

Tema: Coberturas e fechamentos: materiais, tecnologia e projeto

## **AÇÃO ESTÁTICA DO VENTO SOBRE A COBERTURA DO PARQUE MADUREIRA\***

Acir Mércio Loredo-Souza<sup>1</sup>  
Mario Gustavo Klaus Oliveira<sup>2</sup>  
Maria Cristina Dolz Bênia<sup>2</sup>  
Matthew Bruce Vallis<sup>1</sup>  
Marcelo Zanfelize Cavalcante<sup>2</sup>  
João Luis Casagrande<sup>3</sup>

### **Resumo**

Este trabalho apresenta a descrição do estudo experimental, em túnel de vento, da ação estática do vento sobre a nova cobertura atualmente em construção no Parque Madureira, na cidade do Rio de Janeiro, RJ. Maiores níveis de segurança e confiabilidade são atingidos quando a consideração criteriosa dos efeitos do vento é feita a partir da etapa de concepção, podendo inclusive levar a alterações arquitetônicas na forma externa da construção. Este processo preventivo é, geralmente, o de menor custo e o de maior eficiência. Além do estudo em túnel de vento, são discutidas as soluções estruturais adotadas para fazer frente às solicitações devidas ao vento. O trabalho apresenta a análise dos principais resultados do estudo, bem como evidencia os benefícios da utilização do túnel de vento como ferramenta de projeto para estruturas, coberturas e fechamentos, viabilizando a construção de edificações com arrojados projetos arquitetônicos.

**Palavras-chave:** Vento; Coberturas; Estruturas Metálicas; Túnel de Vento.

## **STATIC WIND ACTION ON THE PARQUE MADUREIRA LONG SPAN ROOF**

### **Abstract**

This paper describes the experimental wind tunnel study performed on a long span roof, currently being built in Parque Madureira, in the city of Rio de Janeiro, RJ. Higher levels of safety and reliability are reached when the precise consideration of the wind loads is taken at the design stage, even leading to architectural changes, if necessary. This process is generally the less costly and the most efficient. Besides the wind tunnel testing, the structural solutions to withstand the wind loads are also discussed. The paper presents the main results from the study, as well highlights the benefits of Wind tunnel testing as a design tool for the design of structures and cladding, allowing the construction of advance and challenging architectural shapes.

**Keywords:** Wind; Roofs; Steel Structures; Wind Tunnel.

<sup>1</sup> Laboratório de Aerodinâmica das Construções, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

<sup>2</sup> Vento-S Consultoria em Engenharia do Vento Ltda, Porto Alegre, RS, Brasil.

<sup>3</sup> Casagrande Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

\* Contribuição tecnológica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta os resultados do estudo, em modelo reduzido, da ação estática do vento sobre a cobertura da pista de *half pipe* do Parque Madureira em construção no Rio de Janeiro, RJ (figura 1).

A estrutura da cobertura tem características que a classificam como cobertura isolada e, portanto, está sujeita aos fenômenos aerodinâmicos inerentes a este tipo de construção. Para coberturas isoladas o vetor velocidade do vento, em um dado instante, pode ter uma direção inclinada no plano vertical, pela composição da velocidade média (horizontal) com a componente vertical da turbulência. Assim, para intervalos de tempo de alguns segundos, o vento pode soprar com uma inclinação que se situa entre  $+10^\circ$  e  $-10^\circ$ . Em casos de temporais com turbulência muito elevada, estes limites podem inclusive ser ultrapassados [1]. Do ponto de vista aerodinâmico, para coberturas isoladas, pode-se considerar o vento soprando horizontalmente e a cobertura girando de  $+10^\circ$  e  $-10^\circ$  (isto não é válido para coberturas sobre paredes). Como consequência deste fenômeno, para a mesma direção do vento médio incidente, diferentes padrões de carregamento são fisicamente possíveis de ocorrer na mesma estrutura. Para este estudo são apresentados três padrões de carregamento para ventos oriundos de tormentas EPS, tomando como base fatores de pico medidos nos ensaios em túnel de vento bem como encontrados na literatura, e coeficientes de correlação admitindo correlações distintas entre as pressões medidas na face externa e interna. Estes coeficientes de correlação foram aplicados aos coeficientes medidos nos ensaios.



Figura 1 – Perspectiva artística da cobertura.

Maiores níveis de segurança e confiabilidade são atingidos quando a consideração criteriosa dos efeitos do vento é feita a partir da etapa de concepção. Este processo preventivo é, geralmente, o de menor custo e o de maior eficiência. Por estas razões e por não existirem coeficientes aerodinâmicos específicos para a configuração arquitetônica do referido prédio em normas de vento, foi realizado o ensaio em túnel de vento. A solicitante foi Dimensional Engenharia Ltda., sendo o projeto estrutural realizado por Casagrande Engenharia e o projeto arquitetônico por Ruy Rezende Arquitetura. A construção e instrumentação dos modelos, bem como o processamento e análise dos resultados ficaram a cargo da Vento-S Consultoria em

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

Engenharia do Vento Ltda., sendo os ensaios em túnel de vento realizados no Laboratório de Aerodinâmica das Construções da Universidade Federal do Rio Grande do Sul [2, 3].

## 2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para realização dos ensaios em túnel de vento foi construído um modelo reduzido em escala 1/100. O modelo foi instrumentado com um total de 685 tomadas de pressão, distribuídas de modo a permitir um levantamento representativo das pressões em toda a edificação. As pressões foram medidas para 24 ângulos de incidência do vento (a cada 15°) e para duas simulações distintas de vento, totalizando 32.880 registros de séries temporais de pressões (16.440 registros de séries temporais para cada tipo de vento simulado). A figura 2 mostra o modelo reduzido no interior do túnel de vento.



Figura 2 – Modelo da cobertura no interior do túnel de vento.

