Frequência Natural	Período	Translação Máx. Nó-DOF
1	14.813	0.6125	1.63254	734-3
2	16.415	0.6448	1.55080	3214-3
3	17.444	0.6647	1.50439	535-2
4	21.761	0.7424	1.34693	3279-3
5	54.037	1.1699	0.85474	3214-3
6	68.757	1.3197	0.75774	3016-3
7	130.580	1.8187	0.54985	734-3
8	132.689	1.8333	0.54546	5298-2
9	143.297	1.9052	0.52488	297-3
10	143.481	1.9064	0.52455	152-3

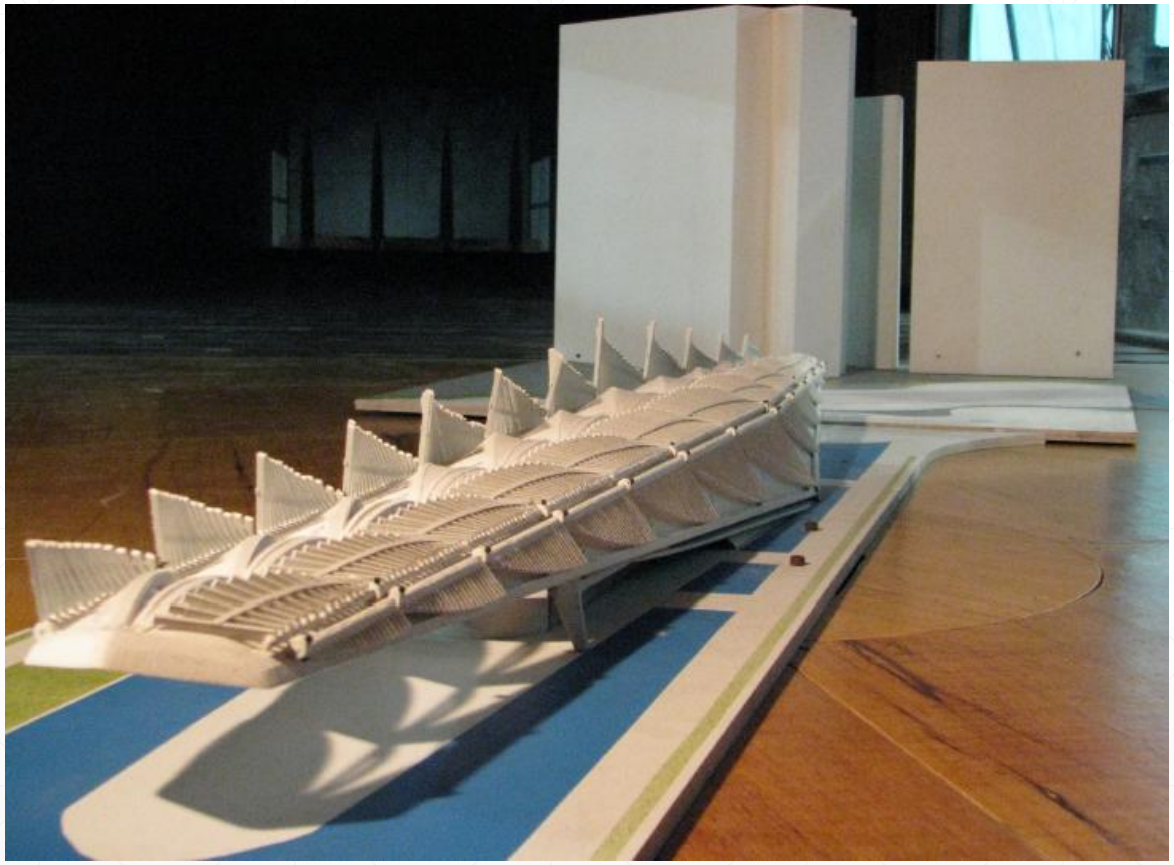


Modo N.º	Autovalor (Omega**2)	Frequência Natural	Período	Translação Máx. Nó-DOF
1	14.813	0.6125	1.63254	734-3
2	16.415	0.6448	1.55080	3214-3
3	17.444	0.6647	1.50439	535-2
4	21.761	0.7424	1.34693	3279-3
5	54.037	1.1699	0.85474	3214-3
6	68.757	1.3197	0.75774	3016-3
7	130.580	1.8187	0.54985	734-3
8	132.689	1.8333	0.54546	5298-2
9	143.297	1.9052	0.52488	297-3
10	143.481	1.9064	0.52455	152-3

