IMPACTO DE DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO NA DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÃO EM UM MODELO GENÉRICO

Michele Marta Rossi (1); Alessandra Rodrigues Prata-Shimomura (2); Fernando Vítor Marques da Silva (3); Karin Maria Soares Chvatal (4)

(1) Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Arquiteta, michele.marta.rossi@gmail.com, Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU-USP)

(2) PhD, Professora na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, arprata@usp.br, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU-USP).

(3) PhD, Investigador auxiliar do Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas, fms@lnec.pt, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

(4) PhD, Professora no Instituto de Arquitetura e Urbanismo, karin@sc.usp.br, Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU-USP), Av. Trab. São Carlense, 400 - Centro, São Carlos - SP, 13566-590.

RESUMO

A ventilação natural é uma importante estratégia passiva para manutenção da qualidade do ar e do conforto térmico em espaços internos. O diferencial de pressão nas fachadas das edificações, quantificado a partir dos coeficientes de pressão (Cps) impacta diretamente no desempenho da ventilação natural. Vários fatores como direção do vento, entorno, tipo de terreno, geometria da edificação e detalhamentos nas fachadas influenciam a distribuição de pressão. Muitas investigações, utilizam-se de ensaios em túneis de vento ou simulações fluidodinâmicas para avaliar os Cps em geometrias lisas e regulares. No entanto, poucos são os dados disponíveis para geometrias com elementos arquitetônicos adicionais, tais como os dispositivos de sombreamento externos. Neste artigo, objetiva-se avaliar o impacto de sombreamentos externos nos Cps em um modelo genérico isolado de 3,0 m x 3,0 m x 2,7 m com duas aberturas (de 1 m^2 cada) centralizadas e dispostas em faces opostas a 1,1 m do piso. Assim, a partir de sua versão reduzida (escala 1:7,5), cinco configurações (sem dispositivos, modelo selado e com aberturas e, tipologias com sombreamentos horizontal, combinados e verticais) foram ensaiadas em túnel de vento para oito incidências de vento (de 0° a 90° e 180°). Os resultados foram avaliados a partir de gráficos de contorno das faces a barlavento e a sotavento e da comparação dos modelos sem e com sombreamentos. Maiores discrepâncias nos Cps foram observadas nas tipologias com componentes verticais expostas às incidências de 45°, 60° e 75°.

Palavras-chave: ventilação natural, coeficiente de pressão (Cp), túnel de vento, dispositivos de sombreamento.

ABSTRACT

Natural ventilation in buildings is an important passive strategy to maintain indoor air quality and comfortable thermal environments. The pressure differential on buildings' façades, quantified by the wind pressure coefficients (WPCs), directly impacts in the performance of natural ventilation. Several factors as wind direction, surroundings, terrain type, building geometry and facades' details influence in wind pressure distribution. Many investigations use wind tunnel tests or computational fluid dynamics simulations to evaluate the Cps in regular geometries. However, few wind pressure data is available with additional architectural elements, as for example, external shading devices. This paper aims to evaluate the impact of external shading devices on the WPCs of an generic isolated with 3.0 m x 3.0 m x 2.7 m with two openings (with 1,0 m^2 each), centralized and placed in opposite façades with a windowsill of 1.1 m. Thus, from its reduced version (scale 1:7,5), five configurations (without shadings, sealed model and with openings and, typologies with shading devices horizontal, combined and vertical) are tested in a wind tunnel for eight wind attack angles (0° to 90° and 180°). Results are shown using contour charts to map the wind pressure distribution on windward and leeward façades to measure the wind pressure differences between the models without and with shadings. Greater differences are observed in cases with vertical shading devices expose an oblique wind attack angle like 45°, 60° and 75°.

Keywords: natural ventilation, wind pressure coefficient (WPC), wind tunnel, shading device.

1. INTRODUÇÃO

A ventilação natural em edificações consiste no fluxo de ar entre ambientes internos e externos decorrentes de diferenciais de pressão induzidos por ação eólica, térmica ou combinada.

Esta estratégia apresenta como principais funcionalidades a manutenção da qualidade do ar interno, que deve ser assegurada em quaisquer circunstâncias; o conforto térmico aos usuários, principalmente em clima quente e úmido e, o arrefecimento das estruturas da edificação (GIVONI, 1976; LIDDAMENT, 1996; ALLARD, 2002; SANTAMOURIS; WOUTERS, 2006). Frente ao contexto atual, de pandemia sanitária, adiciona-se o seu potencial em auxiliar na redução da transmissão de agentes patogênicos por vias aéreas sendo, portanto, a ventilação natural dos ambientes internos citada entre as recomendações de combate à COVID-19 (MELIKOV, 2020). Por fim, essa estratégia gratuita e, portanto, de grande alcance social (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2008) é indicada em sete das oito zonas bioclimáticas brasileiras para o condicionamento térmico passivo de ambientes no verão (ABNT, 2005-3).

Em clima quente e úmido, característico de grande parte do território brasileiro, o uso conjugado de estratégias de ventilação natural e de sombreamento das aberturas pode representar uma alternativa válida para a redução do condicionamento artificial, do consumo energético, além de auxiliar nos níveis de conforto térmico nos ambientes (CÂNDIDO *et al.*, 2010). No entanto, a prática de integrar aspectos de conforto ambiental no processo projetual ainda esbarra na limitação dos meios de representação gráfica, na complexidade inerente aos fenômenos físicos ou na pouca crença, por parte dos projetistas, da efetividade destas alternativas passivas quando comparadas às artificiais na garantia do conforto térmico (KOWALTOWSKI *et al.*, 2005; TRINDADE; PEDRINI; DUARTE, 2010).