Nas figuras 3 e 4 são indicadas as posições das tomadas de pressão nas faces superior e inferior do modelo reduzido, respectivamente, bem como a referência para ângulo de incidência do vento. Na face externa da cobertura foram colocadas 311 tomadas, na face interna da cobertura foram colocadas 168 tomadas, nas abas da cobertura foram colocadas 78 tomadas e nos apoios foram colocadas 128 tomadas de pressão estática.

Foram simulados todos os detalhes significativos da edificação real para que as condições de semelhança geométrica fossem preservadas. Algumas simplificações foram realizadas no modelo para que certos detalhes arquitetônicos não afetassem localmente as medidas em determinadas tomadas de pressão, principalmente devido aos efeitos do número de Reynolds (Re) na distribuição de pressões sobre superfícies curvas.

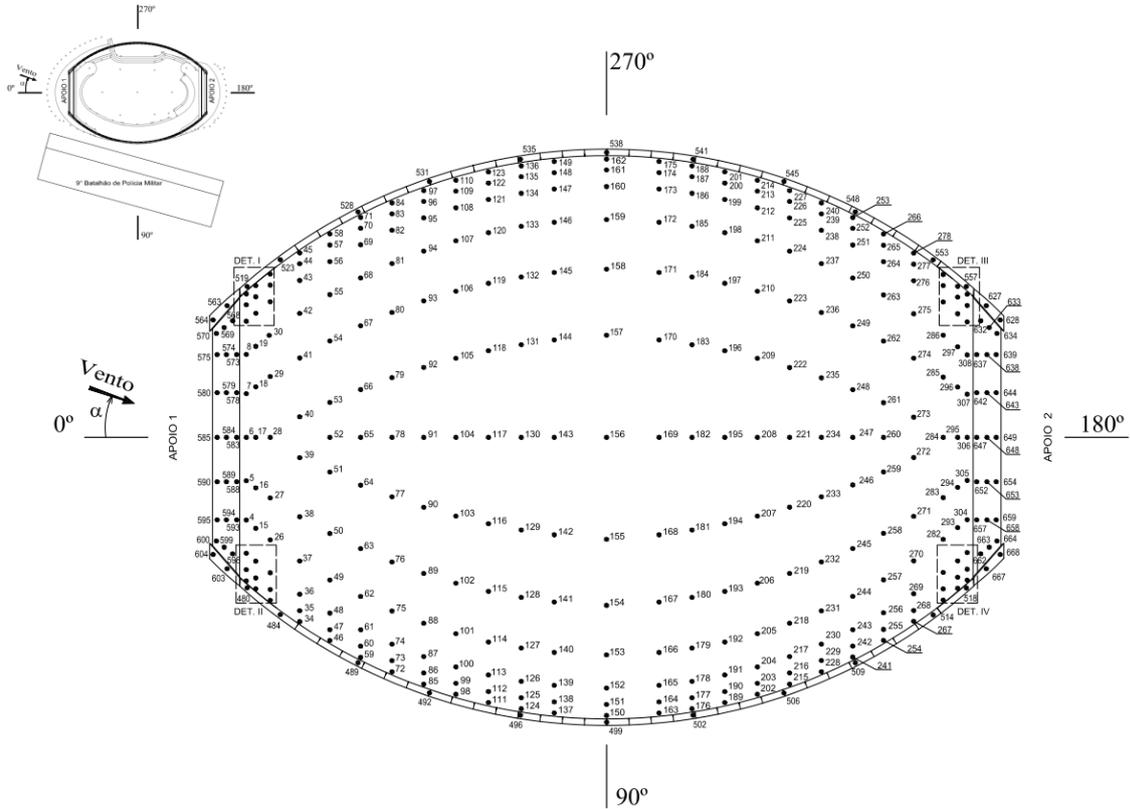


Figura 3 – Distribuição das tomadas de pressão na face superior da cobertura.

