



XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

SHEDS EXTRATORES E CAPTADORES DE AR: SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS E ENSAIOS NO TÚNEL DE VENTO

Marieli Azoia Lukiantchuki (1); Alessandra Prata Shimomura (2); Fernando Marques da Silva (3); Rosana Maria Caram (4)

- (1) Professora doutora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, malukiantchuki2@uem.br, Universidade Estadual de Maringá, av. Colombo, 5700, (44) 3011-4145
- (2) Professora doutora do Departamento de Tecnologia da Arquitetura, arprata@usp.br, Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 876, (11) 3091-4571
- (3) Engenheiro mecânico, Doutor, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal fms@lnec.pt
- (4) Professora Associada do Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo – IAU/USP, rcaram@sc.usp.br

RESUMO

A ventilação natural é uma das estratégias mais eficientes para o condicionamento térmico passivo de edificações, ocorrendo por ação dos ventos, por efeito chaminé ou pela combinação de ambos. Dentre as estratégias de ventilação, destacam-se os *sheds*, aberturas na cobertura, que funcionam como captadores ou extratores de ar, dependendo de sua localização em relação aos ventos dominantes. Diversas são as ferramentas disponíveis para a avaliação do desempenho da ventilação natural nos ambientes internos, tais como simulações com base na Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) e ensaios no túnel de vento. As simulações CFD apresentam alta precisão nos resultados. No entanto, recomenda-se que essas simulações sejam validadas por meio de ferramentas experimentais de alta confiabilidade, como experimentos no túnel de vento. Diante disso, o objetivo desse artigo é comparar qualitativamente os resultados de simulações CFD em edifícios com *sheds*, com ensaios no túnel de vento. Essa análise é complementada com dados quantitativos de coeficientes de pressão nas aberturas, visando um melhor embasamento na discussão dos resultados. Três configurações de *sheds* na cobertura foram avaliadas por simulações CFD. Em seguida, maquetes físicas reduzidas desses mesmos modelos foram confeccionadas e ensaiadas no túnel de vento. Os resultados finais apresentaram semelhança, ressaltando a confiabilidade dos dados obtidos pelas simulações. Além disso, os testes realizados mostram claramente o quanto os ensaios qualitativos são importantes para a visualização e o entendimento do fenômeno da ventilação natural.

Palavras-chave: ventilação natural, simulações CFD, túnel de vento, *sheds* extratores e captadores de ar.

ABSTRACT

Natural ventilation is one of the most efficient strategies for the passive thermal conditioning of buildings, occurring by the wind-induced natural ventilation, stack effect or by the combination of both. Among the ventilation strategies, sheds roof can be highlighted. Sheds are openings on the roof that act as air collectors or extractors, depending on their location in relation to the prevailing winds. Several tools are available to evaluate the performance of natural ventilation in indoor environments, such as Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations and wind tunnel tests. CFD simulations may obtain high precision results. However, several researches recommend that these results should be validated by highly reliable experimental tools, such as the wind tunnel. Therefore, this paper aims is to compare CFD simulations results with wind tunnel tests on sheds roof building, in order to confirm the results similarity. This analysis is complemented with pressure coefficients data in the openings, aiming at a better foundation in the discussion of the results. For this, three configurations of sheds roof were first evaluated by CFD simulations. Then, reduced physical models were made and tested in the wind tunnel, comparing the direction of the airflow vectors in the air inlet and outlet openings. The results showed a good match, allowing to admit the reliability of the data obtained by the simulation. In addition, the tests performed show how qualitative tests are important for understanding of the natural ventilation phenomenon.

Keywords: natural ventilation, CFD simulations, wind tunnel tests, air collectors and extractors sheds.

1. INTRODUÇÃO

A ventilação natural consiste no deslocamento de ar através do edifício, originado por diferenças de pressão entre as áreas externas e internas. Essa estratégia pode ocorrer pela ação dos ventos ou pela diferença de temperatura entre o ar interno e externo (efeito chaminé). Segundo Lamberts *et al.* (2014) o Brasil, devido ao seu imenso território e por se localizar entre dois trópicos, possui um clima bastante variado, sendo que grande parte do território brasileiro é classificado como tendo um clima quente e úmido (CÂNDIDO *et al.*, 2010). Nestas regiões a ventilação natural é uma das estratégias mais eficientes para a obtenção de conforto térmico por meios passivos, reduzindo o consumo de energia elétrica.

O uso dessa estratégia é prejudicado em regiões onde não há vento externo relevante, como cidades com ventos de fraca intensidade ou pela falta de espaços adequados para a circulação de ar na malha urbana, devido aos obstáculos externos que os bloqueiam. Isso pode ser melhorado através da ventilação pelo efeito chaminé ou por meio de captadores de ar na cobertura, cujas obstruções à circulação do ar são menores, possibilitando ventos com maior velocidade. Uma das soluções de ventilação ao nível da cobertura são os *sheds* que funcionam como captadores ou extratores de ar, dependendo de sua posição em relação aos ventos dominantes. No entanto, apesar de terem um grande potencial, são pouco explorados pela arquitetura nacional, devido ao pouco conhecimento sobre o seu funcionamento e à falta de dados técnicos disponíveis aos projetistas (LÔBO e BITTENCOURT, 2003).

Lukiantchuki (2015) estudou a influência de diversos parâmetros projetuais no desempenho de *sheds* extratores e captadores de ar, tais como a geometria, distância entre esses dispositivos, tamanho das aberturas, a localização destes na cobertura, entre outros. Os exemplos mais comuns desses dispositivos são os “dentes de serra”, cujo formato é ortogonal e sem muitas variações (Figura 1). No Brasil, destaca-se o trabalho do arquiteto João Filgueiras Lima, Lelé, cujos *sheds* com diferentes geometrias aerodinâmicas estão presentes na maioria dos seus projetos, buscando melhorar a ventilação e a iluminação naturais (Figura 2),

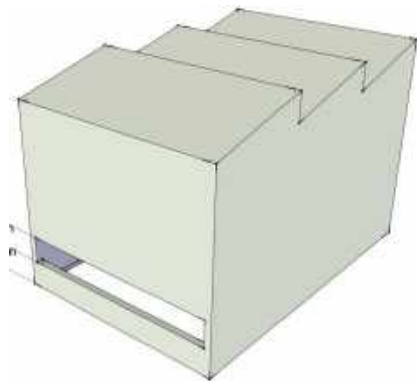


Figura 1 – *Sheds* ortogonais – “dente-de-serra”.