Quando se trata da ventilação natural, essa é frequentemente representada por flechas que pouco garantem seu real comportamento (KOWALTOWSKI *et al.*, 1998). Desta forma, estimativas mais precisas acerca do fluxo de ar podem ser obtidas a partir de modelos numéricos ou teóricos que demandam, dentre seus principais dados de entrada, os valores dos coeficientes de pressão devido ao vento, usualmente denominados de Cps. De acordo com Toledo (1999), o Cp é um adimensional que relaciona a pressão dinâmica em um dado ponto da superfície da edificação à pressão dinâmica do fluxo de ar não perturbado. Segundo Cóstola; Blocken; Hensen (2009), a sua obtenção pode ocorrer por meio de fontes primárias (aferições em escala real, ensaios de modelos reduzidos em túneis de vento e simulações fluidodinâmicas, as chamadas *Computational Fluid Dynamics*, CFD) ou por fontes secundárias, banco de dados e modelos teóricos, tais como AIVC; ASHRAE; CpCal+; Swami and Chandra model; CpGenerator. No entanto, usualmente, estes dados disponibilizados por fontes secundárias ou na literatura científica especializada (LINDDAMENT, 1996; MARQUES DA SILVA, 2004) fazem referência a geometrias regulares (paralelepípedos) e lisas (sem ou com poucos detalhamentos nas fachadas).

O banco de dados desenvolvido pela Universidade de Tóquio, *TPU Aerodynamics Database* (TPU, 2007), contempla uma extensa quantidade de Cps para edificações baixas e altas, com presença ou não de entorno, beirais e diferentes tipos de telhados para exemplares com variadas proporções geométricas. Outra recente alternativa para a obtenção de Cps é o *CpSimulator* (CP SIMULATOR, 2019) que permite a partir de cálculos, baseados em *Computational Fluid Dynamics*, designar os valores desta variável para a geometria que se deseja analisar. Os modelos que contemplam detalhamentos nas fachadas foram validados a partir de exemplares com sacadas (CHAND; BHARGAVA; KRISHAK, 1998) ou com beirais (TPU, 2007).

Para avaliações numéricas do desempenho termo energético de edificações, os programas nomeados de *Building Energy Simulation* (BES) também requisitam o Cp como parâmetro de entrada para análise da ventilação natural, dando ao usuário as opções de inclui-los manualmente ou utilizar-se, para geometrias retangulares, do seu cálculo automático, em que os Cps são determinados por algoritmos internos ao programa. De acordo com Cóstola *et al.* (2010), estes programas apresentam bancos de dados de Cps limitados a geometrias simples como cubos e paralelepípedos. O *EnergyPlus* (EERE, 2021), por exemplo, *software* mundialmente conhecido e utilizado para esse fim, utiliza-se do modelo de Swami e Chandra (1988) para edificações baixas e, para as altas, equações de dados provindas da normativa americana *ASHRAE Fundamentals Handbook*, desenvolvidos por Atkins *et al.* (1979) e Holmes (1986) são aplicadas. No entanto, independentemente do tipo de edificação, a documentação do programa enfatiza que impactos provenientes de dispositivos de sombreamento são desconsiderados nos cálculos de ventilação natural: *"It is assumed that the air flow through a window opening is unaffected by the presence of a shading device such as a shade or blind on the window"* (EERE, 2021, p.1100).

De acordo com Allard (2002) qualquer anteparo externo ou interno pode ser um obstáculo ao fluxo de ar e em edificações naturalmente ventiladas os dispositivos de sombreamento devem cumprir sua função de proteger da insolação indesejada e ainda permitir ventilação suficiente.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo avaliar o impacto do uso de dispositivos de sombreamento na distribuição de pressão em um modelo genérico para vários ângulos de incidência por meio de ensaios em túnel de vento.

3. MÉTODO

O procedimento metodológico é dividido em duas etapas, detalhadas na sequência: (1) Descrição do modelo genérico e, (2) Ensaios no túnel de vento do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

3.1. Descrição do modelo genérico

O modelo genérico é caracterizado por uma geometria paralelepípeda e com dimensões equivalentes a um ambiente de maior permanência, como por exemplo dormitórios, em edificações residenciais brasileiras. A definição de suas características assim como das condições de contorno para as avaliações experimentais visou minimizar os efeitos de parâmetros adicionais no desempenho da ventilação natural, priorizar a análise acerca do impacto dos dispositivos de sombreamento e assegurar os critérios de semelhança (geométrica, cinemática e dinâmica). Desta forma, o procedimento metodológico englobou a definição de três classes de parâmetros.

A Classe I: Geometria reuniu definições quanto ao modelo (dimensões) e suas aberturas (quantidade, tamanho e posicionamento nas fachadas), além da indicação da altura em que este modelo seria ensaiado, ou seja, se seria um exemplar térreo ou multi pavimentos. A Classe II: Dispositivos de sombreamento indicou as tipologias dos dispositivos de sombreamento, suas dimensões e posicionamento em relação à abertura a barlavento. E, a Classe III: Condições de contorno, o tipo de terreno, o grau de exposição e os ângulos de incidência de vento. As ferramentas metodológicas estipuladas para a determinação destes parâmetros se resumiram à revisão bibliográfica, levantamento de dados e análises qualitativas auxiliadas por ferramentas simplificadas tais como cartas solares e ensaios em mesa d'água (ROSSI *et al.*, 2018).

A Tabela 1 apresenta os 14 parâmetros determinados e seus respectivos valores. Informações mais detalhadas sobre o processo de definição do modelo genérico podem ser verificadas em Rossi *et al.* (2018) e Rossi *et al.* (2019).