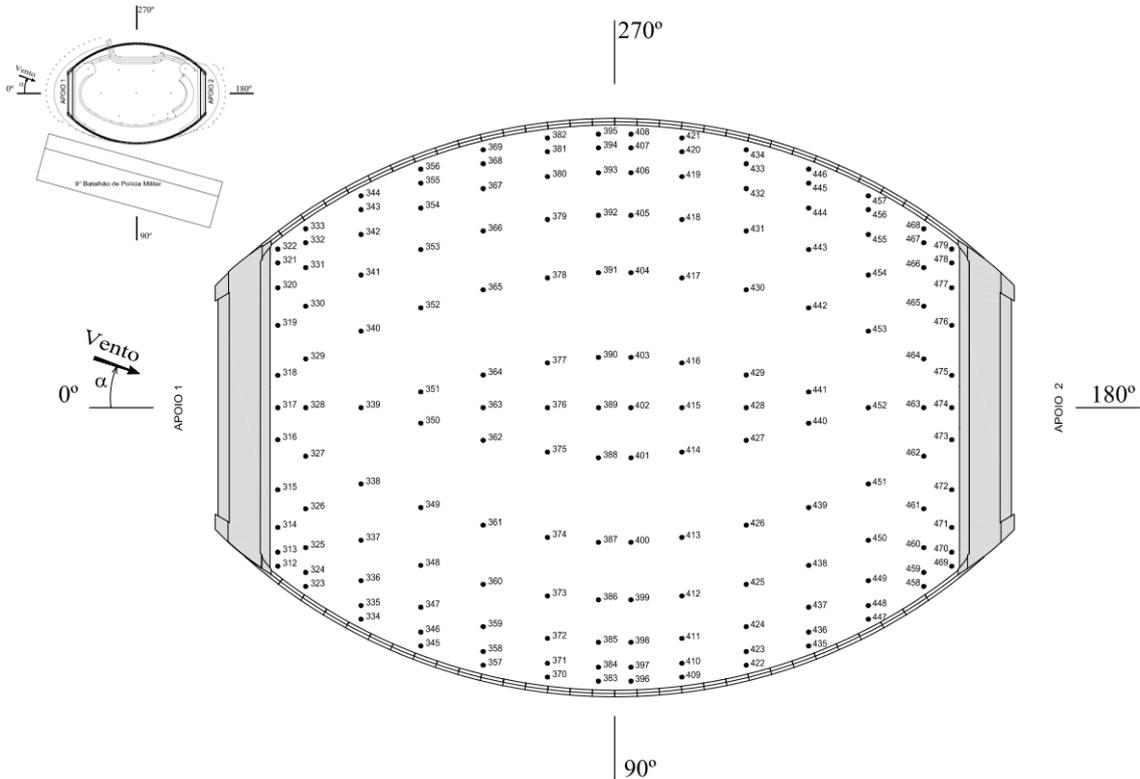


Figura 4 – Distribuição das tomadas de pressão na face inferior da cobertura.

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

As pressões externas em superfícies curvas dependem da localização dos pontos de separação do escoamento, os quais variam com a velocidade do vento, características de sua turbulência, dimensões e relação entre as dimensões da edificação, curvatura da superfície externa da cobertura e sua rugosidade. Logo, a distribuição das pressões adimensionais sobre modelos reduzidos é garantida pela preservação de  $Re$  nos ensaios, além da colocação de um determinado tipo de rugosidade na superfície da cobertura do modelo (no caso de superfícies curvas) que provoque transição no regime de escoamento para um  $Re$  equivalente. Um aumento da turbulência do escoamento provoca efeito semelhante ao de um aumento na rugosidade superficial, procedimento adotado neste estudo.

O número de Reynolds influencia a forma do escoamento e, portanto, a distribuição de pressões e a força exercida sobre o sólido imerso no escoamento. O número de Reynolds é definido como  $Re = V l / \nu$ , sendo  $V$  a velocidade do vento,  $l$  uma dimensão característica e  $\nu$  a viscosidade cinemática do ar, a qual pode ser considerada aproximadamente constante para pequenas variações de temperatura. Então, para uma determinada dimensão característica  $l$ ,  $Re$  depende fundamentalmente da velocidade, ou seja, quando se varia a velocidade,  $Re$  sofre uma variação equivalente. O efeito da variação do coeficiente de arrasto  $C_a$  com  $Re$  para um cilindro de seção circular é indicado de forma qualitativa na figura 5 [4], a qual também mostra a diferença entre os valores de  $C_a$  para corpos com arestas vivas e com superfícies curvas. É interessante ressaltar que em certos casos forças maiores podem resultar de velocidades menores conforme o valor de  $C_a$ . Além disso, tanto a rugosidade da superfície do corpo em estudo, bem como a turbulência do escoamento incidente, causam alterações na referida curva  $C_a \times Re$ . Desta forma, extrapolações de dados obtidos para superfícies curvas específicas, sejam chaminés, tubos, torres ou coberturas, não são recomendadas.

Os ensaios foram realizados no túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann da Universidade Federal do Rio Grande do Sul [2, 3], mostrado na figura 6. Trata-se de um túnel de vento de camada limite de circuito fechado, projetado especificamente para ensaios estáticos e dinâmicos de modelos de construções civis. Este túnel permite a simulação das principais características de ventos naturais. Tem relação “comprimento / altura” da câmara de ensaios superior a 10. A velocidade do escoamento de ar nesta câmara, com vento uniforme e sem modelos, ultrapassa 160 km/h. A simulação correta das principais características do vento natural em túneis de vento é requisito básico para aplicações em Engenharia Civil [5], sem a qual os resultados obtidos podem se afastar consideravelmente da realidade.

De acordo com as características da rugosidade do terreno em torno do empreendimento foi simulado um vento com perfil potencial de velocidades médias de expoente  $p$  igual a 0,23, o qual corresponde a terreno com rugosidade entre as Categorias III e IV da NBR 6123(1988) [6]. Além deste, a cobertura também foi ensaiada com um vento simulado contendo níveis de turbulência maiores, com perfil potencial de velocidades médias de expoente  $p$  igual a 0,34, para satisfazer os requisitos de número de Reynolds descritos no item anterior. As características da rugosidade do terreno simulado são as seguintes:

