



# Desenvolvimento de modelo genérico para avaliação do impacto de dispositivos de sombreamento na ventilação natural

Development of a generic model to evaluate the impact of shading devices on natural ventilation

## Michele Marta Rossi

Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo  
Avenida Trabalhador São-Carlense, 400 – Centro. CEP: 13566-590. São Carlos - SP  
michele.rossi@usp.br

## Fernanda Itkes Vale

Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo  
Avenida Trabalhador São-Carlense, 400 – Centro. CEP: 13566-590. São Carlos - SP  
fernanda.vale@usp.br

## Alessandra Rodrigues Prata Shimomura

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo  
Rua do Lago, 876 – Butantã. CEP 05508-080, São Paulo, SP  
arprata@usp.br

## Karin Maria Soares Chvatal

Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo  
Avenida Trabalhador São-Carlense, 400 – Centro. CEP: 13566-590. São Carlos - SP  
karin@sc.usp.br

**Manuscript Code:** 028

**Date of Acceptance/Reception:** 06.07.2018/31.05.2018

## Resumo

Em climas quentes e úmidos, predominantes em grande parte do território brasileiro, a combinação de estratégias de ventilação natural e de sombreamento das aberturas pode contribuir significativamente para a redução do condicionamento artificial e, conseqüentemente, do consumo energético nas edificações. Todavia, tanto no âmbito nacional quanto no internacional, poucas são as informações acerca do impacto do uso de dispositivos de sombreamento na ventilação natural, principalmente no que se refere à influência destes elementos nos coeficientes de pressão devido ao vento ( $C_p$ ). Este trabalho tem como objetivo apresentar a metodologia de desenvolvimento de um modelo genérico que será utilizado, posteriormente, para ensaios em túnel de vento e simulações fluidodinâmicas, a fim de auxiliar na quantificação do impacto de protetores solares externos nas distribuições de pressão nas suas envoltórias e, conseqüentemente, no desempenho da ventilação natural. Este modelo é caracterizado por uma geometria regular e com dimensões equivalentes a um ambiente médio de edificações brasileiras (residenciais). A escolha por uma forma simples tem como objetivos: (a) tornar a geometria do modelo um parâmetro fixo; (b) simplificar o modelo, a fim de minimizar o efeito de parâmetros adicionais; (c) priorizar nas análises a quantificação do impacto dos dispositivos de sombreamento no desempenho da ventilação natural; e, por fim, (d) fornecer regras gerais acerca de tais impactos na eficácia da ventilação natural, de modo que as conclusões alcançadas não fiquem estritamente dependentes do caso analisado. A caracterização deste modelo genérico compreende parâmetros fixos e variáveis, elencados em três grandes classes: Classe I. Geometria; Classe II. Dispositivos de sombreamento e; Classe III. Condições de contorno. As ferramentas metodológicas utilizadas para a definição dos parâmetros se resumem em: revisão bibliográfica, levantamento de dados; análises quantitativas e qualitativas. A partir deste modelo genérico, importantes dados serão fornecidos não só à comunidade acadêmica, mas também aos profissionais simuladores.

**Palavras-chave:** Modelo genérico; Ventilação Natural; Dispositivos de sombreamento; Coeficientes de pressão devido ao vento ( $C_p$ ).

## Abstract

In hot and humid climates, the combination of natural ventilation strategies and window shading can significantly contribute to reducing energy consumption in buildings. However, there are few investigations in the literature about the impact of the use of shading devices on natural ventilation, especially regarding the influence of these elements on wind pressure coefficients ( $C_p$ ). This work aims to show a methodology to develop a generic model that will be used, afterwards, for tests in wind tunnel and fluid dynamics simulations, in order to assist in the quantification of the impact of external shading devices on the pressure distribution in their envelopes and, consequently, on natural ventilation. This model is characterized by regular geometry with dimensions equivalent to an average Brazilian room of residential buildings. The choice of a simple form has the following objectives: (a) make the geometry of the model a fixed parameter; (b) simplify the model in order to minimize the effect of additional parameters; (c) prioritize in the analyzes the quantification of the impact of shading devices on the performance of natural ventilation; and (d) provide general rules about such impacts on the efficacy of natural ventilation, so that the conclusions reached are not strictly dependent on the case under consideration. The characterization of this generic model comprises fixed and variable parameters, listed in three main classes: Class I. Geometry; Class II. Shading Devices and; Class III. Boundary conditions. This generic model definition is supported by bibliographic review, data collection; quantitative and qualitative analyzes. Through this generic model, important information will be provided to the academic community and to the professional simulators.

**Keywords:** Generic model; Natural ventilation; Shading devices; Wind pressure coefficients ( $C_p$ ).

## Introdução e estado da arte do problema

Em climas quentes e úmidos, cenário característico de grande parte do território brasileiro, o uso conjugado da ventilação natural e dos dispositivos de sombreamento pode representar uma efetiva estratégia de projeto para se atingir bons níveis de conforto térmico nas edificações (Cândido et al., 2010). No entanto, pouca informação se tem acerca da ordem de grandeza do impacto dos elementos de sombreamento externos na ventilação natural.