Tabela 1 – Classes e parâmetros que caracterizam a definição do modelo genérico (ADAPTADO DE ROSSI *et al*.,2018).

CLASSES	PARÂMETROS	VALORES
I. Geometria	Dimensões do modelo	3,0 m x 3,0 m x 2,7m
	Quantidade de janelas	Duas aberturas (dispostas em faces opostas)
	Posicionamento das aberturas	Centralizadas na largura das faces
	Relação entre as aberturas de entrada e saída de ar	Mesma área
	Tamanho das aberturas	1,0 m x 1,0 m
	Formato das aberturas	Quadradas
	Peitoril da abertura	1,1 m
	Altura em que o modelo será avaliado	Térreo
II.Dispositivos de sombreamento	Tipologia	Horizontal (G2A), Combinado (G2B), Verticais (G2C)
	Posicionamento em relação às aberturas	Posicionados no limiar das aberturas
	Dimensões (comprimento e profundidade)	0,5 m de profundidade
III.Condições de contorno	Exposição	Isolado
	Rugosidade	Área aberta e de baixa rugosidade
	Ângulos de incidência do vento	0° - 90° (intervalos de 15°) e 180°

3.2. Ensaios no túnel de vento do IPT

As avaliações experimentais foram realizadas no túnel de vento do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT. O túnel de vento do IPT (Figura 1A) se configura como o maior da América Latina e apresenta área de seção transversal de ensaio de 6 m^2 e 28 m de comprimento.

A área de obstrução do modelo reduzido (na escala de 1:7,5) (Figura 1B) respeitou a indicada pela literatura científica, sendo inferior a 5% da área da seção transversal de ensaio (TOLEDO, 1999).

Cinco configurações foram ensaiadas para oito incidências de vento (0° a 90°, com intervalos de 15° e 180°). Devido à elaboração de encaixes (do tipo macho e fêmea) nas peças das aberturas foi possível que uma base comum viabilizasse os ensaios de todas as tipologias avaliadas (Figura 1C).



(A) (B) (C)

Figura 1 – Ensaios no túnel de vento do IPT (A) Túnel de vento do IPT; (B) Modelo reduzido; (C) Encaixes dos dispositivos de sombreamento na abertura barlavento (A AUTORA, 2018).

Dois subgrupos tipológicos caracterizaram a matriz de ensaios: G1: Referências e G2: Características. O primeiro englobou as referências para a determinação do impacto, ou seja, as tipologias sem dispositivos de sombreamento, sendo a G1A, o modelo genérico selado e a G1B, modelo genérico com aberturas.

Já o segundo subgrupo caracterizou as tipologias com sombreamentos: G2A (dispositivo de sombreamento horizontal); G2B (combinados) e G2C (verticais) e foram ensaiados na configuração com aberturas (Figura 2).

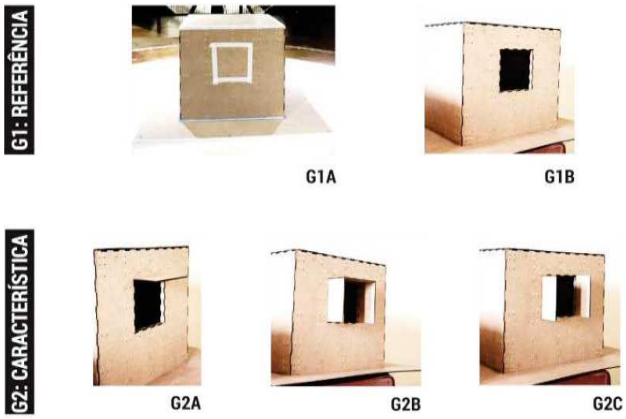


Figura 2 – Tipologias da matriz de ensaios no túnel de vento do IPT (A AUTORA, 2018).

No total, 253 tomadas de pressão foram distribuídas pelas faces do modelo genérico (Figura 3), sendo estas de maior número nas regiões de interesse, ou seja, no entorno imediato de suas aberturas ou em regiões de mudança de comportamento do escoamento, como por exemplo, nas suas arestas.

O perfil de Camada Limite Atmosférica (CLA) foi gerado com auxílio de elementos de rugosidade (80 mm de altura, 80 mm de largura e 20 mm de espessura dispostos a montante do modelo), com barreira castelada e com geradores de vórtices (*spires*), resultando em um α =0,29 (Figuras 4A e 4B).

Transdutores de pressão multicanal da *Pressure System* permitiram a aferição simultânea das pressões nas tomadas distribuídas nas superfícies do modelo. O tempo de medição para cada ângulo de incidência do vento foi de 60 segundos à frequência de 250 Hz. A conexão destes módulos a uma placa de aquisição de dados em um computador viabilizou o conhecimento dos dados de pressão em cada tomada nos diversos cenários analisados.

Estes dados foram pós-processados a partir das Equação 1 e Equação 2 em coeficientes de pressão (Cps). A altura de referência para a determinação destes dados foi de 0,40 m na escala do modelo, o equivalente a 3,0 m na escala do protótipo. Justifica-se esse incremento na altura de referência, devido à necessidade de apoio do modelo a um sistema de suporte durante a realização dos ensaios, a fim de reforçar a sua estabilidade.