---

\* Contribuição tecnológica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

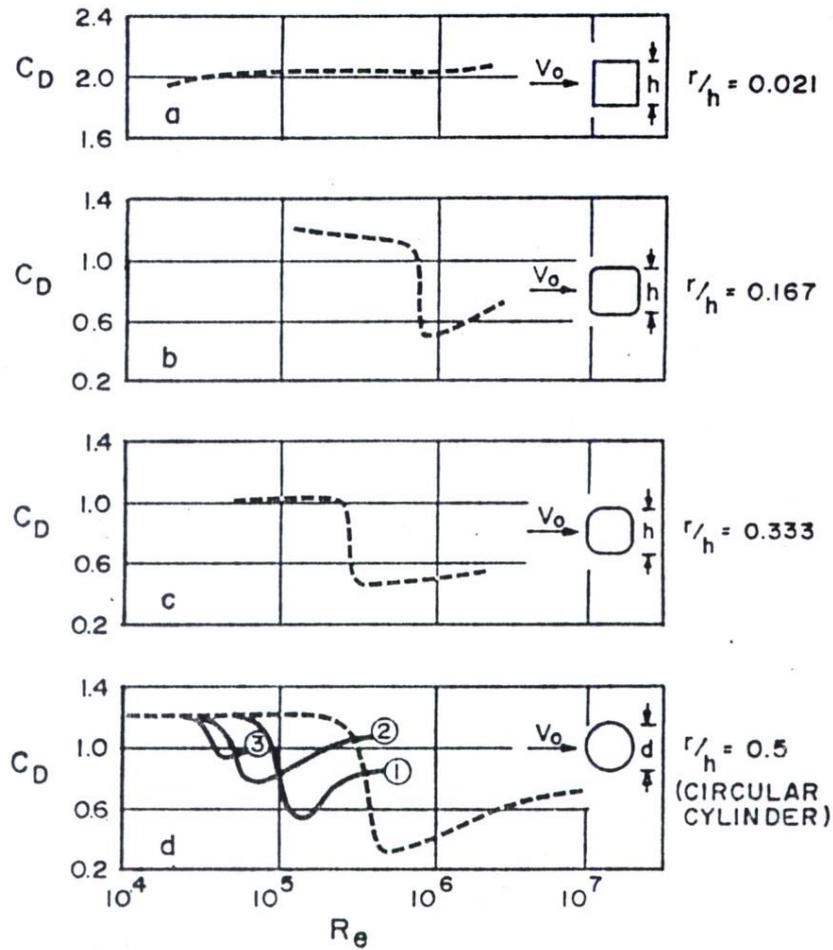


Figura 5 - Influência da variação do número de Reynolds sobre o coeficiente de arrasto de acordo com a forma da seção transversal. Os números 1, 2 e 3 na última figura representam rugosidades diferentes da superfície da seção circular e têm efeito semelhante ao de uma variação da turbulência no escoamento incidente [4].

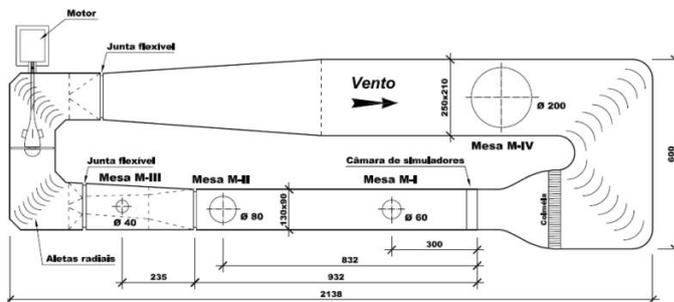


Figura 6 – Túnel de Vento Professor Joaquim Blessmann do LAC/UFRGS.

Categoria III – terreno plano ou ondulado com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas.

Exemplos:

- granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos;
- fazendas com sebes e/ou muros;
- subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas;

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3,0m.

Categoria IV – terreno coberto por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada.

Exemplos:

- zonas de parques e bosques com muitas árvores;
- cidades pequenas e seus arredores;
- subúrbios densamente construídos de grandes cidades;
- áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10m. Esta categoria inclui também zonas com obstáculos maiores e que ainda não possam ser consideradas na Categoria V.

Os ventos simulados englobam a gama de rugosidades existentes nas proximidades da edificação em estudo. Considerando-se as características do local em estudo e dos terrenos próximos ao empreendimento, optou-se por testar o modelo para ventos incidentes com estas características. Em torno do modelo instrumentado foram reproduzidas as edificações mais próximas, na escala do modelo, para que as condições de escoamento correspondessem o mais fielmente possível às condições reais às quais a edificação testada estará sujeita depois de concluída. Com o correr dos anos há tendência de aumento da rugosidade das zonas construídas devido a prováveis futuras urbanizações, o que poderá causar alguma redução nos esforços estáticos em algumas zonas da edificação. Por outro lado, possíveis efeitos nocivos de vizinhança, pela construção futura de outras edificações nas cercanias imediatas da edificação em estudo, podem ocorrer.

Na recomposição do carregamento é permitida a utilização de rugosidades distintas, desde que devidamente justificadas através de um estudo específico. Este estudo deve considerar a possibilidade de transições nas rugosidades dos terrenos mais afastados.

A figura 7 apresenta as principais características dos ventos simulados: perfil vertical das velocidades médias, em porcentagem da velocidade média no eixo longitudinal do túnel (pontos experimentais e curva potencial teórica), intensidade (I1) e macro-escala (L1) da componente longitudinal da turbulência [7].

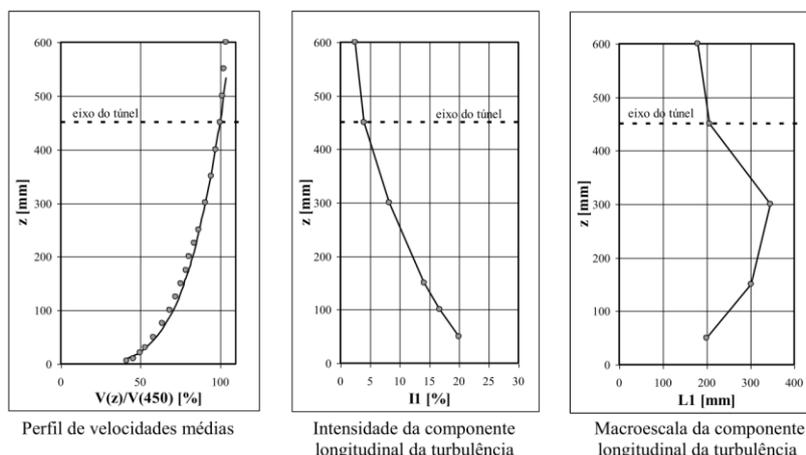


Figura 7 – Características do vento deslizante e turbulento simulado com expoente  $p=0,23$ .

O perfil de velocidades médias mostrado na figura 7 é expresso, aproximadamente, pela lei potencial (Equação 1):

$$\bar{V}(x_3)/\bar{V}_{ref} = (x_3/x_{ref})^p \quad (1)$$

Sendo:

$\bar{V}(x_3)$  – velocidade média na altura  $x_3$ ;

$\bar{V}_{ref}$  – velocidade média em uma altura de referência (no túnel,  $x_{ref} = 450\text{mm}$ );

$p = 0,23$ .