A ventilação natural consiste na trajetória do fluxo de ar no interior dos ambientes decorrente do diferencial de pressão gerado em suas superfícies. Este diferencial pode ser resultante da força mecânica exercida pelo vento nas superfícies da edificação, da diferença de temperatura entre os ambientes internos e externos ou ainda pela ação conjugada.

A ação mecânica dos ventos na envoltória de uma edificação pode ser avaliada através dos coeficientes de pressão locais ( $C_p$ ) que são variáveis de ponto a ponto nas superfícies. De acordo com Toledo (1999), denomina-se coeficiente de pressão o quociente adimensional da pressão dinâmica aferida em determinado ponto da fachada da edificação pela pressão dinâmica do fluxo de ar não perturbado. A obtenção destes dados pode ocorrer a partir de fontes primárias (experimentos em escala real, ensaios de modelos reduzidos em túneis de vento de camada limite atmosférica, e simulações computacionais fluidodinâmicas, as chamadas *Computational Fluid Dynamics*, CFD); ou a partir de fontes secundárias (banco de dados ou métodos analíticos) (Cóstola, Blocken & Hensen, 2009).

Os coeficientes de pressão devido ao vento, além de serem sensíveis a vários parâmetros – rugosidade do terreno, ângulo de incidência do vento, formato da edificação e presença de obstáculos em seu entorno, entre outros – são dados de entrada requeridos nos principais programas de simulação para avaliação termoenergética de edificações que fazem uso da ventilação natural, os chamados *Building Energy Simulation* (BES) (Cóstola, Blocken & Hensen, 2009). No entanto, um dos principais programas BES, o EnergyPlus (EERE, 2016), desconsidera o efeito da presença de elementos de sombreamento no seu algoritmo de cálculo do módulo de ventilação natural. Diante disso, a determinação do impacto de dispositivos de sombreamentos externos é um dado que se mostra relevante no processo de projeto de edificações que fazem uso da ventilação natural.

Na literatura científica, há trabalhos que contemplam, como objeto de estudo, a influência de elementos arquitetônicos junto às janelas ou a presença de detalhes nas fachadas da edificação como, por exemplo, protetores solares, prateleiras de luz, peitoris ventilados e sacadas (Bittencourt, Biana & Cruz, 1995; Vettorazzi et al., 2016; Castaño, 2017; Accioly, Oliveira & Bittencourt, 2016; Bittencourt & Sacramento, 2007; Chand & Krishak, 1971; Stathopoulos & Zhu, 1988; Chand, Bhargava & Krishak, 1998; Maruta, Kanda & Sato, 1998; Prianto & Depecker, 2002; Hien & Istiadji, 2003; Montazeri & Blocken, 2013; Kiritat et al., 2016). No entanto, majoritariamente, as análises feitas são acerca do impacto destes elementos nos desempenhos térmico, lumínico ou energético de edificações. E quando o ponto focal é a ventilação, a maioria dessas investigações se referem ao impacto na velocidade ou na distribuição do fluxo de ar no ambiente.

A partir destes estudos, identifica-se uma lacuna na literatura científica. Embora a distribuição de pressão na envoltória da edificação se configure como o parâmetro motriz para a ocorrência da ventilação natural, nota-se uma preponderância da literatura em adotar geometrias lisas e de baixa porosidade como objeto de estudo, principalmente para a realização de ensaios em túneis de vento. Poucas são as investigações observadas acerca do impacto neste parâmetro, ocasionados pela presença de detalhes nas fachadas da edificação (Montazeri & Bloken, 2013), tais como dispositivos de sombreamento externos.

Este trabalho faz parte de um doutorado em andamento cujo objetivo geral é avaliar o impacto das características projetuais de diferentes dispositivos de sombreamento no desempenho da ventilação natural em um modelo genérico, através das distribuições de pressão nas suas envoltórias. Neste artigo, é apresentada a metodologia de desenvolvimento deste modelo genérico que será utilizado, posteriormente, em ensaios experimentais em túnel de vento. Os dados oriundos dos ensaios serão utilizados para a calibração desse mesmo modelo na ferramenta CFD, na qual as características projetuais dos dispositivos de sombreamento serão variadas parametricamente.