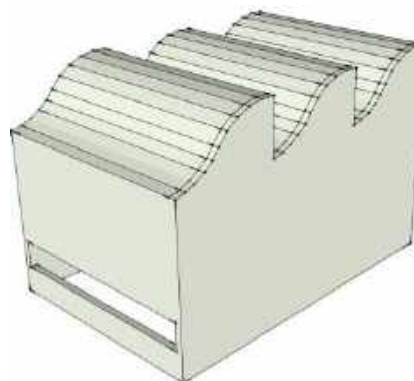


Figura 2 – *Sheds* aerodinâmicos – Sarah Salvador, arquiteto Lelé.

Existem diversos métodos de predição da ventilação natural nas edificações e sua escolha deve se basear na disponibilidade de recursos humanos e materiais (COSTA, 2009). Segundo Toledo e Pereira (2004) o uso desses métodos é importante para um melhor entendimento do desempenho da ventilação natural. Chen (2009) pontua que as principais ferramentas de análise do fluxo de ar são: 1) túnel de vento; 2) mesa d’água; 3) experimentos em tamanho real; 4) simulação computacional por Dinâmica dos Fluidos Computacional – CFD e 5) fórmulas analíticas e semi-empíricas. Cada um desses métodos apresentam vantagens e desvantagens indicando qual o melhor para cada caso específico.

Dentre essas ferramentas, os softwares CFD tem se consolidado como uma importante ferramenta de análise da ventilação natural. Diversas pesquisas (BURNETT *et al.*, 2005; CHENG *et al.*, 2008; CÓSTOLA, ALUCCI, 2011; HIRANO, 2006; LAM *et al.*, 2008; SHEN *et al.*, 2012, PERÉN *et al.*, 2015; LUKIANTCHUKI *et al.*, 2016; MORAIS e LABAKI, 2017; RAMPONI, BLOCKEN, 2012) certificam que o uso desses *softwares*, considerando adequadamente os dados de entrada, produzem resultados próximos à realidade. Como desvantagens têm-se o alto custo da licença comercial, a alta capacidade computacional e a complexidade da operação, pois exigem conhecimentos aprofundados de dinâmica dos fluidos.

A verificação das simulações, por meio de ferramentas experimentais, é indispensável para verificar a confiabilidade dos resultados. Segundo Fortuna (2000) o uso de métodos numéricos não descarta as análises experimentais. Em um projeto que envolva escoamento dos fluidos é comum às técnicas se complementarem, de forma que os resultados sejam comparados, confirmando ou não a validade dos modelos. Assim, a realização de ensaios no túnel de vento é muito usual devido à sua alta confiabilidade. No entanto, o custo elevado e a dificuldade de sua operação restringem o seu uso em diversas pesquisas.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é comparar qualitativamente os resultados de simulações CFD em edifícios com *sheds*, com ensaios no túnel de vento. Essa análise é complementada com dados quantitativos de coeficientes de pressão (C_p) nas aberturas, visando um melhor embasamento na discussão dos resultados.

3. MÉTODO

O método deste trabalho foi dividido em três etapas principais:

1. Seleção dos casos analisados.
2. Simulações computacionais, utilizando o programa Ansys CFX versão 12.0.
3. Ensaios experimentais no túnel de vento.

3.1. Seleção dos casos analisados

Três modelos com *sheds* na cobertura foram analisados. Todos os casos possuem a mesma dimensão: LxCxH de 5,00m x 17,5m x 5,0m, variando a configuração dos *sheds* na cobertura. Os modelos apresentam uma abertura na fachada de 5,0m de comprimento, 0,625m de altura, com peitoril de 0,625m, totalizando uma área efetiva de 3,125m². O caso de referência possui 7 *sheds*, dispostos de forma alinhada e distantes entre si em 2,50m. Cada *shed* possui uma abertura de 5,0m de comprimento, 0,625m de altura, com peitoril de 4,375m (Figura 3a). Essa geometria aerodinâmica dos *sheds* foi escolhida, dentre todas estudadas por Lukiantchuki (2015), por ter apresentado um bom desempenho para a extração e para a captação de ar, se destacando como uma boa opção em situações que o entorno modifica a direção dos ventos predominantes.

Os casos 01 e 02 são variações do alinhamento dos *sheds* em relação ao eixo horizontal e da distância entre eles, não sendo configurações usuais em edifícios com *sheds*. Nos casos 01 e 02 os *sheds* são intercalados em 2 fileiras, ocupando metade da largura do edifício, distantes entre si em 5,00m (totalizando 4 *sheds* na cobertura) e 7,50m (totalizando 3 *sheds* na cobertura), respectivamente. Dessa forma, as aberturas nos *sheds* possuem dimensão de 2,50m de largura x 0,625m de altura (Figuras 3b e 3c).