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Coeficientes aerodinâmicos

As pressões no modelo foram registradas por meio de transdutores elétricos de pressão. Um exemplo de registro das pressões obtidas através dos transdutores elétricos de pressão é mostrado na figura 8. Foram registradas as pressões para cada ponto de medição, sendo determinados os valores mínimos, médios, máximos e rms dos coeficientes de pressão.

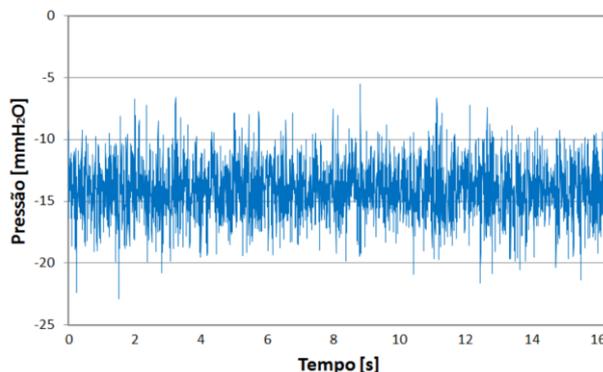


Figura 8 – Registro da variação de pressão ao longo do tempo para a tomada 269 e ângulo de incidência do vento a  $75^\circ$  (vento com expoente  $p=0,23$ ).

Os coeficientes de pressão externa nas faces da cobertura são definidos pelas Equações 2 a 5. Para o cálculo dos coeficientes aerodinâmicos a pressão dinâmica de referência,  $q$ , foi determinada a partir da velocidade média do vento a uma altura correspondente a 15m (quinze metros) acima do nível do terreno, em escala real.

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

$$\tilde{c}_p = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (p(t) - \bar{p})^2 dt}}{q} \quad (3)$$

$$\hat{c}_p = \frac{p_{max}}{q} \quad (4)$$

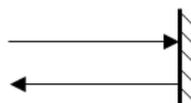
$$\check{c}_p = \frac{p_{min}}{q} \quad (5)$$

Sendo:

$\bar{c}_p$	coeficiente de pressão médio;
$\tilde{c}_p$	coeficiente de pressão rms;
$\hat{c}_p$	coeficiente de pressão máximo;
$\check{c}_p$	coeficiente de pressão mínimo;
$p(t)$	pressão instantânea, na superfície da edificação, medida em relação à pressão estática de referência;
$\bar{p}$	valor médio de $p(t)$ para o período de amostragem $T$ ;
$p_{max}$	valor máximo de $p(t)$ para o período de amostragem $T$ ;
$p_{min}$	valor mínimo de $p(t)$ para o período de amostragem $T$ ;
$t$	tempo;
$T$	período de amostragem;
$q = 1/2\rho\bar{V}^2$	pressão dinâmica de referência;
$\rho$	massa específica do ar;
$\bar{V}$	velocidade média de referência, medida a uma altura equivalente a 15m acima do nível do solo, em escala real.

Foi adotada a seguinte convenção de sinais:

coeficientes positivos: sobrepressão (+)  
coeficientes negativos: sucção (-)



Embora as pressões de pico não ajam simultaneamente sobre toda a estrutura, as pressões médias podem ser integradas para fornecerem valores médios das forças cortantes e momentos fletores e de torção atuantes na edificação. Estes valores podem ser usados em combinação com fatores de rajada, tais como os da NBR-6123(1988) [6], para fornecerem as cargas totais equivalentes atuantes na edificação.

Os coeficientes de pressão médios calculados permitem a determinação de coeficientes de forma externos ( $C$  – Equação 6), aplicáveis a uma superfície plana de área  $A$ .

$$C = F / (qA) \quad (6)$$

Sendo  $F$  a resultante das pressões externas sobre a superfície plana (é uma força perpendicular a esta superfície), como descrito pela Equação 7.

$$F = \int_A \bar{p} \, dA = \int_A \bar{c}_p q \, dA \quad (7)$$

E, portanto, substituindo na Equação 6, obtém-se a Equação 8 que permite determinar  $C$  a partir dos coeficientes de pressão médios por integração numérica.

$$C = \frac{1}{A} \int_A \bar{c}_p \, dA \quad (8)$$

### 3.2 Forças devidas ao vento

As forças externas devidas ao vento são determinadas pelas Equações 9, 10 e 11.

$$F = CqA \quad (9)$$

$$q = 0,613 V_k^2 \quad (10)$$

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3 \quad (11)$$

Sendo:

- $C$  coeficiente aerodinâmico;
- $q$  pressão dinâmica na altura de 15m [ $N/m^2$ ];
- $A$  área da zona em estudo (ou de sua projeção) para a qual está sendo determinada a força  $F$  do vento [m];
- $V_k$  velocidade característica do vento [m/s].