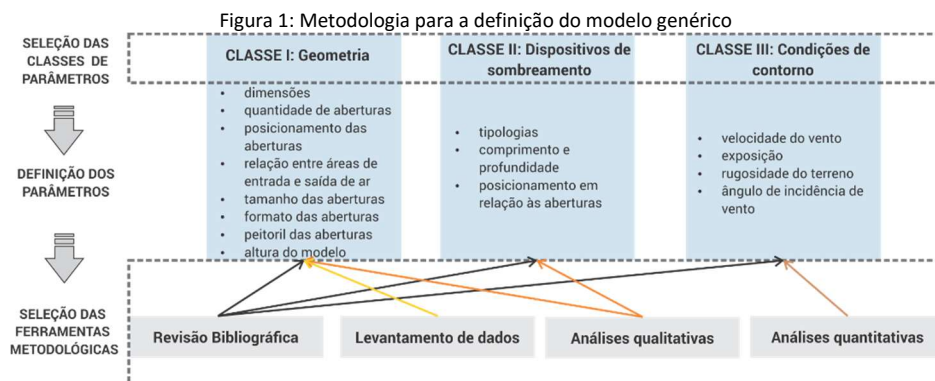
## Metodologia

A metodologia para a definição do modelo genérico se divide em três etapas: (1) Seleção das classes de parâmetros que caracterizam o modelo e suas condições de contorno; (2) Definição dos parâmetros; (3) Seleção das ferramentas metodológicas para a determinação de cada parâmetro (Figura 1). Na sequência, cada etapa é apresentada em detalhes.

Seleção das classes de parâmetros que caracterizam o modelo e suas condições de contorno

O modelo genérico terá a função de embasar avaliações experimentais e numéricas realizadas, respectivamente, em túnel de vento de camada limite atmosférica e por meio de simulações CFD. Deste modo, o critério aplicado para a seleção dos seus parâmetros se restringe aos apontados como mais relevantes pela literatura científica para a sua

respectiva modelagem nas ferramentas metodológicas descritas. Portanto, foram definidas três grandes classes, que agrupariam os parâmetros de interesse: Classe I: Geometria; Classe II: Dispositivos de sombreamento e; Classe III: Condições de contorno.



Definição dos parâmetros que caracterizam o modelo e suas condições de contorno

Após a seleção das classes, os parâmetros relacionados à cada uma delas foram definidos. A Classe I: Geometria, engloba características tanto do modelo quanto das aberturas. A Classe II: Dispositivos de sombreamento, considera os elementos necessários para a caracterização dos elementos de sombreamento externos. E, por fim, a Classe III: Condições de contorno, referencia os parâmetros que descrevem a situação em que o modelo genérico será avaliado. No total, foram definidos 15 parâmetros.

Seleção das ferramentas metodológicas

Após a definição dos parâmetros, que caracterizam o modelo e suas condições de contorno, foram selecionadas ferramentas metodológicas para auxiliar em sua definição, sendo elas: (a) revisão bibliográfica; (b) levantamento de dados; (c) análises qualitativas e; (d) análises quantitativas. A revisão da literatura científica foi uma ferramenta metodológica que permeou a escolha de todos os parâmetros considerados, englobando importantes referências nacionais e internacionais acerca das temáticas de ventilação natural em edificações, sombreamento das aberturas através de elementos externos e o uso combinado de tais estratégias passivas, principalmente em climas quentes e úmidos. O levantamento de dados permitiu a consulta de algumas pesquisas anteriores que catalogaram aspectos de projetos residenciais e de saletas comerciais. As análises qualitativas consistiram: (1) nos ensaios em mesa d'água do Laboratório de Conforto Ambiental do Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos (IAU-USP) e; (2) na elaboração das máscaras de sombra dos dispositivos de sombreamento externos selecionados. Por fim, as análises quantitativas foram aplicadas para o estudo da velocidade média de ventos no território brasileiro.

É importante ressaltar que a mesa d'água é um modelo análogo hidráulico com grande potencial para análises qualitativas da ventilação natural por ação dos ventos em edificações (Toledo & Pereira, 2003). A mesa d'água do IAU-USP, utilizada nas análises qualitativas, é composta por dois tanques de água com capacidade de 92,5 litros (0,74 x 0,25 x 0,50 m) cada e conectados por uma bomba 0,75CV e 60 Hz. Um inversor de frequência, modelo CFW08 da WEG, atrelado à bomba é responsável por controlar a velocidade e frequência do fluxo de água. A área de ensaio apresenta 1,10 m de comprimento e 0,74m de largura.

## Resultados

Primeiramente, definiu-se que o modelo genérico teria uma geometria regular e com dimensões equivalentes a um ambiente médio de edificações brasileiras residenciais. A escolha por uma forma simples teve como objetivos: (a) manter a geometria do modelo fixa; (b) simplificar o modelo, a fim de minimizar o efeito de parâmetros adicionais; (c) priorizar nas análises a quantificação do impacto dos dispositivos de sombreamento no desempenho da ventilação natural; e, por fim, (d) fornecer regras gerais acerca de tais impactos na eficácia da ventilação natural, de modo que as conclusões alcançadas não ficassem estritamente dependentes do caso analisado.

