

## XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção  
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

# RENOVAÇÃO DE AR EM EDIFÍCIOS: COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE CÁLCULO<sup>1</sup>

LEITE, Renan C. V. (1); FROTA, Anésia B. (2)

(1) UNIFOR, e-mail: renancid@bol.com.br; (2) FAUUSP, e-mail: arfrota@uol.com.br

### RESUMO

A previsão do comportamento das correntes de ar e o cálculo das taxas de renovação do ar em edifícios são fundamentais ao conforto térmico. Entretanto, a previsão do potencial da ventilação natural para atender a estes requisitos torna necessário o cálculo do fluxo de ar que atravessa as aberturas em um determinado período. Os métodos de cálculo variam desde algoritmos simplificados a ensaios com modelos físicos, modelos embutidos em programas de desempenho térmico, até códigos CFD. Comumente, são necessários dados nem sempre disponíveis ou adequados para os cálculos envolvendo a ventilação natural. Neste estudo, dois dos mais comuns algoritmos disponíveis para previsão das taxas de renovação do ar são comparados a um método simplificado e ao modelo CFD para calcular a vazão de ar em um apartamento utilizado como modelo. As principais dificuldades na obtenção de dados em cada método, variações nas metodologias utilizadas e as diferenças entre os resultados das simulações e modelos analíticos são discutidas. Os resultados demonstram que as diferenças entre os dados interferem significativamente nos valores calculados. Avanços na determinação das taxas de renovação do ar são fundamentais para avaliações mais adequadas do desempenho térmico no ambiente construído.

**Palavras-chave:** Vazão de ar. Métodos de cálculo. Simulação computacional.

### ABSTRACT

*Predicting the air movement and airflow rates in buildings is essential for reaching thermal comfort. However, predicting natural ventilation potential to meet this requirements makes necessary airflow calculation that crosses the openings in a given period. The calculation methods vary since simplified algorithms to physical models, thermal performance built-in models to CFD codes. Commonly, often unavailable nor inappropriate data is required for the calculus involving natural ventilation. In this research, two of the most applied and available algorithms to predict air changes rate are compared to a simplified method and a CFD model to calculate airflow in an apartment used as a model. Important difficulties in obtaining data for each applied method and the differences between simulation and analytical model results are discussed. Results indicate that the differences between data significantly interfere in calculated values. Advances in determining air changes rates are fundamental to more precise thermal performance evaluations in the built environment.*

**Keywords:** Airflow rate. Calculation methods. Computational simulation.

---

<sup>1</sup> LEITE, Renan C. V.; FROTA, Anésia B. Renovação de ar em edifícios: comparação entre métodos de cálculo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das características específicas dos fluxos que atravessam um determinado ambiente, assim como o cálculo da vazão de ar em edifícios, torna-se necessário por razões de conforto térmico e pelo potencial de economia de energia (SWAMI; CHANDRA, 1987; ALLARD, 1998). Tais aspectos são fundamentais diante das atuais necessidades que se colocam de sustentabilidade no ambiente construído.

Existem diversas formas de analisar a ventilação natural e prever as taxas de renovação do ar em ambientes internos. Os métodos variam desde algoritmos simplificados que resultam de métodos empíricos (AYNSLEY; MELBOURNE; VICKERY, 1977; SWAMI; CHANDRA, 1987; BS 5925, 1991; ASHRAE, 2001), alguns teóricos presentes em Liddament (1986), até medições precisas que utilizam gás traçador em ensaios com modelos físicos, passando pelos modelos zonais embutidos em programas de desempenho térmico, até a complexidade dos avançados códigos CFD, que reúnem as equações de conservação de massa, momento e energia, baseadas na solução da equação de transporte. De acordo com a técnica utilizada aumentam a complexidade dos procedimentos envolvidos e a precisão dos resultados, elevando os custos para sua execução (ETHERIDGE, SANDBERG, 1996; CÓSTOLA, 2006; MATOS, 2007).