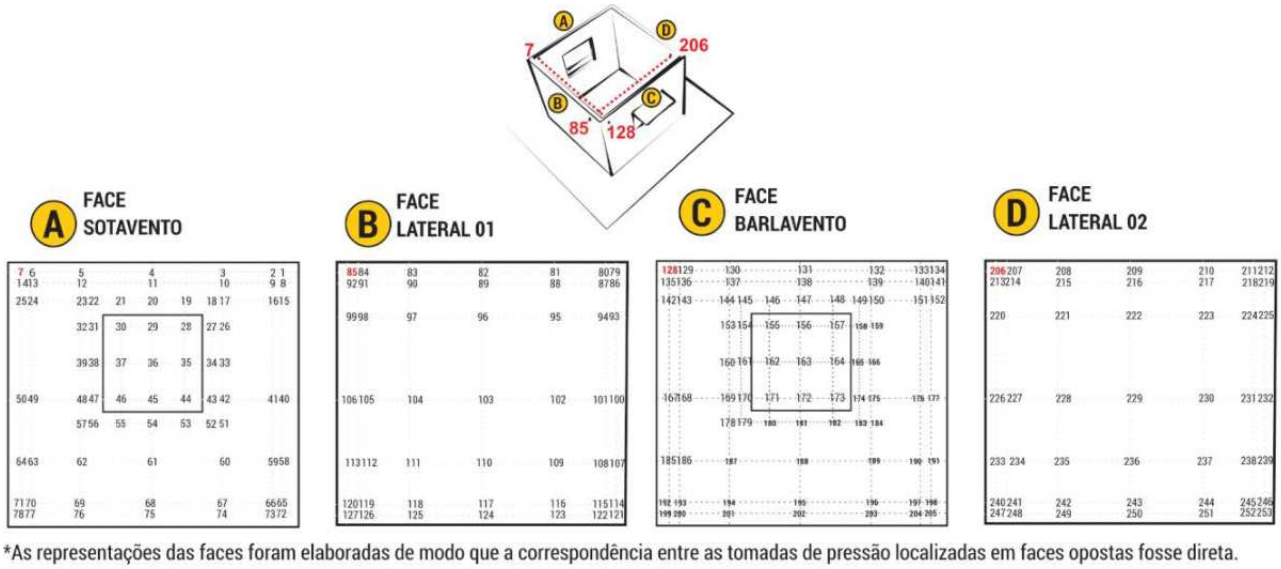
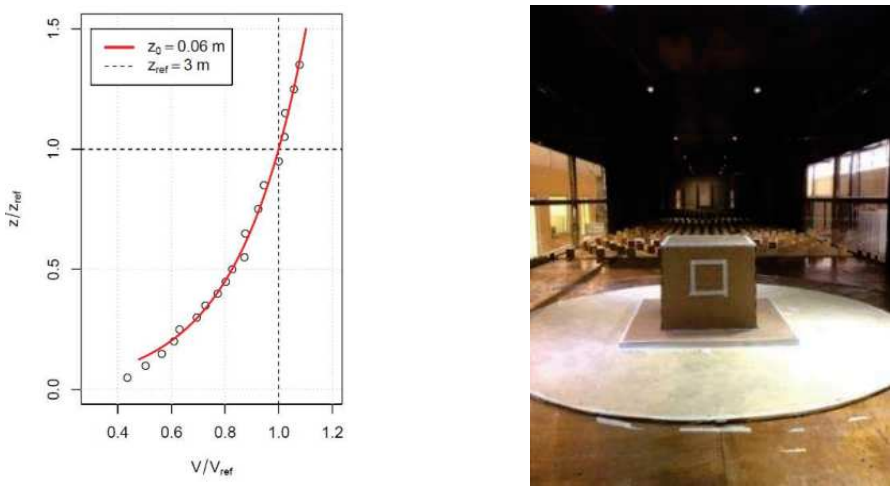


Figura 3 – Mapeamento das tomadas de pressão nas superfícies externas do modelo genérico (A AUTORA, 2018).



(A) (B)

Figura 4 – (A) Perfil de velocidades da CLA utilizada nos ensaios; (B) elementos de rugosidade para auxiliar a formação do perfil de CLA (IPT, 2018 e A AUTORA, 2018).

$$\overline{Cp} = \frac{1}{qref} \cdot \frac{1}{T} \cdot \int_0^T (p\,(t) - P_0)\,dt$$ Equação 1

Onde:
$\overline{Cp}$ = coeficiente de pressão médio (adimensional)
T = tempo de aquisição de dados (s)
p = pressão instantânea (Pa)
P_0 = pressão estática de referência (Pa)
qref = pressão dinâmica de referência (Pa)

A pressão dinâmica de referência foi calculada através da seguinte equação:

$$qref = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{ref}^2$$ Equação 2

Onde:
qref = pressão dinâmica de referência (Pa)
ρ = massa volúmica do ar (kg/ m^3)
Vref = velocidade correspondente à altura de referência (topo de cobertura do modelo) (m/s).

A partir dos dados de Cps, foram elaborados para todos os cenários avaliados, gráficos de contorno para as faces barlavento e sotavento.