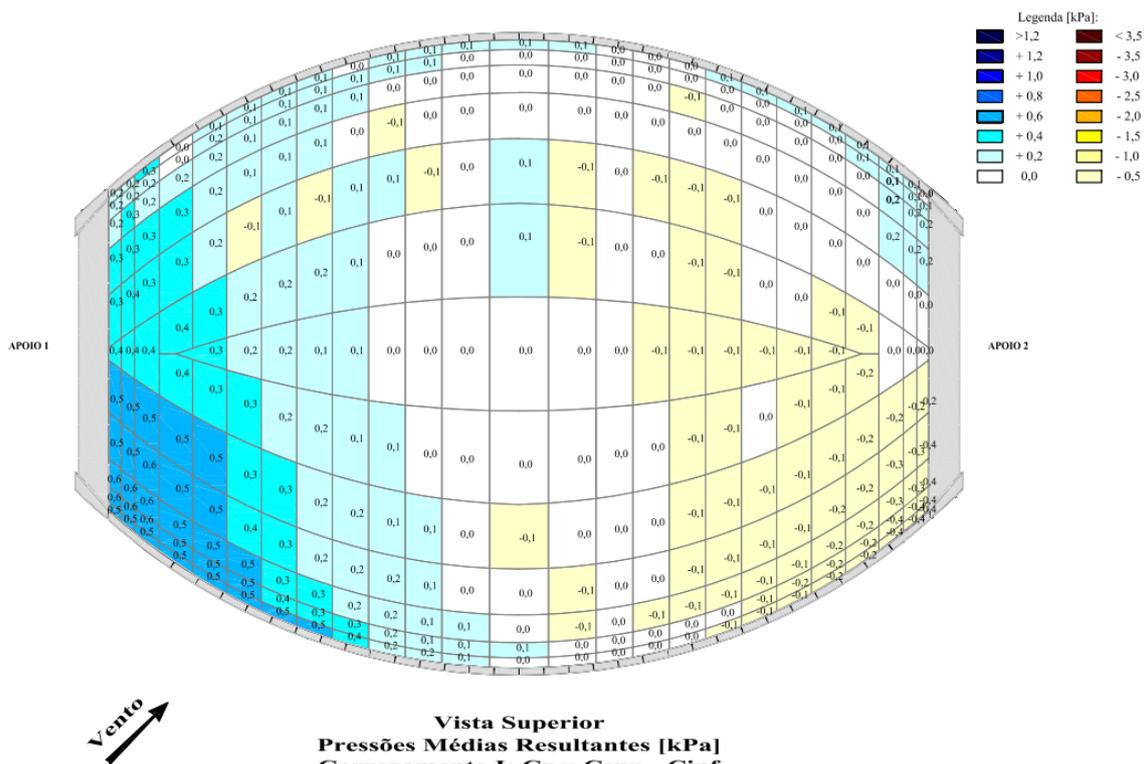
Tendo sido reproduzido no túnel de vento o perfil vertical de velocidades médias do vento natural no local da obra, e tendo sido adotada a velocidade do vento a 15m de altura para o cálculo dos coeficientes,  $S_2$  deve ser sempre o correspondente a esta altura, na respectiva Classe (a Classe a considerar depende da finalidade do cálculo --- Ver item 5.3.2 da NBR-6123/88) e Categoria do terreno. Pode ser adotado um valor para a velocidade básica do vento para a cidade do Rio de Janeiro, RJ, correspondente a 35m/s, de acordo com a figura das isopletas da velocidade básica do vento indicada na NBR-6123(1988) [6]. Para esta cobertura foi realizado um no estudo específico para determinação desta velocidade, considerado mais adequado e adotado neste estudo, equivalente a 35,5 m/s [8].

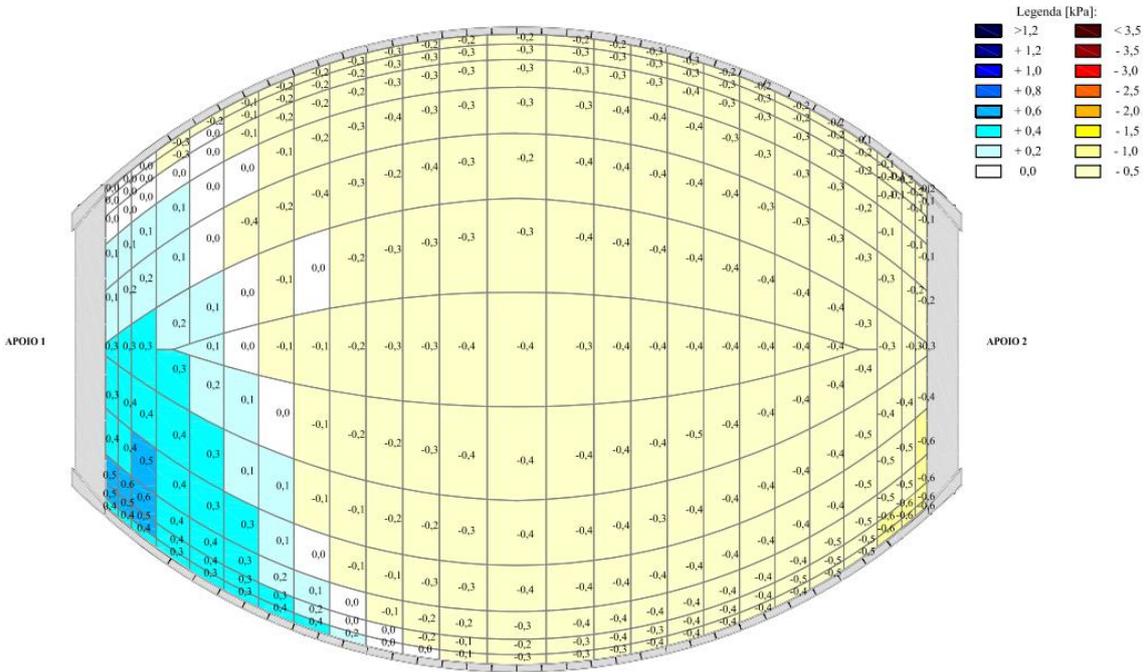
O valor de  $V_k$  assim obtido aplica-se a toda edificação, independentemente da zona ou região em estudo, mas dependendo da finalidade de cálculo, que fará variar  $S_2$  conforme comentado no parágrafo anterior. A composição das diversas forças (vento, cargas acidentais, permanentes, etc.) não é discutida neste trabalho.

\* Contribuição tecnológica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

As figuras 9, 10 e 11 apresentam exemplos de três carregamentos resultantes para o ângulo 45°. Os carregamentos são apresentados em termos de pressões resultantes, oriundas dos coeficientes de forma resultantes  $C_r$ , aplicáveis às áreas de influência das tomadas indicadas na vista da face superior (excluídas as tomadas nas regiões dos Apoios 1 e 2), e correspondem a distintas combinações dos coeficientes aerodinâmicos medidos nas faces superior e inferior, admitindo-se distintas correlações entre os coeficientes de pico. Para os Carregamentos I, II e III (pressões médias) foi utilizada uma pressão dinâmica calculada sobre 10 segundos (CLASSE C – NBR-6123).