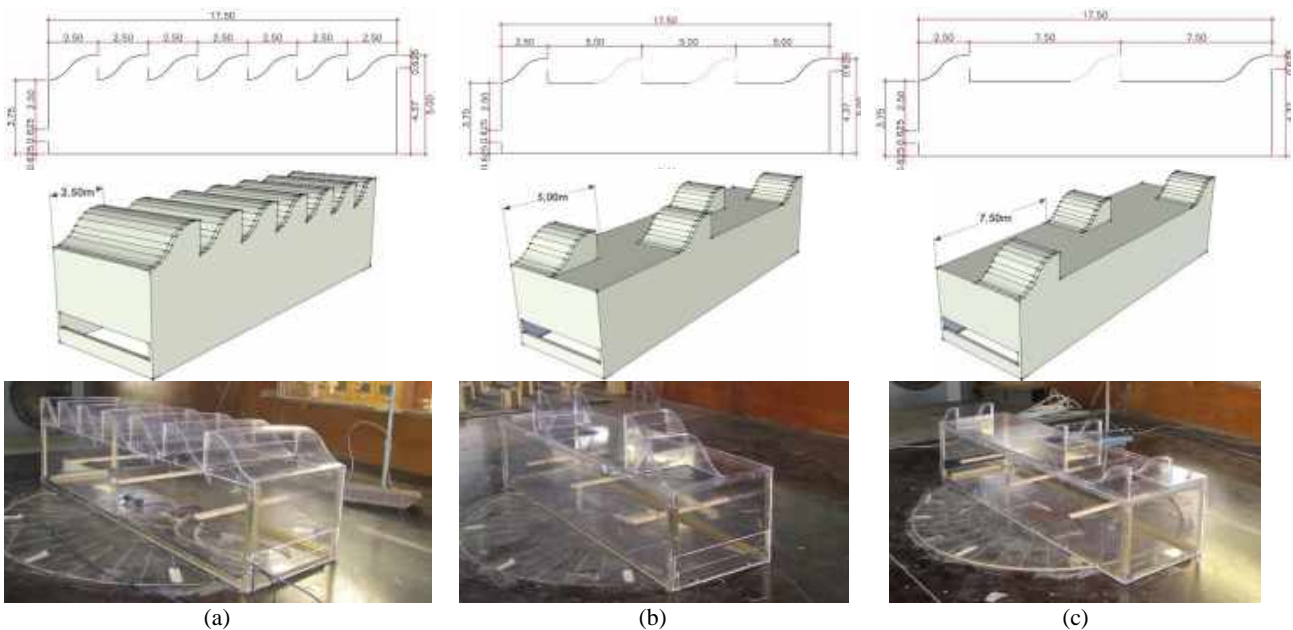


Figura 3 – Planta-baixa, perspectiva e maquete do (a) caso de referência, (b) caso 01 e (c) caso 02

3.2. Simulação computacional

Para a realização das simulações computacionais, utilizou-se o *software* baseado na Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) *Ansys CFX 12.0*, amplamente utilizado em pesquisas de análise de fluidos na área de arquitetura, apresentando boa coerência dos resultados com os fenômenos físicos.

3.2.1. Construção dos modelos

A preparação do modelo tridimensional ocorreu no *software* AutoCAD, de modo que os objetos sejam compreendidos como sólidos no Icem CFX. Todas as janelas foram consideradas abertas. Externamente ao edifício, tem-se um volume sem aberturas, representando o domínio que o fluido escoará. Optou-se pelo

domínio retangular, cujas dimensões seguiram as recomendações de Harries (2005): distâncias a barlavento e nas laterais = $5H$ (25m); altura = $6H$ (30m); distância a sotavento = $15H$ (75m), sendo $H=5m$, que corresponde à altura do modelo (Figura 4). A máxima área de obstrução do edifício no domínio foi de 1,5% no sentido perpendicular ao fluxo, atendendo a sugestão de Cost (2004), cujo valor não deve exceder 3%.

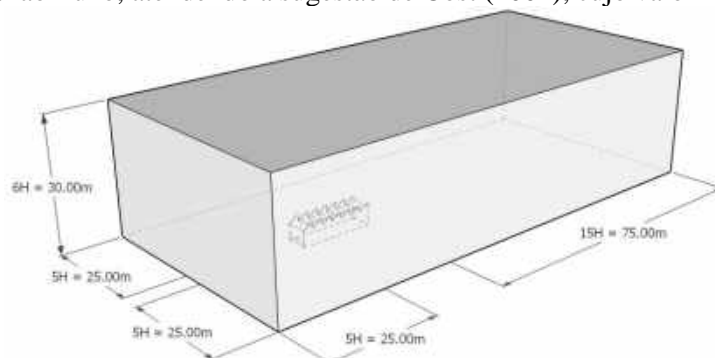


Figura 4 – Dimensões adotadas para o domínio retangular

3.2.2. Geração da malha computacional

Para todas as simulações utilizou-se uma malha estruturada tetraédrica cujos parâmetros globais adotados foram: *maximum element size* de 16; *natural size* de 4; *cells in gap* de 8. Após a definição desses parâmetros, a malha foi refinada nas superfícies do edifício em um valor de 0,20m, a fim de melhorar a visualização do fluxo de ar no espaço interno e no entorno imediato ao edifício. A malha foi gerada, determinando a quantidade de elementos e o tempo de processamento das simulações (Figuras 5 e 6).

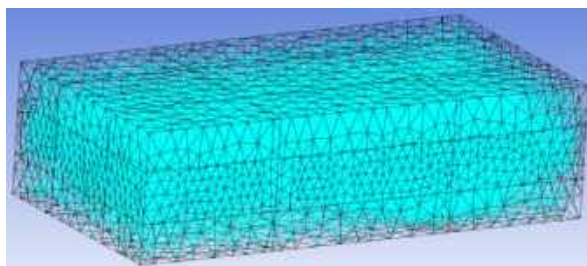


Figura 5 – Vista geral da malha para o Caso de referência

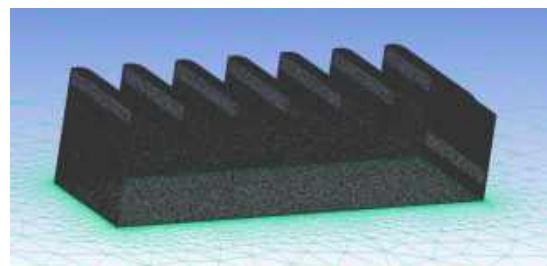


Figura 6 – Detalhe da malha gerada para o Caso de referência

3.2.3. Definição das condições iniciais e de contorno

As condições do domínio foram semelhantes às de um túnel de vento: entrada como INLET e a saída como OUTLET; as laterais e o teto como WALL *free slip* (sem atrito) e; o piso e as superfícies do edifício como WALL *no slip* (com atrito). A simulação decorreu em regime permanente, na condição isotérmica a $25^{\circ}C$, com o modelo K-epsilon de turbulência (*first order* – intensidade de turbulência média: 5%) e parâmetros de controle de convergência de 600 iterações e nível de convergência MÁX de 10^{-4} . Todos os modelos foram ensaiados para os *sheds* como extratores de ar (0°) e captadores de ar (180°).

3.3. Ensaio no túnel de vento

A etapa experimental foi composta por ensaios no túnel de vento, a fim de verificar a confiabilidade dos resultados adquiridos nas simulações computacionais. Esses experimentos foram subdivididos em 2 fases, que são detalhadas a seguir: 1. Construção do modelo físico reduzido e 2. Ensaio qualitativo para a visualização da trajetória do fluxo de ar no edifício, através da técnica de fios de lã.