Na sequência, diferenciais de pressão médios (ΔCp médio) foram calculados para as mesmas situações, a partir da diferença dos Cps médios das faces barlavento e sotavento *(ΔCpm = Cpm barlavento – Cpm sotavento)*, a fim de quantificar o impacto dos dispositivos de sombreamento neste parâmetro que é dado de entrada para o cálculo de vazão de ar nos ambientes como indicado pela Equação 3:

$$G = C_d A U_\infty \sqrt{\Delta Cp} \qquad \text{Equação 3}$$

Onde:
G: taxa de vazão de ar (m^3/s)
Cd: coeficiente de descarga (adimensional)
A: área equivalente de abertura (m^2)
U_∞ velocidade média de referência (m/s)

4. RESULTADOS

O impacto da adoção de diferentes tipologias de dispositivos de sombreamento em um modelo genérico exposto a variadas incidências de vento foi avaliado a partir do confronto dos dados das tipologias com sombreamento às de referência (modelos selado e com aberturas, G1A e G1B, respectivamente). As variáveis observadas foram: (1) a distribuição de pressão nas faces barlavento e sotavento, e; (2) o diferencial de pressão médio (*ΔCpm = Cpm barlavento – Cpm sotavento).*

4.1. Impacto dos dispositivos de sombreamento externos na distribuição (Cp) e no diferencial de pressão (ΔCp médio)

Primeiramente, o impacto da adoção dos dispositivos de sombreamento na distribuição de pressão para os diversos cenários avaliados foi analisado através de gráficos de contorno das faces barlavento (B) e sotavento (S) elaborados a partir das coordenadas das tomadas de pressão e os valores de pressão correspondentes. Os valores de Cps, foram mapeados nestas faces, seguindo uma escala de cores de vermelho (Cps iguais a 1,0) a roxo (Cps entre -1,2 a -1,4) (Figura 5). Os gráficos para todos os cenários (tipologias e ângulos de incidência do vento) avaliados são apresentados na Figura 6.

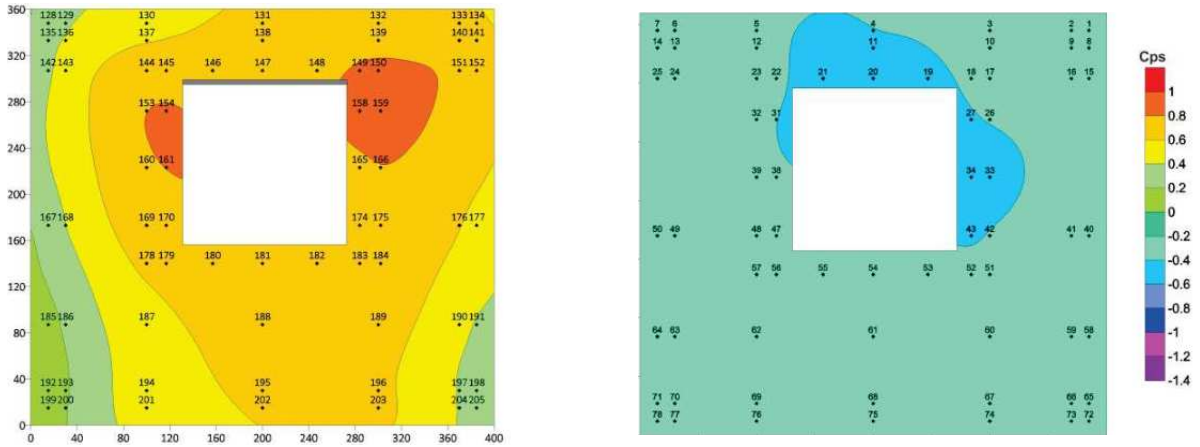


Figura 5 – Gráficos de contornos utilizados para as análises das distribuições de pressão nas faces barlavento e sotavento, com indicação das tomadas de pressão e da escala de cores a leitura dos dados (A AUTORA, 2018).