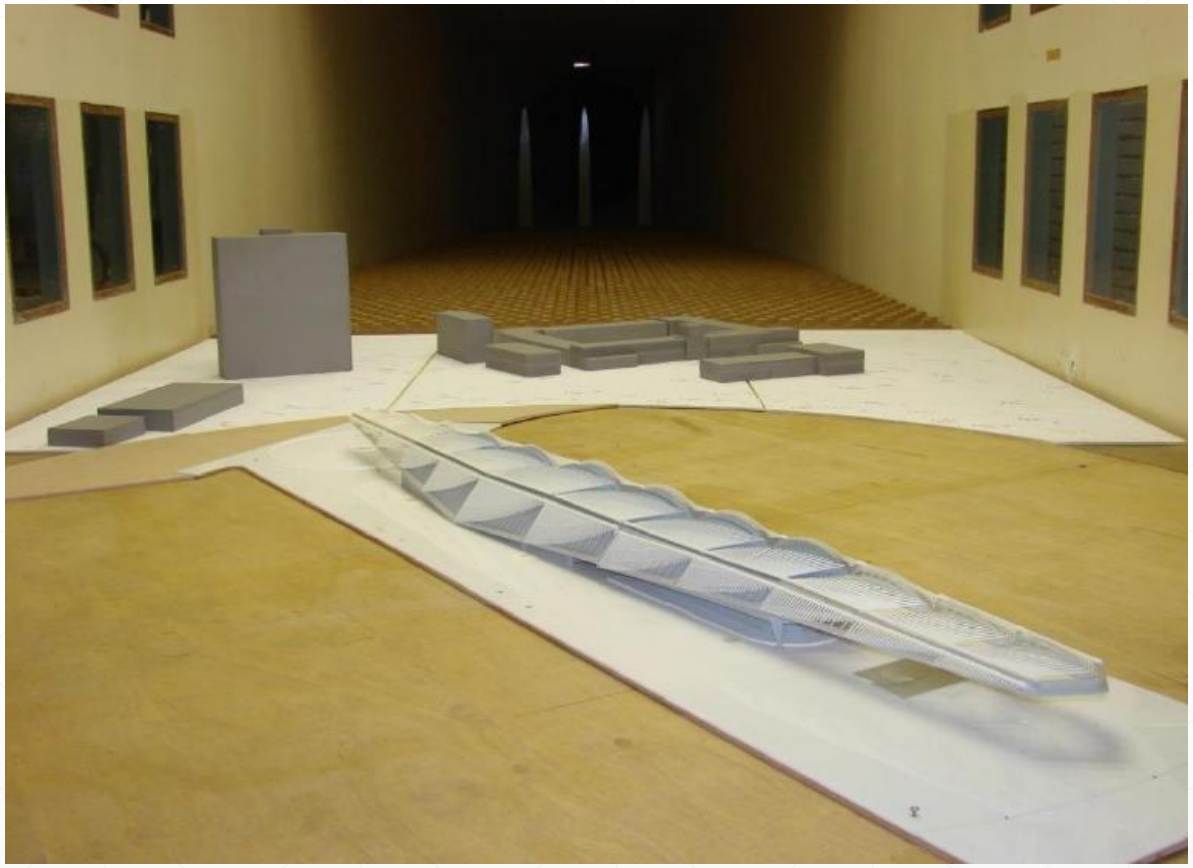
▪ MUSEU DO AMANHÃ - RJ

- **MUSEU DO AMANHÃ - RJ**

MODELO IPT

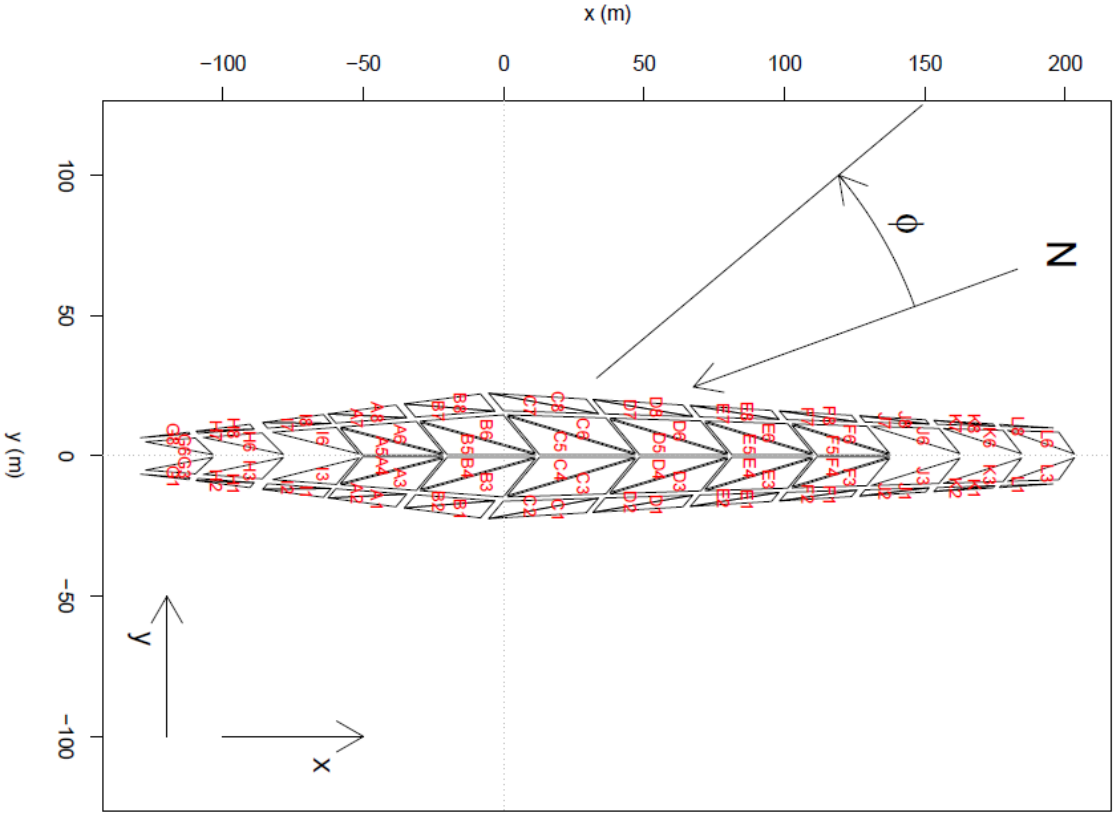


MODELO LAC



ESTUDO EM TÚNEL DE VENTO – CASOS PRÁTICOS

- **ESCALA DO MODELO – 1/200**
- **MEDIDAS DO TÚNEL DE VENTO – L=28 m, B=3,00 m, H=2,00 m**
- **PONTOS DE MEDIÇÃO - 180**



ESTUDO EM TÚNEL DE VENTO – CASOS PRÁTICOS

- DADOS DE PROJETO

  - NORMA ABNT 6123
  - S1 = 1,0
  - S2 = 3 seg, H=24 m, CAT I/IV
  - S3 = 1,0 RECORRÊNCIA (S1) – 50 anos
  - Vo = 35 m/seg
  - Pressão dinâmica q = 0,90 kN/m2