Essa etapa foi realizada no Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas do Departamento de Estruturas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) em Lisboa, Portugal. O túnel é de circuito aberto, cuja câmara de ensaios possui 3,10m x 2m de seção e 9m de comprimento, contendo 6 ventiladores axiais com potência de 11kw e velocidade de 1500rpm cada, sendo que 2 deles possuem variador de frequência. Cada ventilador produz vento na seção do túnel com velocidade em torno de 3,5 m/s.

¹ Valores definidos após a realização de testes de sensibilidade da qualidade da malha computacional (LUKIANCHUKI, 2015)

3.3.1. Construção dos modelos físicos reduzidos

Nesse artigo serão apresentados apenas os testes qualitativos no túnel de vento. No entanto, como na pesquisa de Lukiantchuki (2015) também foram realizados ensaios quantitativos, a construção do modelo físico ocorreu em função de uma avaliação interativa entre os requisitos do modelo e as limitações impostas pelo túnel de vento (dimensões da câmara de ensaios), considerando a escala conveniente e os princípios de semelhança. O modelo deve ser rígido e reproduzir, o mais fielmente possível, a geometria do edifício e seus detalhes. O modelo físico ensaiado no túnel de vento pode obstruir até um máximo de 7% da seção do túnel, ou seja, para o túnel do LNEC, deve possuir uma área máxima de 0,44m² na seção transversal. A partir dessas recomendações, os modelos físicos reduzidos foram construídos na escala 1:15 (Tabela 1).

Tabela 1 – Informações dos modelos analisados

Dados do modelo	Dimensões originais (m)	Dimensões do modelo (m)
Altura	5,00	0,33
Largura	5,00	0,33
Comprimento	17,50	1,66
Área frontal (modelo a 0° e 180°)	25 m ²	0,11 m ²
Escala		1:15
Obstrução da seção de ensaio 0° e 180°		1,85%
Obstrução da seção de ensaio 90°		6,48%
Obstrução da seção de ensaio 45° e 135°		7%

Os modelos foram planejados no *software* AutoCAD e exportados para o programa *laserwork*, que prepara os desenhos de forma compatível com a cortadora a laser ULS do IAU/USP. O uso dessa máquina além de acelerar essa etapa, possibilita uma alta precisão no corte de peças curvas, como os *sheds*. O material utilizado para a construção das maquetes foi o acrílico com espessura de 6 mm visando à construção de modelos rígidos e facilitar a visualização dos fios de lã durante os ensaios qualitativos. As peças foram coladas e os modelos foram reforçados com canaletas de alumínio nas laterais e parafusados para permanecerem resistentes durante os ensaios, uma vez que os modelos possuíam grandes dimensões. Como foram testadas três configurações diferentes da disposição dos *sheds*, construiu-se uma base comum a todos os modelos, onde somente as coberturas foram trocadas a cada novo ensaio.

3.3.2. Ensaios qualitativos

O uso de técnicas de visualização do escoamento nos modelos físicos reduzidos auxilia a interpretação dos resultados, possibilitando, por exemplo, a identificação de zonas de alta vorticidade e de separação do escoamento. Com o objetivo de verificar a direção dos vetores de velocidade gerados pelo CFX nas aberturas dos modelos analisados, foram instalados, nas aberturas de entrada e saída de ar, fios de lã que constituem uma maneira didática para visualizar a uniformidade e o sentido do escoamento nos modelos.

Na linha média das aberturas dos modelos foram fixados, na posição horizontal, fios de *nylon* transparente onde foram amarrados fios de lã coloridos na posição vertical, com 2mm de espessura e aproximadamente 3 cm de comprimento cada. O espaçamento entre eles foi em torno de 3cm, totalizando 6 fios de lã por abertura (Figura 7). Uma câmara digital na marca Canon, modelo SX20IS, com tripé foi instalada dentro do túnel para a filmagem dos ensaios. Posteriormente, utilizou-se o *software Free vídeo to JPG converter*, um programa gratuito que transforma automaticamente as cenas dos vídeos desses ensaios qualitativos em imagens sequenciais no formato JPG, o que possibilitou a captura de todos os detalhes dos ensaios. Posteriormente, as imagens convertidas foram tratadas e analisadas em conjunto com os resultados qualitativos extraídos através das simulações computacionais.



Figura 7 – Ensaios qualitativos com fios de lã dispostos na vertical no caso de referência

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

O comportamento da ventilação natural em edifícios com geometrias complexas, como *sheds* na cobertura, não apresenta uma predição simples, demandando o uso de ferramentas mais complexas como simulações computacionais e ensaios experimentais. Isso auxilia o entendimento do sentido da trajetória do fluxo de ar nas aberturas de entrada e saída de ar e, conseqüentemente, do desempenho da ventilação natural nos ambientes internos. A Figura 8 apresenta os valores médios dos coeficientes de pressão (C_p) nas aberturas de entrada e saída de ar dos modelos analisados, para os *sheds* extratores e captadores de ar, visando um melhor embasamento nos resultados qualitativos. Esses valores foram obtidos por meio das simulações CFD.

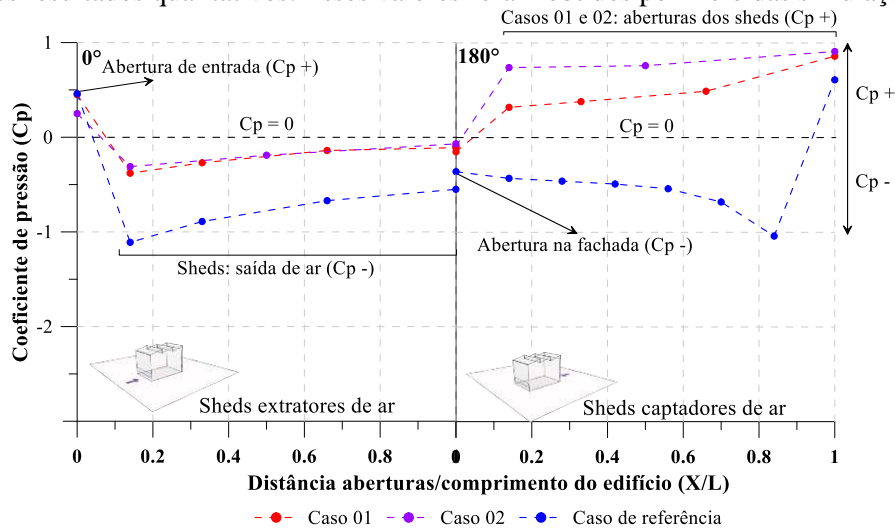


Figura 8 – Coeficientes de pressão (C_p) médios nas aberturas de entrada e saída de ar dos três casos analisados, para os *sheds* extratores (0°) e captadores (180°) de ar.