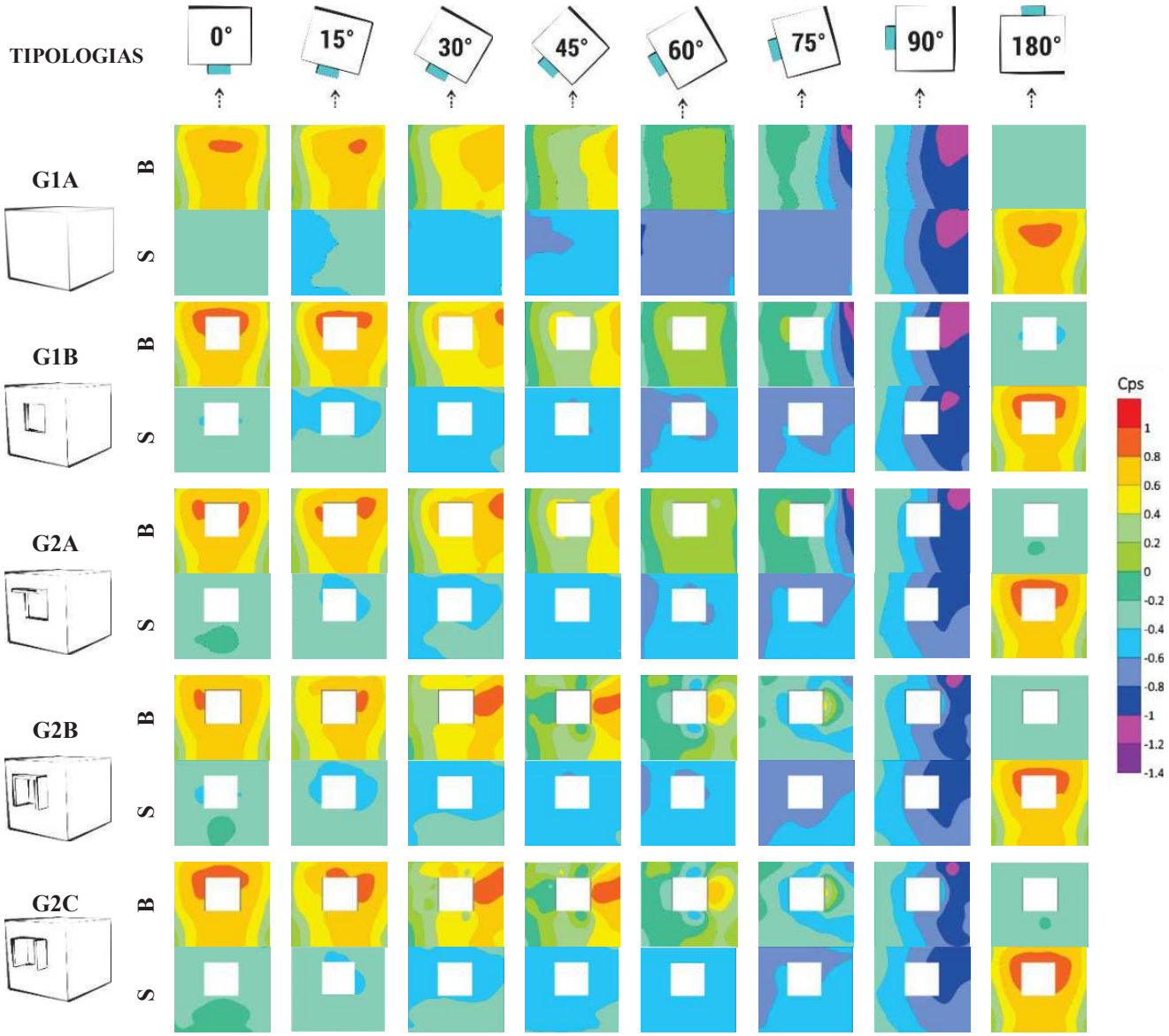


Figura 6 – Gráficos de contorno das distribuições de pressão nas tipologias G1A, G1B, G2A, G2B e G2C expostas às incidências de vento de 0° a 90° e 180° (A AUTORA, 2018).

Para o ângulo de incidência de 0°, a tipologia selada (G1A) apresenta uma distribuição de pressão em concordância com a literatura científica para geometrias semelhantes. Em escoamentos com CLA, a velocidade média varia com o incremento da altura. Por esta razão, de acordo com Aynsley; Melbourne; Vickery (1977), a zona de estagnação, ou seja, região de pressão máxima (Cps da ordem de 0,8 a 1,0) situa-se aproximadamente a 80% da altura da face. Nesta zona, o escoamento se reparte e, em parte, migra (tangente à superfície) em direção às quinas da geometria ganhando velocidade e reduzindo as pressões e, em parte, resulta em um componente descendente na parte inferior, denominado de vórtice de pé de fachada. Assim, os Cps variam na face a barlavento selada de 0,6 a 1,0 na região central e de 0,4 a 0 nas proximidades das arestas.

A inserção de aberturas, com áreas equivalentes a 1m^2 cada no protótipo, em faces opostas, caracteriza a geometria G1B (modelo genérico com aberturas), resultando em uma expansão da área de estagnação em relação à G1A na face a barlavento. Nesta mesma fachada, ao adicionar um dispositivo de sombreamento horizontal (G2A), ocorre uma separação do escoamento e, consequentemente, a redução dos valores de Cps logo acima da abertura, transpondo-os da faixa de 0,8 a 1,0 para o intervalo anterior (Cps de 0,6 a 0,8). A tipologia G2B, ao combinar elementos verticais e horizontal em sua composição, introduz uma maior quantidade de pontos de separação ao escoamento, reduzindo assim a área da zona de estagnação em relação

ao modelo selado. Já a geometria G2C tem a sua distribuição de pressão semelhante a G1B. De modo geral, nota-se pouca influência dos dispositivos de sombreamento na distribuição de pressão para essa orientação, com diferenciais médios calculados para as tipologias com sombreamento variando na ordem de 0% a -3% em relação às referências (G1A e G1B).

Tabela 2 – Coeficientes de pressão médios para as fachadas barlavento e sotavento (Cp médio barlavento e Cp médio sotavento) e diferencias de pressão médios (ΔCp médio) para as tipologias G1A, G1B, G2A, G2B e G2C nas diferentes incidências de vento (0° a 90° e 180°).

	Tipologia	*0°*	*15°*	*30°*	*45°*	*60°*	*75°*	*90°*	*180°*
Cpm barlavento	**G1A**	0,56	0,54	0,44	0,27	-0,01	-0,41	-0,72	-0,32
	G1B	0,58	0,58	0,46	0,30	-0,01	-0,38	-0,68	-0,31
	G2A	0,58	0,58	0,49	0,33	0,07	-0,32	-0,63	-0,27
	G2B	0,58	0,54	0,47	0,27	0,03	-0,30	-0,60	-0,28
	G2C	0,61	0,58	0,48	0,29	0,03	-0,30	-0,59	-0,27
Cpm sotavento	**G1A**	-0,31	-0,39	-0,47	-0,56	-0,68	-0,70	-0,72	0,58
	G1B	-0,29	-0,39	-0,46	-0,52	-0,59	-0,63	-0,69	0,58
	G2A	-0,27	-0,35	-0,42	-0,47	-0,57	-0,60	-0,64	0,60
	G2B	-0,29	-0,35	-0,45	-0,48	-0,56	-0,63	-0,67	0,59
	G2C	-0,25	-0,33	-0,42	-0,44	-0,52	-0,59	-0,64	0,63
ΔCpmédio	**G1A**	0,86	0,93	0,91	0,83	0,67	0,29	-0,01	-0,90
	G1B	0,87	0,97	0,92	0,82	0,58	0,25	0,01	-0,89
	G2A	0,84	0,93	0,90	0,80	0,63	0,28	0,01	-0,88
	G2B	0,87	0,90	0,92	0,76	0,58	0,33	0,06	-0,88
	G2C	0,86	0,90	0,89	0,73	0,55	0,29	0,05	-0,90