FATOR PARA ENSAIO EM TÚNEL DE VENTO = 170

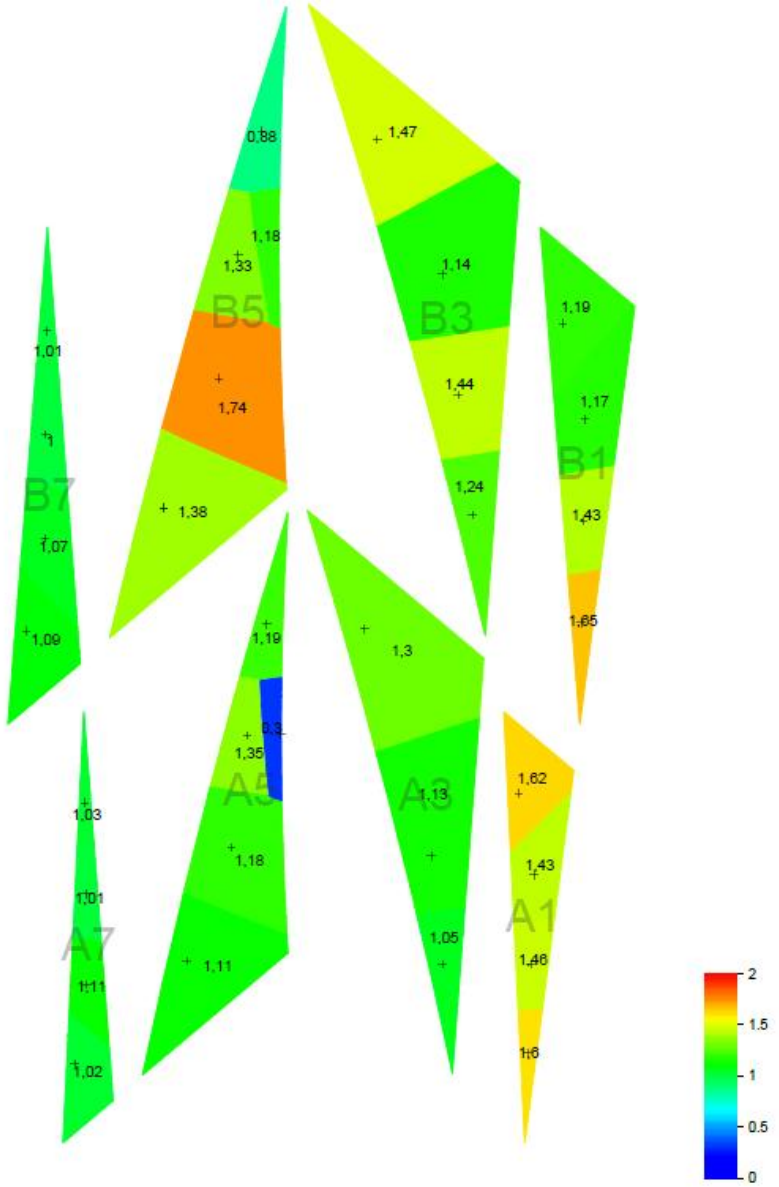
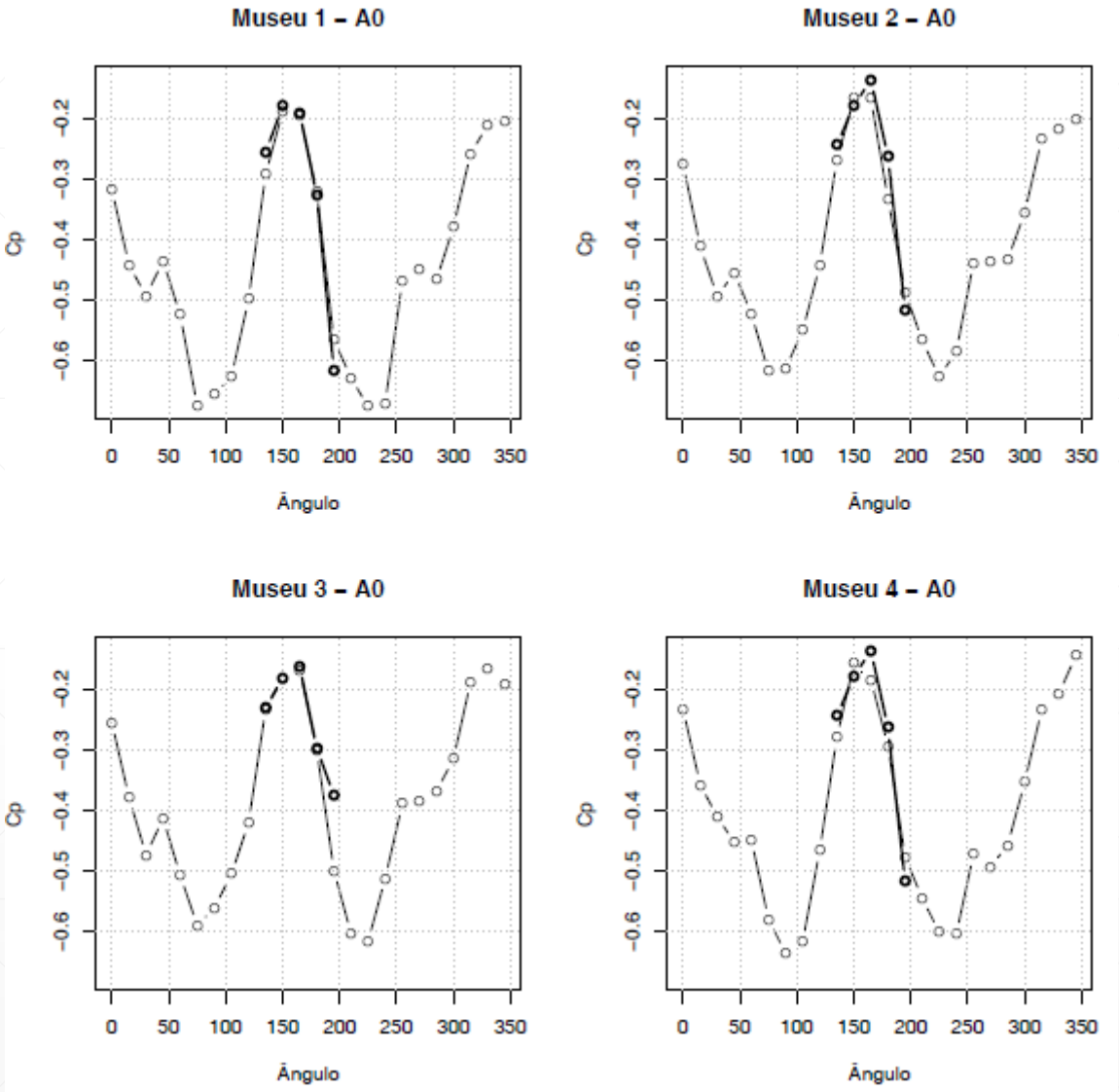


Tabela B.1 – Posições das tomadas de pressão e áreas de influência.

Face	Tomada	Área (m^2)	Face	Tomada	Área (m^2)	Face	Tomada	Área (m^2)
A1	A10	14	C7	C14	46	F5	F7	54
A1	A11	25	C7	C16	102	F5	F8	49
A1	A12	42	C7	C17	81	F5	F9	9
A1	A13	45	D1	D10	16	F7	F14	9
A3	A1	23	D1	D11	28	F7	F15	17
A3	A2	71	D1	D12	42	F7	F16	25
A3	A4	90	D1	D13	54	F7	F17	33
A5	A5	17	D3	D1	28	G1	G3	12
A5	A6	22	D3	D2	45	G6	G1	33
A5	A7	50	D3	D3	69	G6	G2	41
A5	A8	53	D3	D4	67	H1	H5	14
A5	A9	9	D5	D5	24	H1	H6	25
A7	A14	10	D5	D6	33	H3	H1	14
A7	A15	18	D5	D7	78	H3	H2	23
A7	A16	27	D5	D8	72	H3	H3	36
A7	A17	35	D5	D9	13	H3	H4	33