No entanto, a despeito da maior complexidade de um método em relação a outro, invariavelmente são necessários dados de entrada para os cálculos de ventilação natural. A área de abertura e o coeficiente de descarga, o nível de obstrução do entorno e a rugosidade do meio, a velocidade do ar e a pressão sobre as aberturas são algumas das informações necessárias. Considerando que a área de abertura e o coeficiente de descarga são definidos por meio de decisões arquitetônicas baseadas em fatores como custos, tecnologias construtivas disponíveis, plástica do edifício, e que, ao mesmo tempo, o projetista tem pouca ou nenhuma interferência sobre o entorno, conclui-se que a maior dificuldade consiste em definir o campo de pressões devido ao vento incidente sobre as fachadas da edificação e a velocidade dos fluxos, uma vez que estas sofrem alterações mais significativas em função da forma urbana (CÓSTOLA, 2006).

Diante dos obstáculos que envolvem a previsão do campo de pressões devido ao vento, determinante para as taxas de vazão de ar, programas de cálculo do desempenho térmico de edificações como o TAS ou o *DesignBuilder (EnergyPlus)*, entre outros, comumente solicitam ao projetista a quantidade de renovações do ar por hora. Os valores são estimados com base em cálculos a partir de equações simplificadas ou algoritmos que levam em consideração uma variedade de parâmetros.

Nesse sentido, o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem na previsão das taxas de renovação do ar em ambientes é fundamental para uma avaliação mais precisa do desempenho térmico de edificações. Neste estudo, toma-se um apartamento utilizado em Silva & Saraiva (2005) para comparar os resultados de vazão de ar calculados através de dois

conhecidos métodos a um modelo simplificado e à técnica CFD.

## 1.1 Objetivo

Avalia-se, neste trabalho, a precisão de um modelo CFD em relação a três diferentes métodos para determinar a vazão de ar em edificações.

Algumas das dificuldades de cada método, as variações nas metodologias utilizadas e as diferenças entre os resultados da simulação e modelos analíticos são discutidas ao longo do estudo comparativo.

## 2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

O fluxo de ar que atravessa um espaço pode ser provocado pela diferença de temperatura entre o ambiente interno e o externo (efeito chaminé), pela pressão devido ao vento incidente sobre as aberturas do edifício ou pelo efeito combinado de ambos (FROTA; SCHIFFER, 2003; YARKE, 2005).

A influência da temperatura sobre o potencial do efeito chaminé é significativa, sendo associada às características de dimensão e posição das aberturas. Entretanto, na região quente e úmida, e, sobretudo em edificações residenciais, onde as cargas térmicas internas são reduzidas e cujas características construtivas comumente determinam pequenas diferenças entre a temperatura externa e interna, sua influência é reduzida.

Em relação à ventilação natural devido à ação do vento, a distribuição da pressão com que o ar incide sobre as superfícies do edifício constitui um dos parâmetros de maior importância para a ventilação natural. Ao criar zonas de alta e baixa pressão nas diferentes faces do edifício, o vento induz o movimento do ar em seu interior e esses fluxos dependem essencialmente dos coeficientes de pressão nas fachadas. A presença de aberturas nas fachadas pode alterar estruturalmente esse comportamento.

A troca do volume de ar de um ambiente ao longo do tempo em função da ventilação natural depende de uma série de fatores. Além das características determinadas pelo entorno como nível de rugosidade e intensidade de turbulência, a quantidade de aberturas para a passagem do ar, suas dimensões, características, orientação em relação ao vento incidente e a posição que ocupam nas fachadas exercem influência significativa nas taxas de vazão de ar.

Diversos métodos para estimar a vazão de ar estão disponíveis em literatura, variando em função da quantidade de informações solicitadas.

O modelo proposto pela *British Standard 5925* (1991) para determinar a vazão de ar é um dos mais difundidos para prever a quantidade de trocas de ar que ocorrem em um intervalo de tempo. Aynsley; Melbourne; Vickery (1977) também apresentam uma equação para calcular a vazão de ar em ambientes. Este modelo é classificado por Bittencourt & Cândido (2005) como uma opção de precisão e simplicidade.

Um método simplificado foi proposto por Silva & Saraiva (2005) para estimar as taxas de vazão de ar. Neste modelo, assume-se que o percurso do ar

através dos ambientes pode ser determinado e compara os ambientes internos a dutos interconectados segundo configurações em série ou em paralelo. Os autores examinaram o fluxo de ar através de cinco aberturas de um edifício residencial utilizado para avaliar o modelo proposto por eles, determinando a vazão de ar devido à diferença de pressão sobre as fachadas.