Para os três casos, na abertura a barlavento tem-se a entrada do ar e nos *sheds*, devido à sombra de vento que é ocasionada pelo efeito de separação da corrente de ar que tangencia a cobertura, tem-se a formação de uma zona de sombra (Figura 9) com a queda de pressão em todas as aberturas dos *sheds* ($C_p -$) que provoca a extração de ar (Figura 8), conforme constatado em Lukiantchuki *et al.* (2019). No entanto, embora os valores de C_p sejam negativos nas aberturas dos *sheds*, nota-se na análise qualitativa uma recirculação de ar que geram vórtices nos *sheds*, com entrada e saída de ar nessa região das aberturas (Figura 9). Esse efeito é visível nas simulações pela direção alternada dos vetores de velocidade e direção do fluxo de ar e nos experimentos pela oscilação constante dos fios de lã, ressaltando uma boa concordância na representação das duas ferramentas analisadas (Figura 10).

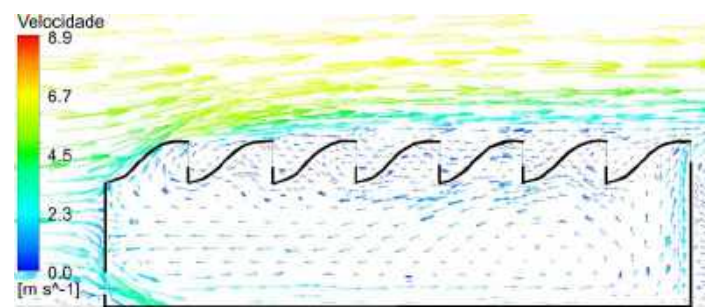


Figura 9 – Corte do caso de referência para os *sheds* extratores de ar (0°).

Nos casos 01 e 02, como no caso de referência, tem-se o efeito de sombra nos *sheds* posteriores, com a queda de pressão ($C_p -$) nas aberturas e, assim, a extração de ar. No entanto, nesses casos nota-se que a diferença dos C_p s entre as aberturas de entrada e saída de ar é menor, devido à redução das aberturas de saída de ar, o que torna a extração pela cobertura menos intensa (Figura 8). Qualitativamente, novamente nota-se uma semelhança entre os resultados das simulações com os experimentais, onde ambos indicam a entrada de ar pela abertura mais baixa e a extração do ar pelos *sheds*, não registrando a recirculação do fluxo de ar nos *sheds*, com entrada e saída de ar (Figuras 11 e 12), como no caso de referência.

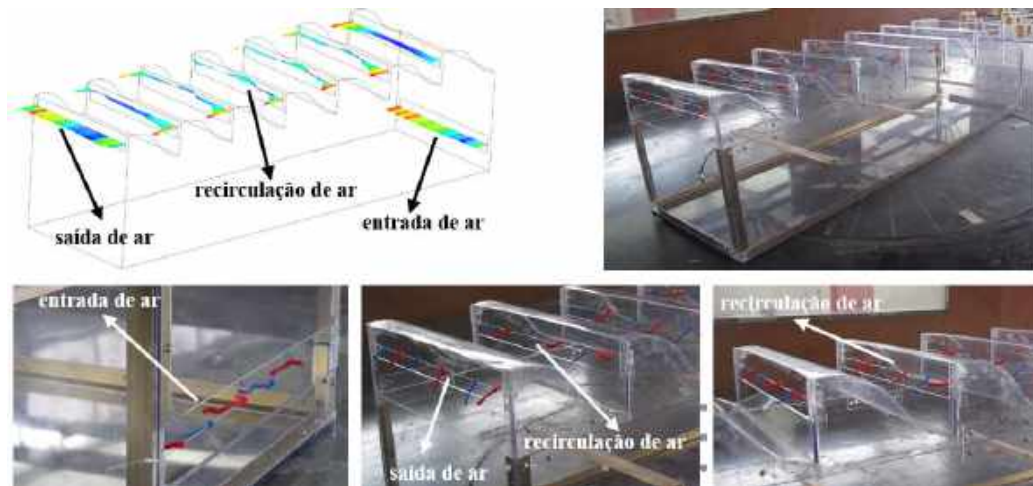


Figura 10 – Resultados numérico e experimental do fluxo de ar nas aberturas do caso de referência para o ângulo de 0°

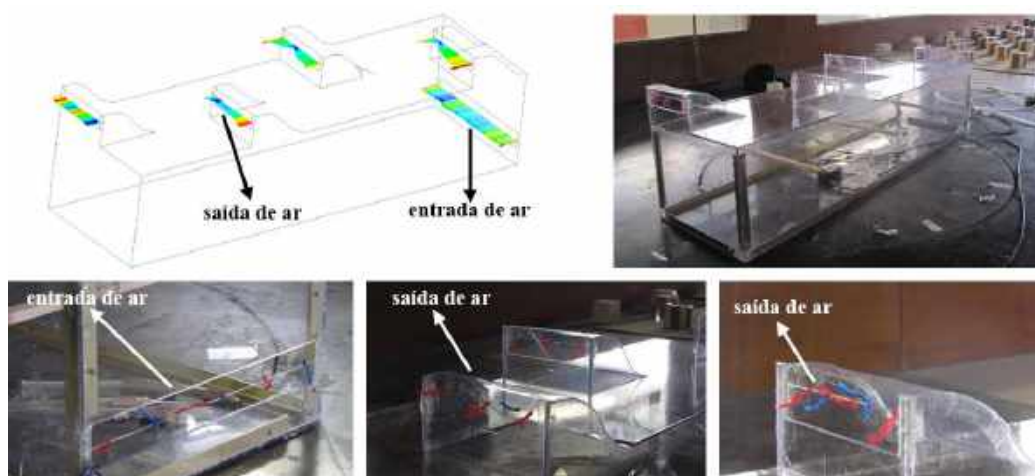


Figura 11 – Resultados numérico e experimental do fluxo de ar nas aberturas do caso 01 para o ângulo de 0°