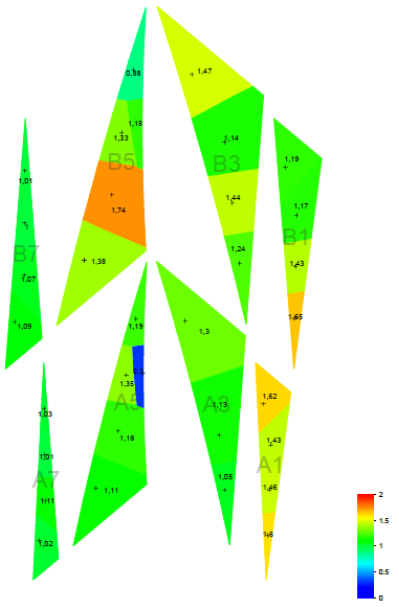


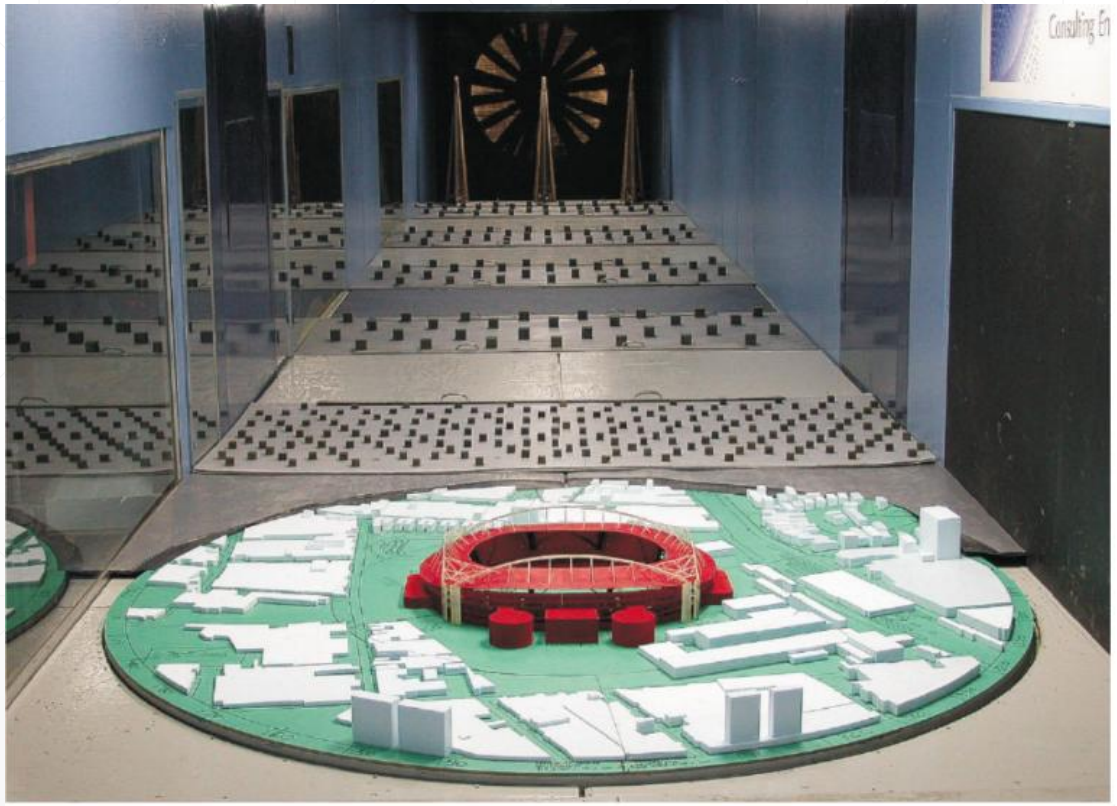
Figura D.1 – Piores casos de coeficientes de pressão para sobrepressão nas faces A e B, considerando todos os ângulos de incidência do vento.