Para as incidências de 15° e 30°, devido à disposição em ângulo do modelo em relação ao escoamento, ocorre a inclinação e perda de simetria dos contornos em todas as tipologias, além da redução da zona de estagnação. Observa-se também o posicionamento dos contornos mais positivos a montante da região de abertura e dos sombreamentos, sendo maiores os seus valores de Cps para quanto maior for a obstrução imposta ao escoamento incidente, tais como nas tipologias com elementos verticais em suas composições (G2B e G2C). Na tipologia G1B há o aumento da área de estagnação, principalmente na região superior a jusante da abertura devido à repartição do escoamento que em parte migra em direção às quinas e em parte é direcionado para o interior da geometria. Em relação ao diferencial médio de pressão (ΔCp médio), para os ângulos de 15° e 30°, a ordem de grandeza do impacto dos dispositivos, em relação às referências de análise, ainda é reduzida variando entre 1% a -7%.

Aos 45°, o posicionamento oblíquo da geometria em relação ao escoamento resulta em uma maior variação de pressão ao longo da largura da face a barlavento (com Cps variando no intervalo de 0,8 a -0,4) na tipologia selada (G1A). Nas tipologias G2B e G2C, além dos padrões de comportamentos observados nas incidências anteriormente descritas (15° e 30°), soma-se a variação de pressão observada no entorno imediato à região da abertura e dos sombreamentos (região superior e inferior), decorrentes da atuação das zonas de separação originadas na interação das arestas dos dispositivos ao facearem o escoamento nesta incidência. Logo, os diferenciais de pressão, independente da referência observada (G1A ou G1B), reportam maiores variações, computando decréscimos percentuais na faixa de -2% a -12%.

Nos ângulos de incidência de 60° e 75° as faces já se encontram sob uma maior influência das bolhas de separação ocasionadas pelo descolamento do escoamento na quina da geometria do modelo, deste modo, valores pouco positivos ou negativos de Cps caracterizam as superfícies nestas orientações. A inclusão do dispositivo de sombreamento horizontal (G2A) pouco impacta na distribuição de pressão se comparado à referência G1B. Mais uma vez, maiores discrepâncias entre as tipologias com e sem sombreamentos são observadas nos exemplares com elementos verticais (G2B e G2C).

Aos 90°, as faces com aberturas estão tangentes ao escoamento, logo nos modelos selado e com aberturas, notam-se distribuições de pressão semelhantes nas faces opostas. A adição de elementos de sombreamentos em uma das faces, perturba essa concordância, ao passo que, principalmente na região

anterior à abertura e aos sombreamentos, reduz a área de abrangência dos contornos destinados aos Cps mais negativos (intervalo de -0,8 a -1,2).

Para o ângulo de incidência de 180°, o impacto no (ΔCp médio), independente da referência de análise adotada, é mínimo, variando de 1% a -3%, indicando a baixa influência dos dispositivos nesta orientação.

Nas faces a sotavento o impacto decorrente da adoção de dispositivos de sombreamento é reduzido. O posicionamento destas faces na esteira de vento, e assim com baixas variações de velocidades médias e pressões resulta em distribuições de pressão (valores de Cps) mais constantes. Alterações, quando notadas, são concentradas nas imediações da abertura, decorrentes da atuação do jato de saída (tipologias com aberturas) e de recirculações.

5. CONCLUSÕES

O uso conjugado das estratégias de ventilação natural e sombreamento das aberturas deve ser considerado desde as etapas iniciais do processo de projeto, nas quais se determinam a forma dos sombreamentos a partir da definição de máscaras de sombra para bloquear a radiação solar direta indesejada. No entanto, é importante que haja, neste mesmo contexto, a verificação de quanto este elemento reduz ou incrementa o potencial de ventilação natural no ambiente.

Nos resultados apresentados, notou-se que a adoção de um coeficiente médio por fachada de modelos selados e lisos para estimativas de taxas de ventilação de edificações, que façam uso concomitante de sombreamento em suas aberturas, pode incrementar erros, sendo a ordem de grandeza deste impacto função da geometria do dispositivo de sombreamento e do ângulo de incidência do vento.

Em relação a G1A (modelo selado), a presença dos dispositivos de sombreamento reduziu os diferenciais de pressão em quase todos os cenários analisados, com exceção da situação a 90° (para todas as tipologias), da G2B (nas incidências de vento de 0°,30° e 75°) e da G2C (nas rotações de 75° e 180°). Já, quando a referência é a G1B, impacto positivo é observado, além das situações anteriormente citadas, na tipologia G2A (60° e 75°) e G2B (60°). Aos 75°, uma maior discrepância entre os ΔCp médios calculados para os modelos selado e com aberturas é notada (0,29 e 0,25, respectivamente). Essa diferença repercute nos percentuais e indica, em algumas situações, impacto positivo (incremento do ΔCpm) em relação à G1B, e negativo (redução do ΔCpm) para a G1A.

Em síntese, conclui-se que: (a) menores influências dos dispositivos são verificadas no intervalo de incidência de vento de 0° a 30° e a 180°, independente da tipologia e da referência de análise observada (G1A ou G1B); (b) a G2A (dispositivo de sombreamento horizontal) apresenta menor impacto quando comparada às tipologias G2B e G2C, (b) maiores influências ocorrem a partir dos 45°, principalmente, nas tipologias com elementos verticais (G2B e G2C), (d) a 90°, a inclusão dos dispositivos incrementa o diferencial entre as faces opostas e; (e) maiores discrepâncias na distribuição de pressão dos modelos com e sem sombreamentos são observadas no entorno imediato das aberturas, para os diferentes ângulos de incidência, seja na face a barlavento, pela atuação das zonas de separação e de concentração do escoamento ao interceptar os dispositivos, seja na face a sotavento, devido à influência do jato de saída ou das recirculações. Essa constatação, pode indicar, que o diferencial de pressão médio (ΔCp médio), originado a partir das médias das faces barlavento e sotavento possa não ser a melhor alternativa para a tradução ou captura do impacto dos dispositivos de sombreamento nas suas distribuições de pressão e que outras áreas para a determinação deste parâmetro possam ser estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:** Desempenho Térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ALLARD, F. **Natural ventilation in buildings:** a design handbook. London: James & James. 2002.