A caracterização deste modelo genérico, apresentada a seguir conforme a metodologia adotada e sintetizada na Tabela 1, compreende parâmetros fixos e variáveis. De acordo com Passos, Lamenha & Bittencourt (2017), devido à complexidade inerente ao fenômeno da ventilação natural é necessário fixar alguns parâmetros a fim de permitir a

investigação de outros, no caso deste estudo em específico, dos dispositivos de sombreamento externos. Na sequência, são apresentadas, em detalhes, os parâmetros pertencentes a cada classe. As análises qualitativas (a partir de ensaios em mesa d' água e da elaboração das máscaras de sombra) são apreendidas em um item separado devido à sua complexidade.

Tabela 1: Tabela-resumo da definição do modelo genérico

Classes de parâmetros	Parâmetros	Valores
I. Geometria	Dimensões do modelo	3m x 3m x 2,7m
	Quantidade de janelas	Duas aberturas (dispostas em faces opostas)
	Posicionamento das aberturas	Centralizada nas fachadas
	Relação entre as aberturas de entrada e saída de ar	Mesma área
	Tamanho das aberturas	1m x 1m
	Formato das aberturas	Quadradas
	Peitoril da abertura	1,1m
	Altura em que o modelo será ensaiado	Térreo
II. Dispositivos de sombreamento	Tipologia	Horizontal (DSH), Vertical (DSV), Combinado (DSC)
	Posicionamento em relação às aberturas	Posicionados no limiar das aberturas
	Dimensões (comprimento e profundidade)	0,5m de profundidade
III. Condições de contorno	Velocidade	0 – 5 m/s
	Exposição	Isolado
	Rugosidade	Área aberta e plana
	Ângulos de incidência do vento	0° - 90° (intervalos de 15°)

#### ▪ Classe I- Geometria

Esta classe englobou características tanto do modelo quanto das aberturas, tais como: (a) dimensões do modelo (comprimento, largura e pé-direito); (b) quantidade de aberturas; (c) posicionamento das aberturas na fachada; (d) relação entre as aberturas de entrada e saída de ar; (e) tamanho das aberturas; (f) formato das aberturas; (g) peitoril das aberturas e; (h) altura em que o modelo será ensaiado.

**Definição das dimensões do modelo:** As dimensões de largura, comprimento e pé-direito do modelo foram definidas a partir de revisão bibliográfica e levantamento de dados de três grupos de informação: (1) Modelos fundamentais experimentais (Evola & Popov, 2006; Meroney, 2009; Karava et al, 2011); (2) Modelos residenciais de pesquisas anteriores (Rossi, 2016; Anchieta, 2016; Favretto, 2016); e (3) Modelos de edifícios de escritórios de pesquisas anteriores (Santesso, 2017; Neves et al., 2017). A primeira, apoiou-se em modelos encontrados na revisão da literatura que foram utilizados em análises experimentais, sendo seus dados aplicados ou não, posteriormente, para análises numéricas em ferramentas CFD. Já a segunda e a terceira, consistiram em levantamentos de dados em algumas pesquisas que catalogaram projetos residenciais e de edificações de escritório, principalmente saletas de escritórios. Após a verificação destas fontes, optou-se que as dimensões do modelo genérico fossem iguais as propostas por Accioly, Oliveira & Bittencourt (2016): 3m x 3m x 2,7m (largura x comprimento x pé-direito).

**Quantidade de janelas:** Segundo Marques da Silva (2010), o fluxo de ar resultante dos processos eólicos, térmicos ou ação conjunta podem caracterizar uma ventilação cruzada ou unilateral. Na primeira, as aberturas estão dispostas em fachadas opostas ou adjacentes, já na segunda se encontram localizadas na mesma fachada. Deste modo, a fim de se configurar uma situação de ventilação cruzada, optou-se por dispor duas aberturas, localizadas em faces opostas.

**Posicionamento das aberturas:** As janelas foram centralizadas nas fachadas do modelo genérico. Segundo Lechner (2009), maiores valores de pressão são encontrados no centro da face à barlavento. Bittencourt & Cândido (2008) enfatizam que quando a incidência de vento é perpendicular a abertura de entrada de ar, uma maior diferença na distribuição das pressões é observada, sendo a diferença máxima obtida se as aberturas de entrada e saída de ar forem localizadas nas máximas pressões positivas e negativas, respectivamente.

**Relação entre as aberturas de entrada e saída de ar:** Givoni (1976) observou, em suas análises, que os impactos da variação do tamanho das aberturas são mais preponderantes em ambientes com ventilação cruzada e que ganhos efetivos na velocidade interna do ar podem ser alcançados com o incremento simultâneo das áreas de aberturas de entrada e saída de ar. Diante destas constatações, foi definido que as janelas no modelo genérico seriam mantidas idênticas.

**Tamanho das aberturas:** As aberturas do modelo genérico são de 1,0m x 1,0m. Análises qualitativas do fluxo de ar realizados em mesa d' água foram fundamentais para aperfeiçoar a definição deste parâmetro. Os resultados destas análises são apresentados no item "Análises qualitativas: visualizações analógicas em mesa d' água e elaboração de máscaras de sombra".