- **ESTUDO EM TÚNEL DE VENTO**
  - **ESTUDO COMPARATIVO**

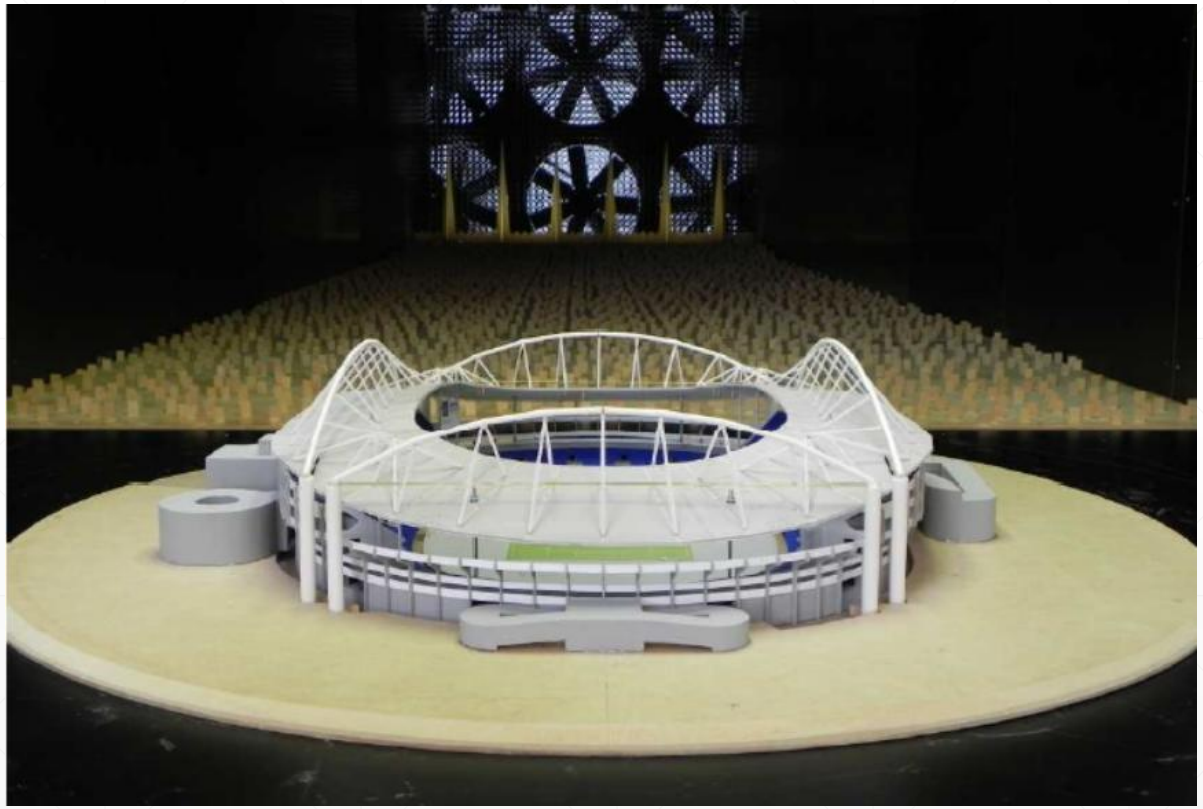
- ESTÁDIO NILTON SANTOS - ENGENHÃO –
- LOCAL – RIO DE JANEIRO - BR
- LABORATÓRIO – RWDI (CANADÁ) / WACKER (ALEMANHA)

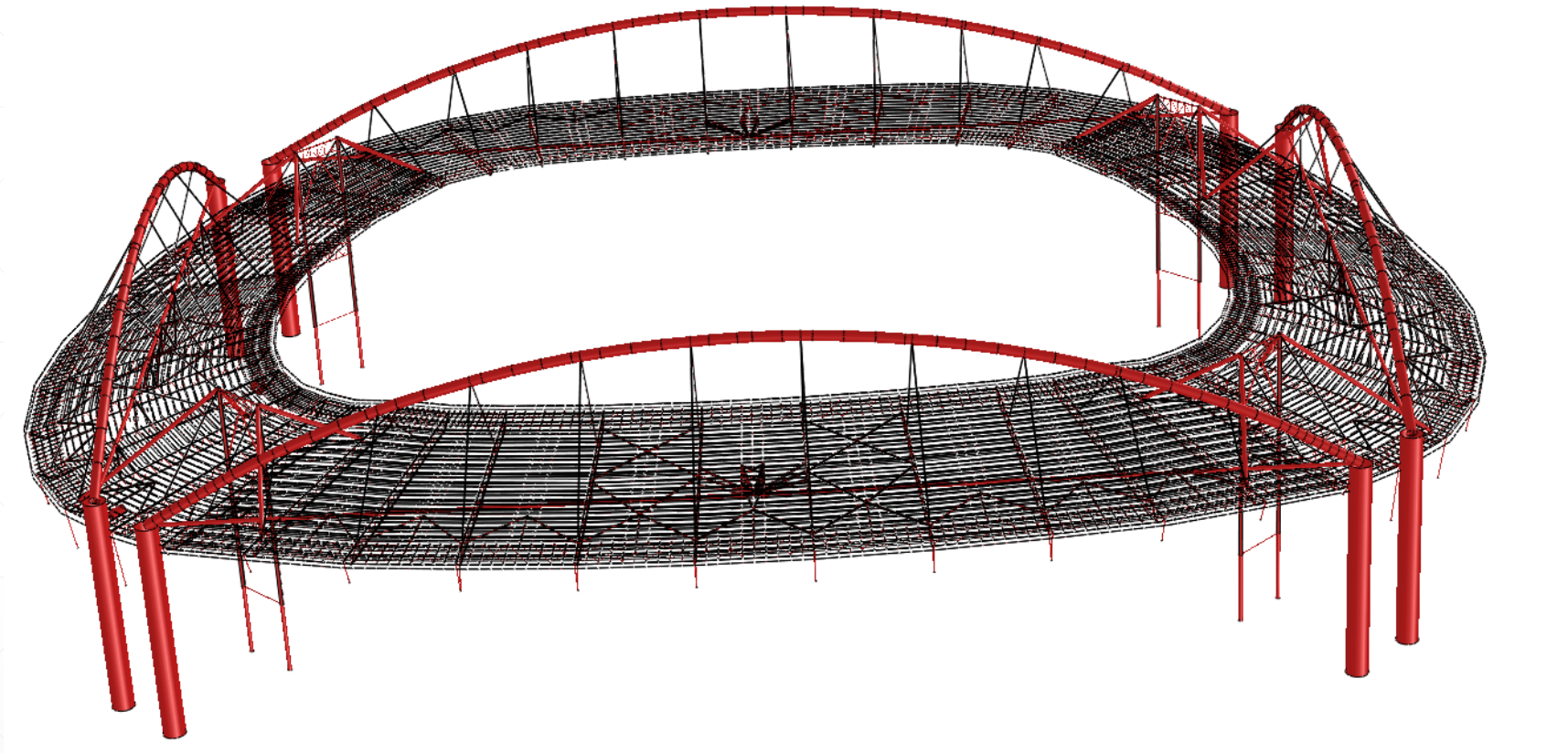
ESTUDO EM TÚNEL DE VENTO – CASOS PRÁTICOS