A Dinâmica de Fluidos Computacional, ou CFD (*Computational Fluid Dynamics*), pode ser aplicada a diferentes campos do conhecimento. Os códigos CFD têm reconhecida precisão em comparação aos modelos empíricos, maior agilidade e menores custos em relação ao túnel de vento.

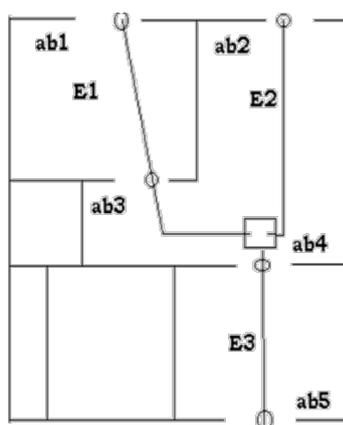
### 3 MÉTODO

No presente artigo, tomou-se o mesmo apartamento apresentado em Silva & Saraiva (2005) para comparar com os valores de vazão de ar obtidos através dos modelos BRE (1978), Aynsley; Melbourne; Vickery (1977) e o método simplificado de Silva & Saraiva (2005) com simulações CFD.

O apartamento possui três zonas onde o ar flui (E1, E2 e E3), estando fechados outros dois ambientes, onde não há correntes de ar. As aberturas ab1 e ab2 recebem os fluxos, estando as aberturas ab1 e ab3 em série, cuja resultante é uma ramificação em paralelo com a ab2 e, a partir daí, a equivalente em série com ab4-ab5, como descreve a figura 1.

O cálculo da ventilação interna inclui a perda de carga ( $\zeta$ ) que ocorre em fluxos de ar e que tem peso considerável nos cálculos, como discutido mais adiante.

Figura 1 – Distribuição das aberturas e fluxos no apartamento.



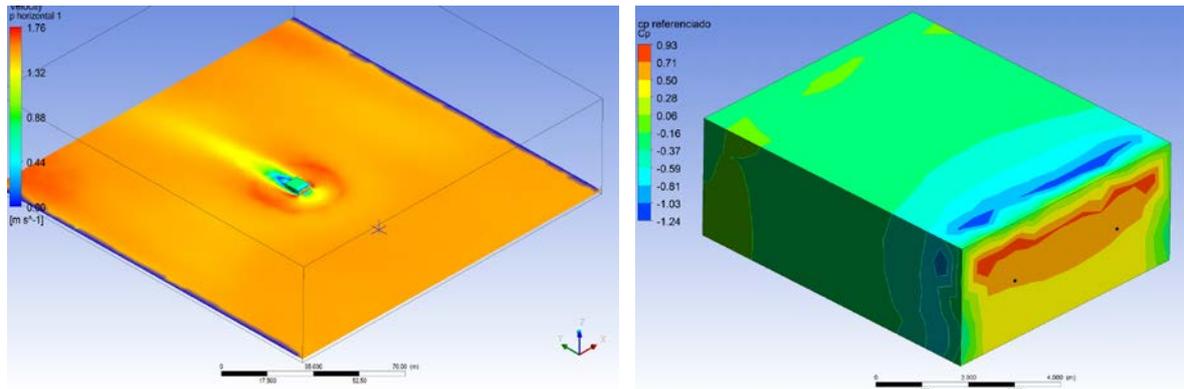
Fonte: Silva & Saraiva (2005)

Utilizou-se o programa ANSYS CFX 13.0. As simulações tridimensionais foram consideradas em regime estacionário, incompressível e turbulento. O modelo K-epsilon padrão foi utilizado. A pressão de referência foi de 1 atm e a temperatura de 25 °C.

Inicialmente foi simulado o fluxo no ambiente externo do apartamento

utilizado para determinar valores de  $C_p$  e velocidade dos fluxos a serem aplicados às equações 1 e 4. O edifício foi inserido em um domínio regular, onde o perfil de vento seguiu o recomendado pela equação 3 (BRE, 1978), como demonstra a figura 2. Como resultados foram gerados dados de  $C_p$  para o centro das aberturas, destacadas pelos pontos na figura 2. Estes valores foram tomados nas simulações internas para cálculo da vazão de ar.