**Formato das aberturas:** Sobin (1981) *apud* Bittencourt e Cândido (2008) e Givoni (1991) investigou, a partir de ensaios em túnel de vento, o impacto da variação do formato das aberturas (retangular, vertical ou quadrada) na velocidade do ar interna. Embora, o formato retangular seja apontado, nesta referência, como preponderante em relação as demais formas observadas, optou-se por aberturas quadradas, uma vez que os ensaios qualitativos em mesa d' água (ver item "Análises qualitativas: visualizações analógicas em mesa d' água e elaboração de máscaras de sombra") apontaram uma

maior abrangência do fluxo de ar no ambiente interno para valores menores de largura de abertura. Em aberturas com dimensões de largura maiores, o fluxo se mostrou mais linearizado.

**Peitoril das aberturas:** O levantamento de dados de projetos residenciais indicou uma preponderância de aberturas com peitoril de 1,1m para os ambientes de maior permanência (sala e dormitórios). Logo, este valor foi adotado.

Altura em que o modelo será ensaiado: O modelo analisado configurará uma situação térrea. Para averiguar de forma efetiva o impacto dos dispositivos de sombreamento externos na ventilação natural, a partir da variação de tal parâmetro, seria necessário a confecção de um modelo que reproduzisse um módulo sobre o outro, uma vez que em altura o dispositivo de sombreamento do módulo inferior poderia facilmente impactar o desempenho da ventilação natural do módulo superior, o que agregaria complexidade a análise.

- Classe II – Dispositivos de sombreamento externos

Esta classe considerou os elementos necessários para a caracterização dos elementos de sombreamento externos como: (a) tipologia; (b) dimensões (comprimento e profundidade) e; (c) posicionamento dos elementos em relação às aberturas (se serão localizados no limite da abertura ou apresentarão algum afastamento em relação às mesmas).

**Tipologias:** Três tipologias de elementos de sombreamento externos foram selecionadas para compor as variações do modelo genérico: dispositivos de sombreamento horizontal, vertical e combinado, por serem as formas mais usualmente encontradas.

**Dimensões e posicionamento dos elementos em relação às aberturas:** As definições de tais parâmetros foram embasadas pelas análises qualitativas: visualizações analógicas em mesa d'água e elaboração de máscaras de sombra, sendo apresentadas neste respectivo item.

- Classe III – Condições de contorno

Esta classe referenciou os parâmetros que descrevem a situação em que o modelo genérico será avaliado: (a) velocidade do vento; (b) grau de exposição do modelo (modelo isolado ou que considere o entorno); (c) rugosidade do terreno (terreno livre de interferência, subúrbio, urbano, entre outros); e por fim, (d) ângulos de incidência do vento.

**Velocidade:** Inicialmente, a partir da análise do Atlas de potencial eólico brasileiro (Amarante et al., 2001) foram definidas cidades de menor e maior potencial eólico nas macrorregiões: norte (Manaus e Soure); nordeste (Fortaleza e Vitória da Conquista); centro-oeste (Cuiabá e Campo Grande); sudeste (Arraial do Cabo e São Paulo); sul (Curitiba e Santa Marta). No entanto, como os dados reunidos neste documento são resultantes de uma modelagem numérica com o *software* MesoMap e seus resultados representam regimes de ventos na altura de 50m, julgou-se coerente para o caso em questão a análise dos arquivos climáticos desenvolvidos por Roriz (2012) e atualizados em 2016 (LabEEE, 2016) tendo como base medições meteorológicas realizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cuja aferição dos regimes de vento ocorrem na altura de 10m. Para a análise destes arquivos, foram definidos intervalos de variação da velocidade do vento a serem observados, tais como: < 2; de 2 a 3; de 3 a 5; 5 a 9 e >9 m/s. A aplicação deste critério permitiu delinear o intervalo de velocidade de vento com maior frequência de ocorrência. Em geral, as velocidades de vento de até 5 m/s são as mais recorrentes dentre as cidades analisadas, sendo preponderantes os intervalos de <2 m/s e de 2 a 3 m/s.

**Exposição:** De acordo com Leite e Frota (2013a, 2013b), a complexidade inerente do  $C_p$  à variação de aspectos como o efeito do entorno imediato, formato das edificações, ângulos de incidência de vento, limitam a aplicação dos dados provenientes de diversos estudos sobre a avaliação de  $C_p$  realizados em modelos paralelepípedos e isolados. Entretanto, a adoção de um modelo isolado foi estabelecida para este estudo a fim de diminuir a influência de parâmetros adicionais na análise das variações nas distribuições de pressões decorrentes da inclusão de protetores solares externos.

**Rugosidade do terreno:** A Camada Limite Atmosférica (CLA) varia da velocidade de vento igual a zero, no contato com a superfície, até a velocidade de escoamento livre (Marques da Silva, 2010). Deste modo, as variações de coeficientes de rugosidade do terreno resultam em diferentes espessuras de CLA, além de alterar o gradiente de velocidade de vento. Por este motivo, optou-se em considerar um coeficiente de rugosidade do terreno equivalente a uma área aberta e plana.