MODELO RWDI

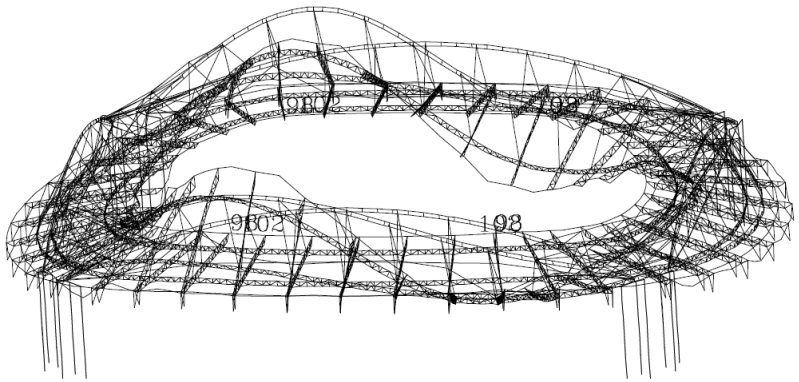


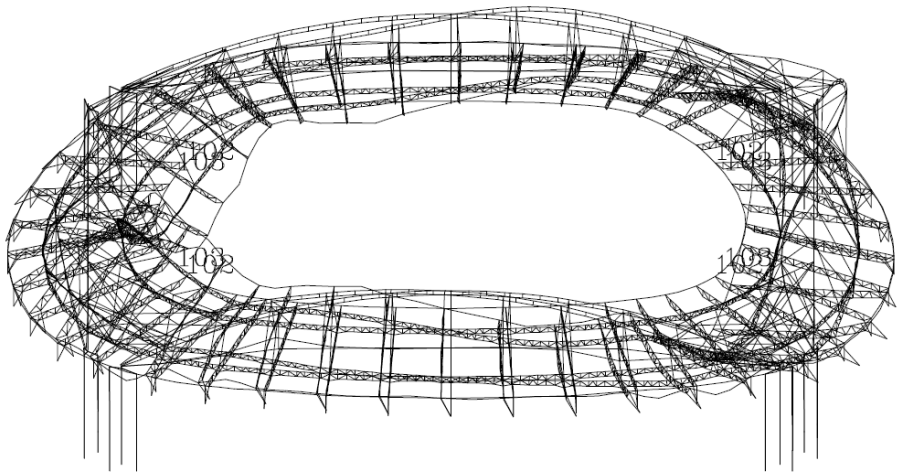
MODELO WACKER





MODELO ANALÍTICO





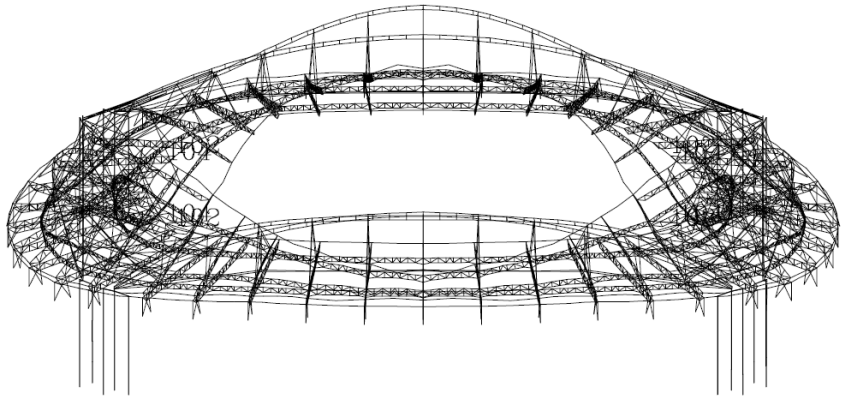


TABELA COMPARATIVA

WIND LOAD ON ROOF Quasi-static pressure alone						
		LC	PX	PY	PXY	PZ
source	name	number	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
RWDI	W1a	12	-403	-86	412	3861
	W1b	13	28	-116	119	3122
	W2a	14	-468	89	476	-5716
	W2b	15	52	90	104	-5267
	W3a	16	-507	-233	558	22
	W3b	17	-248	357	435	-1181
	W3c	18	-252	355	435	-622
	W4a	19	-758	106	765	-1074
	W4b	20	-767	54	768	-1246
	W4c	21	-1209	-59	1210	-132
	W5	22	-357	68	364	-777
	W6	23	-270	82	282	-1037

SOBRESSÃO WACKER >2 X RWDI

Wacker	WL000a	40	3	-330	330	-986
	WL000b	41	4	181	181	-13719
	WL000c	42	8	216	216	-7414
	WL000d	43	-1	-365	365	-7292
	WL030a	44	-1330	-146	1338	-7823
	WL030b	45	-106	126	165	-15235
	WL060a	46	-1836	-362	1871	-3356
	WL060b	47	-1353	37	1354	-8704
	WL090a	48	-2273	32	2274	2340
	WL090b	49	-1927	22	1927	-4948
	WL090c	50	-2136	-341	2163	-1277
	WL120a	51	-1956	271	1975	-3042
	WL120b	52	-1360	13	1360	-7679
	WL150a	53	-1699	383	1741	-5375

- **SUCÇÃO WACKER > 3 X RWDI**

	RWDI	WACKER
Escala do modelo	1/400	1/300
Geometria da estrutura	Projeto preliminar 2004	Como construída (“as built”)
Simulação de edificações vizinhas	sim	não
Perfil de velocidade de vento	Não informado	Não informado
Rugosidade do terreno	subúrbio	subúrbio
Direções de incidência	36	36
Efeito de “direcionalidade”	sim	não
Número de tomadas de pressão	271	250
Registro de pressões flutuantes	Simultâneo em todas as tomadas de pressão	Aparentemente não simultâneo
Efeito dinâmico	sim	sim
Formas modais, frequências naturais	Modelo P. Alpha 2004 f_1=0,40 Hz	Modelo SBP 2012 f_1=0,43 Hz