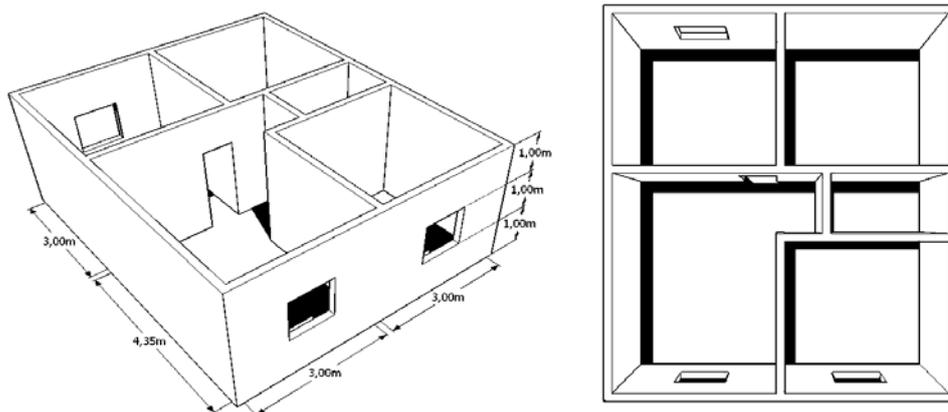
Figura 2 – Fluxos no exterior do apartamento e dados de  $C_p$  no centro das aberturas



Fonte: o autor

As aberturas estavam desprovidas de esquadrias e as correntes entram nos dois ambientes a barlavento, saindo pela única abertura a sotavento.

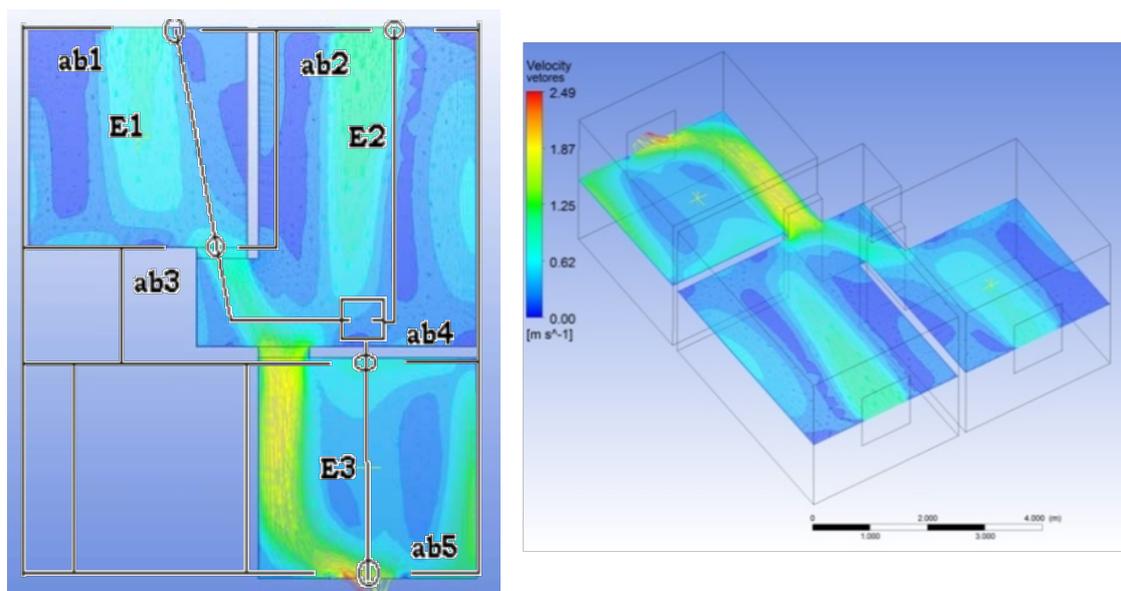
Figura 3 – Perspectiva e vista superior do Edifício utilizado por Silva & Saraiva (2005)



Fonte: Adaptado de Silva & Saraiva (2005)

A partir dos dados de pressão sobre as aberturas calculados em CFD foi realizada a simulação da ventilação no interior da edificação, indicando a vazão de ar. A figura 4 apresenta o esquema de fluxos definido por Silva & Saraiva sobreposto à simulação das correntes de ar.