**Ângulo de incidência do vento:** O ângulo que o vento incide sobre a edificação é primordial na configuração das distribuições de pressão nas suas respectivas fachadas. Logo, os ângulos de incidência de vento serão variados de 0° a 90° em intervalos de 15°. Por se tratar de uma geometria regular, os dados para as demais situações poderão ser facilmente deduzidos.

- Análises qualitativas: visualizações analógicas em mesa d'água e elaboração de máscaras de sombra

Análises qualitativas foram utilizadas: 1) Nas visualizações do fluxo de ar a partir de ensaios em mesa d'água e; 2) Na elaboração de máscaras de sombra. Tais análises, auxiliaram na definição do formato e das dimensões das aberturas, e das características dos dispositivos de sombreamento externos.

O modelo avaliado nos ensaios em mesa d'água apresenta as dimensões do modelo genérico (3m x 3m x 2,7m de pé-direito), peitoril padrão de 1,10m e aberturas centralizadas e em faces opostas. Devido à limitação da mesa d'água, em permitir visualizações analógicas bidimensionais de um fenômeno que é tridimensional, foram realizados ensaios em planta e em corte longitudinal (Tabela 2).

Tabela 2: Visualizações do fluxo de ar em mesa d'água: avaliações do impacto da largura, altura das aberturas e da presença de dispositivos de sombreamento externos (horizontal e vertical).

Ensaio em planta				
Vão	Caso sem proteção	Proteção solar (0,1m)	Proteção solar (0,5m)	Proteção solar (1,0m)
0,6				
1,0				
2,0				
Ensaio em corte longitudinal				
Vão	Caso sem proteção	Proteção solar (0,1m)	Proteção solar (0,5m)	Proteção solar (1,0m)
0,6				
1,0				

Os ensaios dos modelos em planta auxiliaram na verificação dos impactos no fluxo de ar: (a) de dispositivos de sombreamento externos verticais e; (b) da variação da largura da abertura (0,6m; 1,0m; 1,2m; 1,6m; 2,0m). Já, a partir dos ensaios em corte longitudinal se avaliou o impacto no fluxo de ar: (c) da presença dos dispositivos de sombreamento externos horizontais e; (d) da variação da altura da abertura (0,6m e 1,0m). Ambos os ensaios contemplaram variações nas dimensões de profundidade dos elementos de sombreamento externos (0,1m; 0,5m e; 1,0m).

Para a realização dos ensaios foram confeccionadas maquetes físicas em acrílico transparente de 3mm por ser um material resistente, impermeável e não interferir nas visualizações. Os modelos reduzidos foram produzidos na escala de 1:10, sendo que a altura dos elementos foi de 5cm. As paredes com aberturas tiveram seus elementos alterados durante os testes, a fim de representar as diferentes larguras (modelos em planta) ou alturas (modelos em corte longitudinal) das aberturas. Os elementos que caracterizaram os dispositivos de sombreamento também foram trocados entre um teste e outro. A fixação das peças variáveis entre um teste e outro nas demais que eram fixas ocorreram a partir do uso de clorofórmio. No total, foram realizados 28 ensaios, sendo os resultados de 20 aqui apresentados. Os resultados referentes aos casos em planta de vão de 1,2m e 1,6m foram omitidos, uma vez que apresentaram padrão semelhante aos observados nos vãos de 1,0m e 2,0m, respectivamente.

As visualizações em mesa d'água indicam que maiores dimensões tanto de altura como de largura das aberturas ocasionam fluxos de ar mais linearizados. Além disso, este incremento resulta na ampliação das zonas de sombra de vento dentro do ambiente, ao passo que diminuiu o potencial de recirculação do ar. Diante destes dados, optou-se pela abertura quadrada de aresta de 1,0m para o modelo genérico. Esta dimensão de vão ainda proporciona recirculações de ar como observado no vão de 0,6m, o que auxilia na maior distribuição do ar no ambiente interno.

Quanto à variação na dimensão de profundidade tanto dos protetores horizontais quanto verticais, pouca influência no fluxo de ar é notada quando é acrescido um protetor equivalente à 0,1m, e maiores interferências são observadas a partir da inclusão dos protetores de 0,5m e 1,0m. Optou-se pelos protetores de 0,5m por possuírem uma dimensão mais realista. Quanto ao impacto na distribuição de fluxo, a opção de 0,5m ainda continua sendo a mais preponderante, por permitir maiores recirculações de ar, diminuindo assim as zonas de sombra de vento no interior do ambiente analisado.