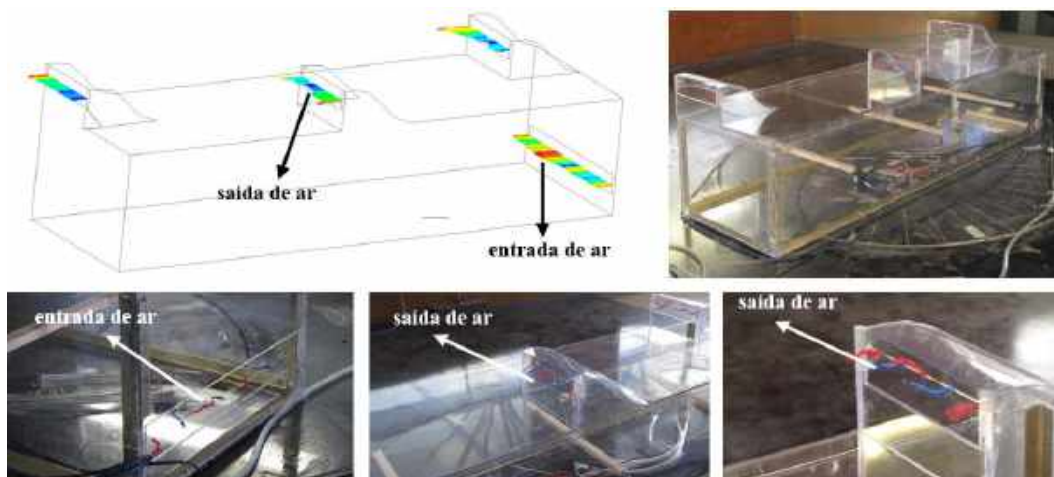


Figura 12 – Resultados numérico e experimental do fluxo de ar nas aberturas do caso 02 para o ângulo de 0°

No caso dos *sheds* como captadores de ar (180°), para o caso de referência, devido à configuração da cobertura (distância entre os *sheds* de 2,50m e a disposição alinhada desses dispositivos) tem-se a captação de ar apenas pelo primeiro *shed*. Nota-se novamente o efeito de separação com altas velocidades, devido ao fluxo de ar que tangencia o *shed* a barlavento, formando uma grande sombra de vento nos *sheds* posteriores (Figura 14) com valores negativos de Cps e, conseqüentemente, a extração do ar (Figura 8). Diante disso, o fluxo de ar interno apresenta baixas velocidades, uma vez que o ar captado é extraído pelos outros dispositivos, não atingindo a zona de ocupação dos usuários (LUKIANCHUKI, *et al.*, 2019). Esse desempenho é notado qualitativamente pela direção dos vetores no sentido da entrada do ar apenas no primeiro *shed*, com recirculação e formação de vórtices nos *sheds* posteriores e, conseqüentemente, a extração de ar. Na abertura a sotavento, o sentido dos vetores e dos fios de lã também indica a saída da corrente de ar (Figura 15).

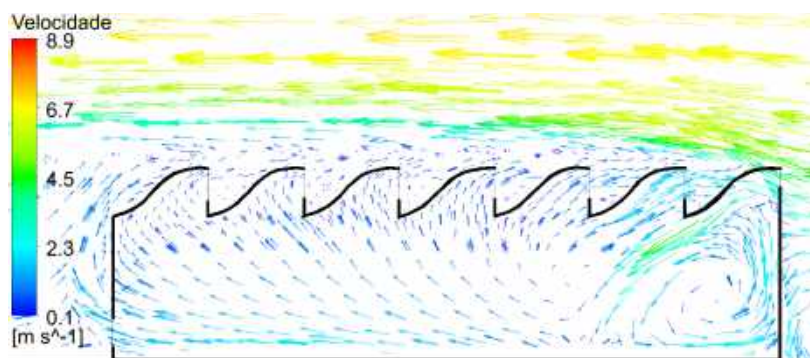


Figura 14 – Corte do caso de referência para os sheds extratores de ar (180°).

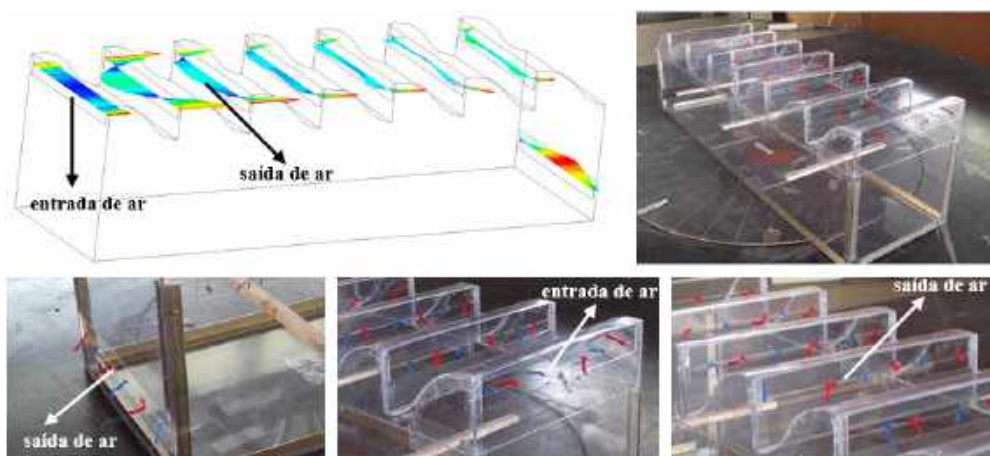


Figura 15 - Resultados numérico e experimental do sentido do fluxo de ar nas aberturas do caso de referência para 180°