Figura 4 – Esquema de aberturas e Simulação CFD dos fluxos no apartamento



Fonte: o autor

Faz-se fundamental ressaltar, no entanto, que a determinação da pressão incidente sobre as aberturas, realizada separando-se a simulação dos fluxos externos da análise da ventilação no interior do edifício, aspecto fundamental a esta metodologia, somente foi possível diante da baixa porosidade da fachada do edifício utilizado, calculada em 11,5% de área de aberturas em relação à área total de fachada. Este valor deve ser considerado na aplicação desta metodologia em outras situações, sob pena de produzir resultados imprecisos.

Bittencourt & Candido (2005) concordam que valores de  $C_p$  obtidos com base em ensaios em túnel de vento utilizando modelos selados são confiáveis apenas para edifícios com porosidade até 20%, uma vez que os fluxos que atravessam edificações altamente porosas tendem a reduzir as pressões nas suas fachadas. Seifert et al (2006) advertem o limite de 25%.

Uma vez garantida tal condição à simulação, os mesmos dados de  $C_p$  obtidos no modelo CFD foram inseridos em planilha eletrônica contendo tanto o método simplificado empreendido por Silva & Saraiva (2005) como os algoritmos BS 5925 (1991) (equação 1) e de Aynsley; Melbourne; Vickery (1977) (equação 4). Os resultados foram comparados em termos da vazão de ar obtida em cada caso.

A equação 1 é descrita como parte do método BS 5925.

$$\Phi = C_d \cdot A_0 \cdot V \cdot \sqrt{C_{pe} - C_{ps}} \quad (1)$$

O valor do coeficiente de perda de carga ( $C_d$ ) depende da dissipação da energia devido à pressão exercida pelo vento. Seu valor varia em função de características da abertura tais como geometria e a forma como esta

interage com o fluxo de ar. O coeficiente traduz o potencial de energia efetivamente convertido em ventilação natural pela abertura, variando de 0 a 1. Frota & Schiffer (2003) sugerem o valor de 0,6 para Cd, correspondendo às características de aberturas comumente encontradas.

Quanto ao valor da área de abertura equivalente ( $A_0$ ), este é calculado a partir da equação 2. Diferentemente da soma aritmética realizada na presença de aberturas em paralelo, para os casos onde existam aberturas em série é necessária a adoção do inverso dos quadrados entre a área de entrada do ar ( $A_e$ ) e a área de saída do ar ( $A_s$ ).

$$A_0 = 1/A_e^2 + 1/A_s^2 \quad (2)$$

O valor da velocidade do ar ( $V$ ) é obtido a partir da relação entre a velocidade do ar na estação meteorológica ( $V_0$ ) e corrigido em função da altura da abertura e devido à influência do entorno. Algumas equações para o perfil logaritmico do vento podem ser utilizadas. A equação proposta pelo BRE (1978) estabelece coeficientes  $k$  e  $a$  em função do terreno. Neste caso, foram adotados os valores de 0,35 e 0,25, respectivamente, representando um entorno urbano. Ainda, para o caso de incidências de vento oblíquas em relação à abertura, a velocidade do ar para a altura desejada ( $z$ ) deve ser multiplicada pelo cosseno do ângulo formado entre a direção do fluxo e a normal à fachada ( $\Theta$ ), como indica a equação 3.

$$V = (V_0 \cdot k \cdot z^a) \cdot \cos \Theta \quad (3)$$

O coeficiente de pressão ( $C_p$ ) é um parâmetro empírico e adimensional que caracteriza o comportamento do fluxo de ar. Este representa as alterações na pressão induzidas pelo movimento do ar e que são causadas por influência das características do entorno sobre o vento local (LIDDAMENT, 1986; ALLARD, 1998). Os valores de  $C_p$  modificam-se de acordo com a direção e intensidade do vento, a forma, as dimensões e a orientação da superfície, os obstáculos do entorno e a rugosidade do meio. Assim, cada ponto da fachada que sofre pressão do vento apresenta valores específicos de  $C_p$  de acordo para cada direção de vento. A raiz da diferença entre os coeficientes de pressão na abertura de entrada ( $C_{pe}$ ) e de saída ( $C_{ps}$ ) constitui o elemento de maior complexidade nesta equação.