A partir dos ensaios em mesa d'água, estabeleceu-se que os protetores solares, independente da tipologia (horizontal, vertical ou combinado) apresentariam elementos com 0,5m de profundidade. Além disso, tais elementos seriam locados no limiar das janelas e suas dimensões de comprimento não ultrapassariam as da abertura. Tendo isso considerado, utilizou-se o transferidor auxiliar para verificar os ângulos verticais frontais ( $\alpha$ ), horizontais ( $\beta$ ) e verticais laterais ( $\gamma$ ), sendo estes respectivamente: 63°, 63° e 0°. A fim de fornecer uma avaliação mais abrangente do potencial de sombreamento de tais dispositivos, foram elaboradas as máscaras de sombra correspondentes e aplicadas sobre as cartas solares para latitudes de 4°N a 32°S, considerando intervalos de 4°. Este critério de avaliação foi reproduzido para as três tipologias de dispositivos de sombreamento (horizontal, vertical ou combinado). Considerou-se que a abertura do modelo genérico que receberia a proteção dos dispositivos de sombreamento externos está localizada na fachada Norte, devido ao ganho solar significativo durante o ano nesta orientação para as diferentes latitudes do território brasileiro.

## Discussão e conclusões

A ventilação natural é um fenômeno complexo e sensível a vários parâmetros. Logo, a elaboração de um modelo genérico para avaliação do impacto de dispositivos de sombreamento nas distribuições de pressão nas suas envoltórias, representadas pelos coeficientes de pressão ( $C_p$ ), constituiu em um processo minucioso de busca na literatura para melhor embasar as definições dos parâmetros que caracterizariam o modelo e suas condições de contorno. Como o modelo genérico será posteriormente ensaiado em túnel de vento, que se trata de uma ferramenta experimental custosa e de difícil acesso, o processo de sua definição deveria ser criterioso a fim de se caracterizar de modo coerente todos os parâmetros necessários para a modelagem nesta ferramenta experimental, como também para permitir a sua replicação em ferramentas de simulação computacional fluidodinâmica. As análises qualitativas de visualizações analógicas na mesa d'água, que consiste em um experimento de baixo custo, relativamente simples e rápido, contribuíram de modo significativo nas definições relacionadas às dimensões das aberturas e dos dispositivos de sombreamento externos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Programa Unificado de Bolsas de Estudos para Estudantes de Graduação (PUB) da USP, respectivamente, pelas bolsas de fomento de doutorado e de iniciação científica. Ademais, aos técnicos dos laboratórios do IAU-USP, Pedro Mattia, José Dibo e Paulo Pratavieira pelo assessoramento nos ensaios experimentais em mesa d'água. E por fim, aos engenheiros Gilder Nader e Gabriel Borelli Martins, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) pelas valiosas contribuições ao longo do processo de definição do modelo genérico.

## Referências

- Accioly, L., Oliveira, P. & Bittencourt, L. (2016). A influência da forma de prateleiras de luz na captação e distribuição interna da ventilação natural em um ambiente. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 16., 2016, São Paulo. Anais...São Paulo: ENTAC, p.417-427.
- Amarante, O. A., Brower, M., Zack, J. & Eolica, C. S. E. (2001) Atlas do potencial eólico brasileiro. Atlas do potencial eólico brasileiro, Ministerio de Minas e Energia Eletrobras.
- Anchieta, C. (2016). Regression models to assess the thermal performance of Brazilian low-cost houses: consideration of solar incidence and shading devices. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia / IAU) - Universidade de São Paulo, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.
- Bittencourt, L. & Cândido, C. (2008). Introdução à ventilação natural. Maceió: EDUFAL, 2008.
- Bittencourt, L. S. & Sacramento, S. (2007). Estudo do desempenho do peitoril ventilado para aumentar a ventilação natural em escolas de Maceió/AL. p. 59–69.
- Bittencourt, L., Biana, G. & Cruz, J. M. (1995). Efeito dos protetores solares verticais e horizontais na ventilação natural de salas de aula do 2° grau In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 3 e Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 1, 1995, Gramado. Anais...Gramado: ENCAC/ELACAC, p.383-388.
- Cândido, C., Dear, R. J. de, Lamberts, R. & Bittencourt, L. (2010). Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. *Building and environment*, v. 45, p. 222-229.
- Castaño, H.F.M. (2017). Impacto de dispositivos de sombreamento externos e muro na ventilação natural e no desempenho térmico de uma habitação de interesse social térrea. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia / IAU) - Universidade de São Paulo, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.
- Chand, I. & Krishak, N. L. V. (1971). Laboratory studies of the effect of louvers on room air motion. *Building Science*, v. 6, n. 4, p. 247–252, 1971.
- Chand, I., Bhargava, P. K. & Krishak, N. L. V. (1998). Effect of balconies on ventilation inducing aeromotive force on low-rise buildings. *Building and Environment*, v. 33, n. 6, p. 385–396.