Com o desalinhamento e o aumento da distância entre os *sheds* para 5,00m (caso 01) e 7,50m (caso 02), nota-se a entrada de ar por todos os dispositivos (Figuras 17 e 18). Embora tenha ocorrido uma redução da área das aberturas a barlavento, diminui-se a sombra de vento gerada nos *sheds* posteriores e, conseqüentemente, têm-se valores de Cps positivos, aumentando a efetividade das aberturas para a entrada de ar (Figura 8). O arranjo escalonado dos *sheds* (casos 01 e 02) diminui a área de sombra na região a sotavento quando comparado à disposição alinhada desses dispositivos do caso de referência. Nota-se que a distância entre eles também interfere na configuração do fluxo de ar ao redor dos edifícios, pois nos casos 01 e 02, ao contrário do caso de referência cujo fluxo de ar que tangencia a cobertura é desviado para cima, a corrente de ar é recuperada e direcionada para o ambiente interno através dos *sheds* posteriores, incrementando a ventilação natural no espaço interno (Figura 16). Para a situação de captação, claramente nota-se que a configuração dos *sheds* afastados entre si e desalinhados apresenta um melhor desempenho, do que a configuração em que estão mais próximos entre si e alinhados (LUKIANCHUKI, *et al.*, 2019). Novamente as duas ferramentas apresentam uma boa concordância qualitativa, representando a entrada de ar por todos os *sheds* e a saída pela abertura a sotavento (Figuras 17 e 18).

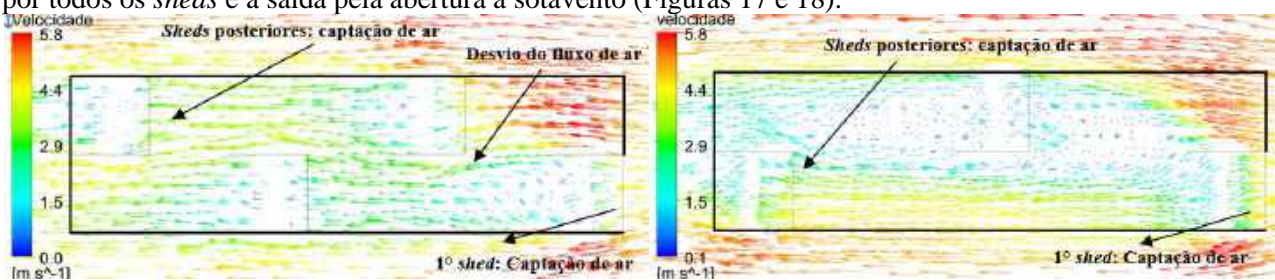


Figura 16: Vetores de velocidade no ponto médio das aberturas dos *sheds* para os casos 01 e 02, respectivamente, para 180°

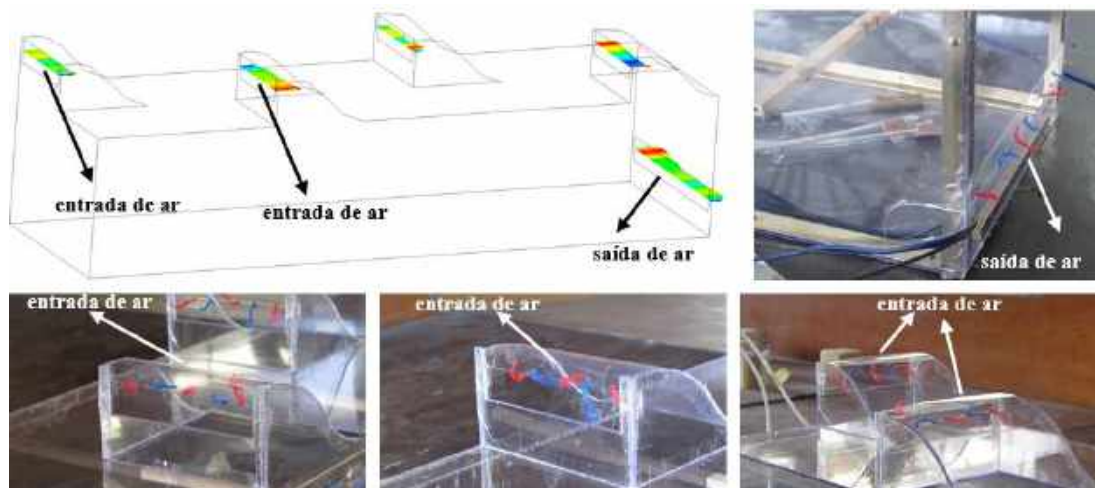


Figura 17 - Resultados numérico e experimental do sentido do fluxo de ar nas aberturas do caso 01 para o ângulo de 180°

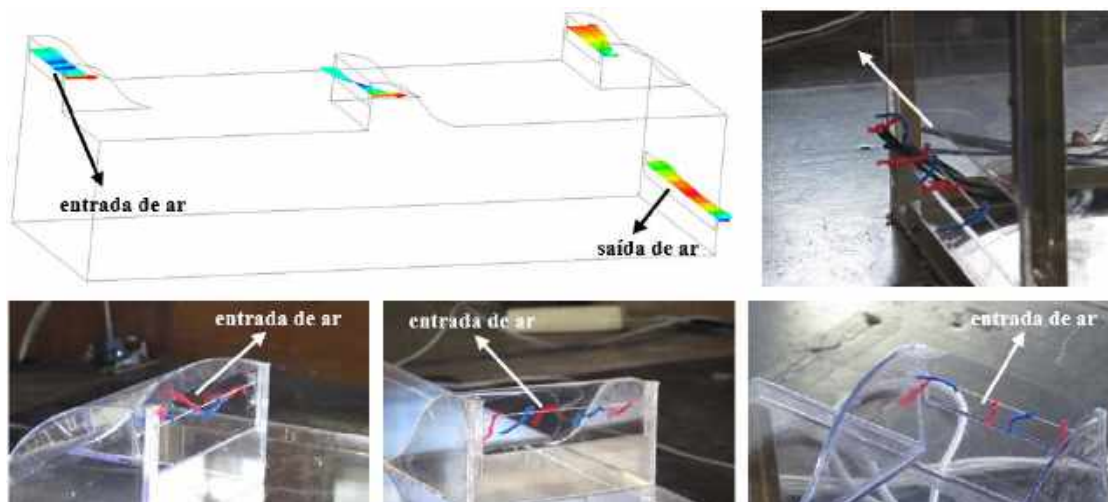


Figura 18 - Resultados numérico e experimental do sentido do fluxo de ar nas aberturas do caso 02 para o ângulo de 180°