Taxa de amortecimento da estrutura usada nos cálculos	Não informado	Não informado
Velocidade de projeto a z=10m→ S3V_0 (m/s)	38,5	38,5
Resultados de pressão de vento para o projeto de:	telhamento; tesouras; arcos e apoios internos	arcos
Áreas de influência para determinação de casos críticos para projeto dos arcos	Variádas conforme o caso: região de canto; centro dos setores Leste/Oeste	¼ da área da cobertura
Zonas de pressão na apresentação dos resultados	Áreas com dimensões < 40m (dimensões adequadas)	Áreas extensas com uma dimensão > 200m (não adequada)
Estimativa de forças de atrito e de arrasto	não	sim

PRINCIPAIS RAZÕES

1) ADOÇÃO DE S3 = 1,1

Obs: em Brasília, Salvador, Manaus a Wacker adotou S3 = 1,0

2) CARGA MÍNIMA DE 30 Kg/m2

Obs: em Brasília, Salvador, Manaus a Wacker carga mínima de 10 Kg/m2

3) HOMOGENEIZAÇÃO DE CARGAS COM MENOR ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO

1) FASE CONTRATAÇÃO

1.1) AJUDA NA ESCOLHA DO LABORATÓRIO LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO AS INSTALAÇÕES E EXPERTISE

1.2) AVALIAÇÃO JUNTO AO LABORATÓRIO DOS CRITÉRIOS DE PROJETO

- Parâmetros locais, Vo, S1, S2, S3
- Frequências modais significativas
- Determinação das Massas

1.3) FORMA DE APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

2) **FASE ANÁLISE ESTRUTURAL**

2.1) ELABORAÇÃO DOS CASOS DE CARREGAMENTO DE ACORDO COM OS BLOCOS DE CARGA INDICADOS NO TESTE

2.2) EFETUAR ESTUDOS DE PADRONIZAÇÃO DE ELEMENTOS

2.3) LOCALIZAR PICOS DE PRESSÃO E EFETUAR ESTUDOS PARTICULARES (NECESSIDADE DE REFORÇOS ESPECÍFICOS)

INSTITUTO DE ENGENHARIA

MUITO OBRIGADO

PARCERIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL ABECE

PATROCÍNIO

ENGETI Consultoria e Engenharia

TQS Informática Ltda.

APOIO INSTITUCIONAL

IBRACON

CREA-SP