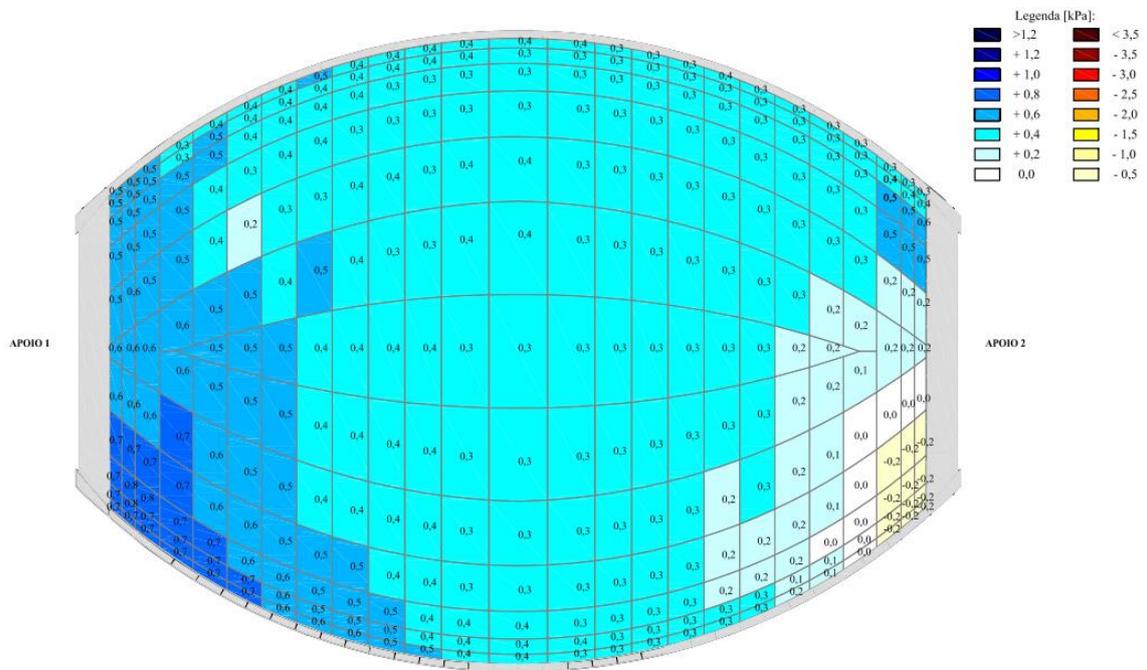
- Carregamento I:  $C_r = C$  médio face superior –  $C$  médio face inferior
- Carregamento II:  $C_r = 0,7 [2 (C$  médio face superior) – (C médio face inferior) ]
- Carregamento III:  $C_r = 0,7 [(C$  médio face superior) – 2 (C médio face inferior) ]





**Vista Superior**  
**Pressões Médias Resultantes [kPa]**  
**Carregamento II:  $C_r = 0,7 [2 (C_{sup}) - (C_{inf})]$**

Figura 10 – Carregamento II para ângulo 45°.



**Vista Superior**  
**Pressões Médias Resultantes [kPa]**  
**Carregamento III:  $C_r = 0,7 [(C_{sup}) - 2 (C_{inf})]$**

Figura 11 – Carregamento III para p ângulo 45°.

### 3.3 Pressões locais na cobertura

#### 3.3.1 Considerações gerais

As flutuações das pressões atuantes nas faces das edificações são devidas tanto às rajadas presentes no vento natural (turbulência atmosférica), como ao caráter flutuante da esteira gerada pelo prédio. Normalmente, sucções ou sobrepressões de pico, sobre um período de uma hora, podem ter valores consideravelmente maiores do que as correspondentes pressões médias para aquela mesma hora.

As pressões locais esperadas, relevantes ao projeto dos elementos de revestimento, podem ser determinadas através da combinação dos coeficientes aerodinâmicos medidos em ensaios em túnel de vento, com a estatística do vento na região de construção da edificação.

Não há total consenso, dentro do atual estado da arte da Engenharia do Vento, quanto a qual procedimento para determinação das pressões locais é o mais significativo para o projeto dos elementos de revestimento. Entretanto, três alternativas são possíveis:

a) O primeiro utiliza o conceito de fator de pico,  $g$ . A pressão de projeto,  $p_0$ , é dada pela Equação 12:

$$p_0 = \bar{p} + g \tilde{p} \quad (12)$$

Sendo:

$\bar{p}$  carga causada pelo vento médio (média sobre uma hora, usualmente);  
 $\tilde{p}$  média quadrática das flutuações em torno da pressão média;  
 $g$  fator de pico equivalente. O valor de  $g$  a ser adotado pode ser escolhido simplesmente como representativo de valores experimentais conservativos, ou ser baseado em propriedades de resistência dos materiais, quando disponíveis.

b) A segunda alternativa é utilizar diretamente os valores de pico medidos em túnel de vento, embora estes estejam sujeitos a uma dispersão estatística consideravelmente maior do que valores dos coeficientes rms ou valores médios de  $g$ . A pressão de projeto é dada pela Equação 13:

$$p_0 = \bar{q} \check{c}_p \quad (13)$$

Sendo:

$\bar{q}$  pressão dinâmica de referência, correspondente à velocidade média de referência, medida sobre um intervalo de aproximadamente uma hora, medida a uma altura equivalente a 15m, em escala real, para o caso da Cobertura do Parque Madureira;  
 $\check{c}_p$  coeficiente de pressão de pico (mínimo ou máximo, medido no túnel de vento).

c) A terceira alternativa consiste em utilizar valores médios dos coeficientes de pressão combinados com pressões dinâmicas de pico. A pressão de projeto é dada pela Equação 14:

---

\* Contribuição tecnológica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

$$p_0 = \bar{q} \bar{c}_p \quad (14)$$

Sendo:

$\bar{q}$  pressão dinâmica de referência, correspondente à velocidade média de referência, medida sobre um intervalo de aproximadamente três segundos, medida a uma altura equivalente a 15m, em escala real, para o caso Cobertura do Parque Madureira;

$\bar{c}_p$  coeficiente de pressão médio (média temporal, medido no túnel de vento).