5. CONCLUSÕES

O desempenho de edifícios com geometrias complexas, como *sheds* na cobertura, demanda o uso de diversas ferramentas para a predição do desempenho da ventilação natural, como as simulações CFD e ensaios no túnel de vento. Para os *sheds* funcionando como extratores de ar, em todos os casos analisados tem-se se a entrada do ar na abertura a barlavento e a extração de ar pelos *sheds*. No entanto, no caso de referência tem-se uma recirculação de ar que geram vórtices nos *sheds*, com entrada e saída de ar nessa região das aberturas, o que não foi registrado nos casos 01 e 02. Para esses modelos, devido à redução das aberturas de saída de ar, a extração do ar pela cobertura é menos intensa. Já para os *sheds* como captadores de ar, no caso de referência tem-se a captação de ar apenas pelo primeiro *shed*, ocorrendo nos *sheds* posteriores a extração do ar. Com o desalinhamento e o aumento da distância entre os *sheds*, embora tenha ocorrido uma redução da área das aberturas a barlavento, tem-se a entrada de ar por todos os dispositivos na cobertura, tornando a ventilação natural mais efetiva. Assim, conclui-se que os *sheds* na cobertura apresentaram uma sensibilidade significativa com relação à variação da distância e do alinhamento entre eles para a situação de extração e captação de ar.

Com relação aos testes de verificação da simulação computacional com o túnel de vento, os resultados qualitativos apresentaram uma concordância adequada. Nota-se, através das imagens que fenomenologicamente as duas ferramentas apresentaram a mesma tendência, o que comprova seus desempenhos similares e coerentes, para os dois ângulos de incidência dos ventos externos analisados. Por fim, ressalta-se que é fundamental a realização de testes de verificação desses procedimentos como forma de obter um melhor entendimento do desempenho da ventilação natural e aumentar a confiabilidade dos resultados numéricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BURNETT, J.; BOJIC, M.; YIK, F. Wind-induced pressure at external surfaces of a high-rise residential building in Hong Kong. **Building and Environment**, v. 40: 765-777, 2005.
- 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.
- CHEN, Q. Ventilation performance prediction for buildings: a method overview and recent applications. **Building and environment**, 44 (2009) 848-858. 2009.
- CHENG, C. K.; LAM, K. M.; DEMIRBILEK, F. N. Effects of building wall arrangements on wind-induced ventilation through the refuge floor of a tall building. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 96: 656-664, 2008
- COST. Cost Action 14: **Recommendations on the use of CFD in predicting pedestrian wind environment**. Bruxelas: COST, 2004.
- COSTA, L. **Aproveitamento da ventilação natural nas habitações: um estudo de caso na cidade de Aracaju – SE**. Dissertação (mestrado em tecnologia da arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- CÓSTOLA, D.; ALUCCI, M. Aplicação de CFD para o cálculo de coeficientes de pressão externos nas aberturas de um edifício. **Revista ambiente construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 145-158, 2011.
- FORTUNA, A. O. **Técnicas computacionais para dinâmica dos fluidos: conceitos básicos e aplicações**. São Paulo: EDUSP, 2000.
- HARRIES, A. Notas de aula. In: **Workshop: CFX – FAU/USP**. São Paulo, 2005.
- HIRANO, T.; KATO, S.; MURAKAMI, S.; IKAGA, T.; SHIRAIISHI, Y. A study on a porous residential building model in hot and humid regions: Part 1 – the natural ventilation performance and the cooling load reduction effect of the building model. **Building and Environment**, v. 41: 21-32, 2006.
- LAM, K. M.; LEUNG, M. Y. H.; ZHAO, J. G. Interference effects on wind loading of a row of closely spaced tal building. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 96: 562-583, 2008.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. Rio de Janeiro: PROCEL, 2014. 3° ed.
- LÔBO, D. G. F.; BITTENCOURT, L. S. A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos. **Revista ambiente construído**, Porto Alegre, V.3, n.2, p.57-67, abr./jun. 2003.
- LUKIANCHUKI, M. A. Sheds extratores e captadores de ar para indução da ventilação natural em edificações. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2015.
- LUKIANCHUKI, M. A.; SHIMOMURA, A. P.; MARQUES DA SILVA, F.; CARAM, R. M. *Sheds* extratores e captadores de ar: influência da geometria e da dimensão das aberturas no desempenho da ventilação natural nas edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 83-104, jan./mar. 2016.
- LUKIANCHUKI, M. A.; SHIMOMURA, A. P.; MARQUES DA SILVA, F.; CARAM, R. M. Wind tunnel and CFD analysis of Wind-induced natural ventilation in shed roof building: impact of alignment and distance between sheds. **International Journal of Ventilation**, v. 18, p. 1-22, may. 2019.
- MORAES, J. M. Da S.; LABAKI, L. C. cfd COMO FERRAMENTA PARA SIMULAR VENTILAÇÃO NATURAL INTERNA POR AÇÃO DOS VENTOS: ESTUDOS DE CASO EM TIPOLOGIAS VERTICAIS DO “Programa Minha Casa, Minha Vida”. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 223-244, jan./mar. 2017.
- PERÉN, J. I.; HOOF, T.; LEITE, B. C. C.; BLOCKEN, B. Impact of eaves on cross-ventilation of a generic isolated leeward sawtooth roof building: Windward eaves, leeward eaves and eaves inclination. **Building and Environment** 2015; 92: 578-590.
- RAMPONI, R.; BLOCKEN, B. CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters. **Building and Environment**, v. 53, p. 34-48, 2012
- SHEN, X.; ZHANG, G.; BJERG, B. Comparison of different methods for estimating ventilation rates through wind driven ventilated buildings. **Energy and Building**, v. 54: 297-306, 2012.
- TOLEDO, A.; PEREIRA, F. O. R. Métodos e técnicas de visualização para a avaliação da ventilação natural pela ação do vento em edifícios. In: NUTAU Nucleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, 2004, São Paulo. **Anais...**, 2004.