O algoritmo proposto por Aynsley; Melbourne; Vickery (1977) é apresentado na equação 4.

$$\Phi = \sqrt{(C_{p1} - C_{pn+1}) \cdot V_z^2 / 1 / Cd^2 \cdot A_1^2 + Cd_2^2 \cdot A_2^2 + \dots + Cd_n^2 \cdot A_n^2} \quad (4)$$

Onde:

$C_{p1}$  é o coeficiente de pressão na abertura de entrada

$C_{pn+1}$  é o coeficiente de pressão na abertura de entrada

$V_z$  é a velocidade do ar na altura da cobertura da edificação

Cd1 é o coeficiente de perda de carga da abertura de entrada

Cd2 é o coeficiente de perda de carga para aberturas internas

Cdn é o coeficiente de perda de carga da abertura de saída

A1 é a área de abertura da entrada de ar

A2 é a área de abertura interna

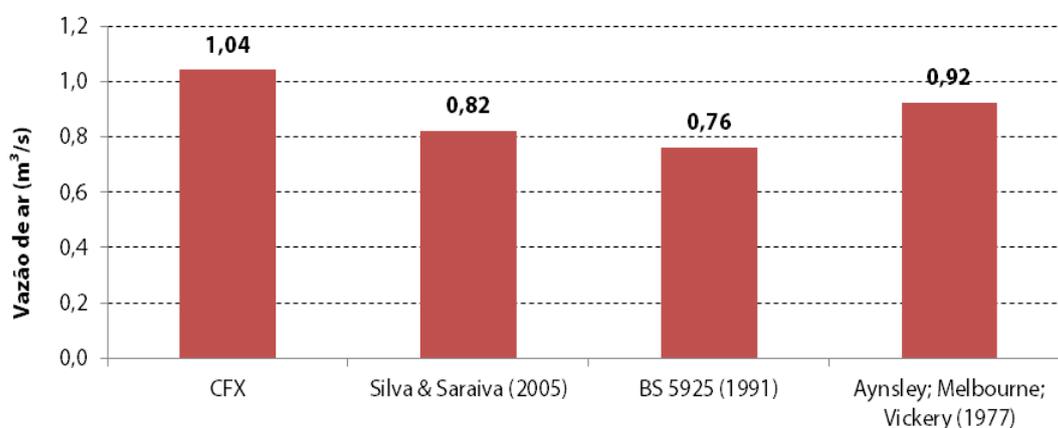
An é a área de abertura da saída de ar

Os valores de Cd são tomados como valores recomendados em literatura (0,6 para janelas comuns). A maior dificuldade, novamente, reside na determinação de Cp para as aberturas que funcionam como entradas e àquelas que constituem saídas de ar.

#### 4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A vazão de ar foi de 1,04 m<sup>3</sup>/s para a simulação CFD, valor 27% superior ao determinado pelo método de Silva & Saraiva (2005). A vazão de ar simulada pelo ANSYS CFX foi 37% mais elevada em relação ao algoritmo apresentado em BS 5925 (1991) e 13% superior ao valor previsto com base no método descrito por Aynsley; Melbourne; Vickery (1977), como resume o gráfico 1.

Gráfico 1 – Comparação da vazão de ar obtida pelos quatro métodos avaliados



Fonte: o autor

A maior vazão de ar obtida através do método de simulação computacional em relação aos demais encontra respaldo em Seifert et al (2006). Em suas investigações simulando a ventilação natural em edifícios, os autores ressaltam que os valores calculados através de CFD foram superiores ao método simplificado nas três configurações testadas.