ATKINS, R. E., PETERKA, J. A.; CERMAK J. E. Averaged pressure coefficients for rectangular buildings, Wind Engineering, **Proceedings of the Fifth International Conference** 7:369-80, Fort Collins, CO. Pergamon Press, NY,1979.

AYNSLEY, R. M.; MELBOURNE, W.; VICKERY, B. J. **Architectural Aerodynamics**. London: Applied Science Publishers LTD, 1977.

BITTENCOURT, L. e CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: EDUFAL, 2008.

CÂNDIDO, C.; DEAR, R. J. de; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and environment**, v. 45, p. 222-229. 2010.

CHAND, I.; BHARGAVA, P. K.; KRISHAK, N. L. V. Effect of balconies on ventilation inducing aeromotive force on low-rise buildings. **Building and Environment**, v. 33, n. 6, p. 385–396, 1998.

CÓSTOLA, D.; BLOCKEN, B.; HENSEN, J. L. M. Overview of pressure coefficient data in building energy simulation and airflow network programs**. Building and Environment**, v. 44, n. 10, p. 2027–2036, 2009.

CÓSTOLA, D.; BLOCKEN, B.; OHBA, M.; HENSEN, J.L.M. Uncertainty in airflow rate calculations due to the use of surface-averaged pressure coefficients. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 6, p. 881–888, 2010.

CP SIMULATOR. **Cp Simulator: prediction of wind pressure coefficients on buildings**. 2019. Disponível em: https://cpsimulator.cimec.org.ar/#. Acesso em: 1 abr. 2021.

EERE - DEPARTMENT OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. **Input-Output Reference**. Version 9.5.0. US: Department of Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of Building Technologies, 2021. Disponível em: < https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.5.0/InputOutputReference.pdf >. Acesso em: 09/ abril/ 2021.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. 2 ed. London: Applied Science.Publishers, 1976.

HOLMES, J. D. **Wind Loads on low-rise buildings:** The structural and environmental effects of wind on buildings and structures, Chapter 12, Faculty of Engineering, Monash University, Melbourne, Australia,1986.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; LABAKI, L. C.; PINA, S. M. G.; BERTOLLI, S. R. A visualização do conforto ambiental no projeto arquitetônico. IN: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1998, Florianópolis/SC. **Anais...** Florianópolis/SC, 1998.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; LABAKI, L. C.; PINA, S. M. G.; GUTIERRES, G. C. R. e GOMES, V.S. (2005) "The Challenges of Teaching bioclimatic architectural design", IN: **Anais** do International Conference: Passive and low energy cooling for the built environment, PALENC 2005, Santorini, Grécia, Vol 1., pp 327 – 332.

LIDDAMENT, M. W. **A guide to energy efficient ventilation**. AIVC. Conventry:Oscar Faber, 1996.

MARQUES DA SILVA, F. Parte 1- Acções que promovem a ventilação natural. In: SANTOS, Jorge Patrício; António (org.). **Seminário Ambiente em Edifícios Urbanos.** 2a. Edição ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 2004. p. 463.

MELIKOV, A. K. COVID-19: Reduction of airborne transmission needs paradigm shift in ventilation. **Building and Environment**, [S. l.], v. 186, p. 19–21, 2020. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.107336.

ROSSI, M. M.; VALE, F. I.; SHIMOMURA, A. R. P.; K.M.S. A mesa d'água como ferramenta de apoio para a caracterização de um modelo genérico a ser ensaiado em túnel de vento. **Revista IPT: Tecnologia e inovação**, v. 2, p. 70, 2019.

ROSSI, M. M.; VALE, F. I.; SHIMOMURA, A. R. P.; K.M.S. Desenvolvimento de modelo genérico para avaliação do impacto de dispositivos de sombreamento na ventilação natural. In: 5° Congreso Sudamericano de Simulación de Edificios, 2018, Valparaíso. **5° Congreso Sudamericano de Simulación de Edificios**, 2018.

SANTAMOURIS, M.; WOUTERS, P. **Building ventilation:** the state of the art. London: Earthscan, 2006.

SWAMI, M. V.; CHANDRA, S. Correlations for pressure distribution on buildings and calculation of natural-ventilation airflow, **ASHRAE Transactions 94**, 1988, p. 243-266.

TOLEDO, E. **Ventilação Natural das habitações**. Coordenação da publicação brasileira por Alexandre Toledo. Maceió: EDUFAL, 1999.

TPU - TOKYO POLYTECHNIC UNIVERSITY. **Aerodynamic Database for Low-rise Buildings**. 2007. Disponível em: http://www.wind.arch.t-kougei.ac.jp/info center/ windpressure/lowrise. Acesso em: 1 abr. 2021.

TRINDADE, S. C.; PEDRINI, A.; DUARTE, R. N. C. Métodos de aplicação da simulação computacional em edifícios naturalmente ventilados no clima quente e úmido. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 37–58, 2010.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores agradecem à CAPES pelo apoio financeiro e ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) por viabilizar os ensaios no túnel de vento.