As pressões de projeto indicadas acima devem considerar os efeitos das pressões internas, de acordo com as observações descritas no item 3.3.2 deste trabalho.

### 3.3.2 Pressões internas

Estimativas das pressões internas são necessárias para a determinação dos carregamentos resultantes devidos ao vento em elementos de vedação e suas fixações. São também importantes com respeito à conservação de energia, pois o escoamento de ar através da edificação será proporcional à diferença entre as pressões externas e internas.

Embora de grande importância, a pressão interna apresenta dificuldades quanto à sua exata determinação. Pressões internas são influenciadas por diversos fatores os quais também apresentam grandes incertezas em sua determinação, tais como o caráter da permeabilidade da edificação, ou se as janelas ou outras aberturas externas serão deixadas abertas ou serão quebradas durante tempestades. A complexa distribuição espacial das pressões externas e a influência das variações temporais das pressões externas na determinação das pressões internas também devem ser consideradas.

Apesar das dificuldades existentes, estimativas razoáveis da pressão interna podem ser obtidas. Para o projeto dos elementos de vedação e suas fixações é de interesse a diferença entre as pressões externas e internas. Esta diferença representa o carregamento ao qual o elemento estará sujeito. No presente estudo, as pressões externas e internas, correspondendo às pressões nas faces superior e inferior, respectivamente, são medidas diretamente no túnel de vento. As pressões internas na região entre as faces superior e inferior podem ser determinadas a partir das pressões externas [9, 10] utilizando-se, por exemplo, a metodologia indicada na NBR-6123 (1988). As pressões internas podem então ser subtraídas das pressões externas para formar as pressões resultantes.

No caso de permeabilidade uniforme do envelope da edificação e não havendo repartições estanques, a pressão interna tenderá a um valor negativo ou próximo de zero. Isto significa que nas zonas sujeitas a pressões externas negativas (zonas de sucção) as pressões resultantes terão seus valores máximos equivalentes às pressões externas nas zonas correspondentes. Para as zonas em sobrepressão externa, espera-se um acréscimo nos valores resultantes das pressões, porém menores em valor absoluto do que as pressões de sucção. Valores mais nocivos das pressões resultantes podem ocorrer caso aberturas sejam formadas, intencional ou acidentalmente, em zonas de alta sucção externa.

---

\* Contribuição tecnológica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

#### 4 CONCLUSÃO

Observa-se que os valores dos coeficientes de pressão para a cobertura da pista de *half pipe* do Parque Madureira, obtidos nos ensaios em túnel de vento, são coerentes do ponto de vista aerodinâmico com relação à forma da edificação estudada e de sua vizinhança. Contudo, os resultados apresentados neste estudo são válidos somente para as configurações arquitetônicas finais solicitadas para o estudo e para ventos EPS. O estudo específico da ação do vento na cobertura para etapas construtivas e construção parcial da mesma, fechamentos laterais, bem como outros tipos de escoamento, não foram contemplados. Configurações distintas da cobertura estudada, incluindo a construção parcial da cobertura, podem alterar significativamente os padrões de carregamento apresentados.

O estudo evidencia os benefícios da utilização do túnel de vento como ferramenta de projeto para estruturas, coberturas e fechamentos, viabilizando a construção de edificações com arrojados projetos arquitetônicos.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Blessmann, J. Tópicos de normas de vento. 2ªed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990.
- 2 Blessmann, J. The Boundary Layer Wind Tunnel of UFRGS. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 1982; volume 10: 231-248.
- 3 Cook, N. J. The designer's guide to wind loading of building structures. Part 2: Static Structures. London, UK: Building Research Establishment, 1990.
- 4 Scruton, C. et al. Steady and Unsteady Wind Loading of Building and Structures. Philosophical Transactions of the Royal Society. London, UK: The Royal Society Publishing; 1971; volume A269, issue 1199: 353-383.
- 5 Davenport, A. G.; Isyumov, N. The Application of The Boundary Layer Wind Tunnel to the Prediction of Wind Loading. Proceedings of the International Research Seminar: Wind Effects on Buildings and Structures. Ottawa, Canada: 1967; volume 1: 201-230.
- 6 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-6123 – Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro.
- 7 Engineering Sciences Data Unit "Strong winds in the atmospheric boundary layer, Part 1: mean hourly wind speeds. Data item 82026". London, UK: ESDU, 1982.
- 8 Loredou-Souza, A. M., Rocha, M. M. e Oliveira, M. G. K. Estudo do comportamento aerodinâmico da Cobertura do Parque Madureira – Rio de Janeiro. Etapa I – Determinação da velocidade básica do vento. Vento-S Consultoria em Engenharia do Vento Ltda. e Laboratório de Aerodinâmica das Construções – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Relatório Técnico VS-013/10-15-01. Porto Alegre: 2015.

---

\* Contribuição tecnológica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.



9 Blessmann, J. Pressão interna. 3ªed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991.

10 Loredou-Souza, A. M. Influence of opening type on mean internal pressures in low buildings. Proceedings of the Ninth International Conference on Wind Engineering. New Delhi, India: 1995; volume 3, 1151-1161.

---

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.