- Cóstola, D., Blocken, B. & Hensen, J. L. M. (2009). Overview of pressure coefficient data in building energy simulation and airflow network programs. *Building and Environment*, v. 44, n. 10, p. 2027–2036.
- EERE - Department of Energy Efficiency and Renewable Energy. EnergyPlus. Version 8.6.0. US: Department of Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of Building Technologies, 2016a. Disponível em: <[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_about.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm)>. Acesso em: 08/jun/ 2016.
- Evola, G.; Popov, V. (2008). Computational analysis of wind driven natural ventilation in buildings. *Energy and Buildings*, v. 38, n. 5, p. 491–501, 2006.
- Favretto, A.P.O. (2016). Regression models to assess the thermal performance of Brazilian low-cost houses: consideration of opaque envelope. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia / IAU) - Universidade de São Paulo, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.
- Givoni, B. (1976). *Man, climate and architecture*. 2 ed. London: Applied Science.Publishers.
- Hien, W. N. & Istiadji, A. D. (2003). Effects of external shading devices on daylighting and natural ventilation. Eighth International IBPSA Conference Eindhoven, Netherlands August 11-14, 2003, p. 475–482.
- Karava, P., Stathopoulos, T., Athienitis, A.K. (2011). Airflow assessment in cross- ventilated buildings with operable façade elements. *Build. Environ.* 46, 266–279.
- Kirimtat, A. et al. (2016). Review of simulation modeling for shading devices in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 53, p. 23–49.
- LABEEE - Laboratório de Eficiência em Edificações. (2016). Arquivos climáticos INMET 2016. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.
- Leite, R.C.V. & Frota, A.B. (2013a). Procedimentos para determinação de coeficientes de pressão em diferentes condições de adensamento urbano. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 12 e Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 8, Brasília. Anais...Brasília: ENCAC/ELACAC.
- Leite, R.C.V. & Frota, A.B. (2013b). Avaliação de coeficientes de pressão em edifícios em meio urbano adensado. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 12 e Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 8, Brasília. Anais...Brasília: ENCAC/ELACAC.
- Marques da Silva, F. (2010). Aplicação da ventilação natural e mista em edifícios: as ações introdutoras da ventilação natural. In: *Cadernos Edifícios*, n.6, p. 7-26.
- Maruta, E., Kanda, M. & Sato, J. (1998). Effects on surface roughness for wind pressure on glass and cladding of buildings. v. 76, p. 651–663.
- Meroney, R. N. (2009). CFD Prediction of Airflow in Buildings for Natural Ventilation Prepared for 11 th Americas Conference on Wind Engineering San Juan , Puerto Rico CFD Prediction of Airflow in Buildings for Natural Ventilation. p. 1–11.
- Montazeri, H. & Blocken, B. (2013). CFD simulation of wind-induced pressure coef fi cients on buildings with and without balconies : Validation and sensitivity analysis. *Building and Environment*, v. 60, p. 137–149.
- Neves, L. O., Manoel, R. P.; Chvatal, K.; Santesso, C. (2017) Envelope design of mixed-mode office buildings: theory versus practice. In: *Passive and Low Energy Architecture, 2017*, Edimburgo. PLEA.
- Passos, I.C.S., Lamenha, M. & Bittencourt, L.S. (2017). Análise de pressões externas em edifício residencial multifamiliar para fins de ventilação natural. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 14 e Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 10, Balneário Camboriu. Anais... Balneário Camboriu: ENCAC/ELACAC.
- Prianto, E. & Depecker, P. (2002). Characteristic of airflow as the effect of balcony, opening design and internal division on indoor velocity A case study of traditional dwelling in urban living quarter in tropical humid region. v. 34, p. 401–409.
- Roriz, M. (2012). Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. Relatório Interno. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>>. Acesso em: 22 de março de 2013.
- Rossi, M.M. (2016). Regression models to assess the thermal performance of Brazilian low-cost houses: consideration of natural ventilation. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia / IAU) - Universidade de São Paulo, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.
- Santesso, C. A. (2017). Integração da ventilação híbrida e da iluminação natural em saletas comerciais na cidade de São Paulo: influência de parâmetros de projeto. 2017. 86 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Sobin, H. J. (1981) Window design for passive ventilative cooling: an experimental model-scale study, *Proc. Int. Passive and Hybrid Cooling Conf.*, Miami Beach, FL, 1981, Am. Section of the Int. Solar Energy Soc., pp. 191-195.
- Stathopoulos, T. & Zhu, X. (1988). Wind pressures on buildings with appurtenances. *Journal of Wing Engineering and Industrial Aerodynamics*, v.31, p. 265-281.
- Toledo, A. M.; Pereira, F. O. R. (2003).O potencial da Mesa d’ água para a visualização analógica da ventilação natural em edifícios. In: VII ENCAC - Encontros Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2003, Curitiba. Anais... do VII ENCAC.
- Toledo, E. (1999). *Ventilação Natural das habitações*. Coordenação da publicação brasileira por Alexandre Toledo. Maceió: EDUFAL, 1999.
- Vettorazzi, E., Sacht, H. M., Langner, M. & Camacho, D.J. (2016). Proposta de dispositivo para aumentar o desempenho de janelas e fachadas em termos de ventilação natural e auxiliar no controle da radiação solar direta. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 16., 2016, São Paulo. Anais...São Paulo: ENTAC, p.1839-1852.