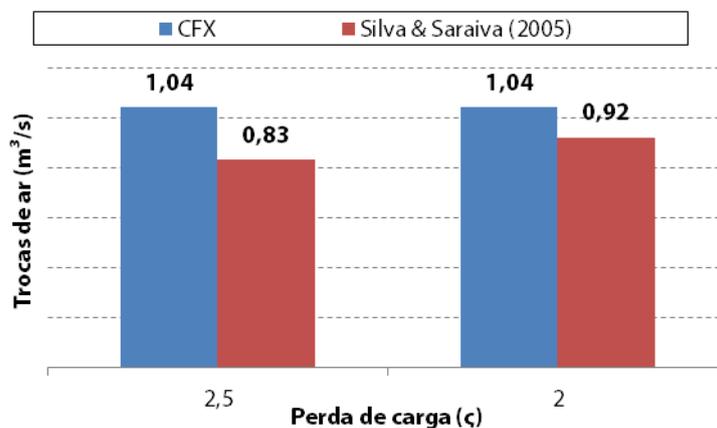
As simulações realizadas por Asfour & Gadi (2007) apresentam diferenças de 3,3% a 7,5% comparadas a um modelo analítico. Ressalta-se, porém, a utilização de modelos demasiadamente simples e de área reduzida, dotados de duas aberturas apenas, o que contribui para a aproximação dos resultados.

Na presente pesquisa, as diferenças entre os algoritmos podem ser explicadas, em parte, pela complexidade conferida aos fluxos desde a sua entrada na edificação, cujas aberturas situam-se em paralelo, passando, posteriormente, por duas configurações em série, o que, possivelmente, compromete a abrangência de tais modelos. Analisa-se, especificamente, a diferença entre o método simplificado proposto por Silva & Saraiva (2005) e os resultados obtidos com a simulação.

A diferença entre os métodos foi interpretada como aceitável pelo professor Dr. Jorge Gil Saraiva, coautor do modelo simplificado. O pesquisador apontou o peso que a perda de carga ( $\zeta$ ) assume no cálculo. Em Silva & Saraiva (2005) o valor é de 2.5 e foi estimado a partir de ajustes realizados em análises utilizando apartamentos reais. Nestas foi contabilizado o efeito do mobiliário e dos equipamentos presentes nestes ambientes, que contribuem para as perdas adicionais que ocorrem na passagem dos fluxos. No caso do método numérico, existem problemas associados à passagem do ar pelas aberturas, somente contornável com a adoção de malhas extremamente pequenas ou determinando condições de fronteira adicionais específicas para considerar tais efeitos.

A simples redução no valor da perda de carga para 2, mais adequado para o caso das simulações em CFD, uma vez que inexistem obstáculos internos, representa uma aproximação maior na vazão de ar entre os dois métodos, resultando em uma diferença de 13%, como indicado pelo gráfico 2.

Gráfico 2 – Peso da variável perda de carga ( $\zeta$ ) nos cálculos de vazão de ar



Fonte: o autor

Com a correção realizada, o valor obtido pelo método simplificado se aproxima ainda mais do resultado da simulação. Ao mesmo tempo, alcança os 0,92 m³/s do modelo de Aynsley; Melbourne; Vickery (1977). Assim, dois modelos tem diferença de pouco mais de 10% do valor alcançado pelo modelo CFD.

Em relação ao modelo BS 5925 (1991), a redução da perda de carga de 0,6 para 0,65 eleva o valor para 0,82 m³/s. Ao se reduzir ainda mais sua influência, situando o valor em 0,8 obtém-se o valor de 1,02 m³/s, muito

próximo do obtido no modelo CFD. Concorde-se, assim, com as observações de Cóstola; Alucci; Etheridge (2009) quanto ao peso que assume o valor determinado como perda de carga, pois este afeta linearmente a quantidade de energia disponível na abertura e seu valor possui mesma importância que o da área da abertura.

Muito embora se verifique a proximidade dos resultados para o caso da edificação avaliada, faz-se necessário destacar a incapacidade de algoritmos simplificados em abranger situações mais complexas encontradas em edificações reais, nas quais há um número maior de aberturas e ambientes.

Dispostos em diferentes configurações, tais situações levam a uma maior complexidade no comportamento dos fluxos diante das pressões que se colocam às fachadas. No caso do método proposto por Silva & Saraiva (2005), sua aplicação somente é possível quando é possível definir, *a priori*, o percurso dos fluxos no interior dos ambientes, aspecto nem sempre viável ou facilmente reconhecido. Nestes casos, comumente chega-se a um número de variáveis (velocidade do escoamento em cada fronteira) impraticável para o cálculo simplificado, o que torna fundamental a simulação computacional.

Acrescente-se, ainda, o campo de pressões sobre as fachadas em ambientes urbanos, reiterando a necessidade de determinar a vazão de ar a partir de um modelo numérico capaz de lidar com tal nível de complexidade.

## 5 CONCLUSÕES

Awbi (1999) adverte que algumas simplificações são necessárias como forma de estabelecer algumas relações ou tornar possível prever de taxas de vazão de ar. Entre estas, assume-se que o escoamento do ar acontece de maneira constante ao longo do tempo e em condições isotérmicas, características comuns em ensaios em túnel de vento ou análises fluidodinâmicas estacionárias, porém bastante diferentes do que se verifica na realidade.

Conclui-se que, mesmo diante das diferenças obtidas entre a técnica CFD e os algoritmos difundidos em literatura, é possível compreender que a simplificação destes pode determinar valores mais baixos.

Adicionalmente, além da precisão da simulação em relação aos demais modelos, destaca-se a necessidade em se incorporar a técnica é devido à complexidade vivenciada em edificações reais quanto ao número de aberturas e o desconhecimento do percurso das correntes de ar, o que reforça o papel dos modelos CFD como forma de determinar adequadamente a taxa de vazão de ar em edificações.

Destaca-se, ainda, a possibilidade de realização da metodologia de simulação CFD em duas etapas distintas, separando a análise do vento da avaliação dos fluxos internos e, mais especificamente, calculando a

quantidade de renovações do ar.

As medidas aqui apontadas visam evitar a inserção de valores equivocados ou mesmo o uso de bibliotecas padrão embutidas em programas de cálculo da performance termoenérgica de edifícios. Estes foram desenvolvidos em outros países, com técnicas construtivas diferentes, mais isoladas em grande parte dos casos, apresentando taxas de vazão de ar mais baixas em comparação à realidade brasileira, cujos edifícios possuem baixo nível de isolamento, com trocas de ar que ocorrem de maneira mais livre.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo suporte financeiro.

### REFERÊNCIAS

ALLARD, F. **Natural ventilation in buildings: a design handbook**. James & James, 1998.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING (ASHRAE). **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta, 2001.

ASFOUR, O. S.; GADI, M. B. **A comparison between CFD and network models for predicting wind-driven ventilation in buildings**. Building and Environment 42: 4079 – 4085, 2007.

AWBI, H. B. **Ventilation of buildings**. London: E & FN Spon, 1991.

AYNSLEY, R.; MELBOURNE, W.; VICKERY, B. **Architectural aerodynamics**. Applied Science Publishers Ltd., Londres, 1977.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: EDUFAL, 2005.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **Principles of natural ventilation**. BRE Digest n. 210. BRE, Garston, 1978 apud Bittencourt & Cândido (2005).

BRITISH STANDARD INSTITUTE. **BSI – BS 5925: Code of Practice for Ventilation Principles and Designing for Natural Ventilation**. Londres, 1991.

CÓSTOLA, D. **Ventilação por ação do vento no edifício: procedimentos para quantificação**. (Dissertação). Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Tecnologia da Arquitetura. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

CÓSTOLA, C.; ALUCCI, M. P.; ETHERIDGE, D. **Caracterização de janelas no cálculo de vazão por meio do coeficiente de descarga**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Natal. Anais... Natal: ANTAC, 2009.

ETHERIDGE D. W.; SANDBERG, M. **Building Ventilation: theory & measurement**. Chichester: John Wiley & Sons, 1996.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. Editora Nobel, 7 ed., São Paulo, 2003.

LIDDAMENT, M. W. **Air infiltration calculation techniques - an applications guide**. Grã-Bretanha: The Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC), 1986.

MATOS, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural**. (Dissertação). Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

SEIFERT, J.; LI, Y.; AXLEY, J.; ROSLER, M. **Calculation of wind-driven cross ventilation in buildings with large openings**. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. V. 94, 2006.

SILVA, F. M.; SARAIVA, J. A. G. **A simplified model to estimate natural ventilation flows for simple dwelling layouts**. International Journal of Ventilation 3, 353 – 362, 2005.

SWAMI, M. V.; CHANDRA, S. **Procedures for calculating natural ventilation airflow rates in buildings**. ASHRAE Research Project 448 – RP. Florida, 1987.

YARKE, E. **Ventilación natural de edificios**. 1 ed. Buenos Aires: Nobuko, 2005.