

## ANÁLISE DO ESCOAMENTO DA VENTILAÇÃO NATURAL EM PROJETOS DE GRANDES RECINTOS COM AUXÍLIO DE FERRAMENTAS CFD

**Caio F. e Silva (1); Gustavo de L. Sales (2); Juliana S. Andrade (3)**

(1) Dr, Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, caiofreds@gmail.com

(2) M.Sc, Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, gustavoluna@unb.br, Universidade de Brasília, *Campus* Universitário Darcy Ribeiro, Brasília - CEP 70910-900, Tel.: (61) 3107-7454

(3) M.Sc., Arquiteta, Quali-A Conforto Ambiental e Eficiência Energética, j.andrade@quali-a.com

### RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar o escoamento da ventilação natural em um estudo de caso, evidenciando a importância do uso de ferramentas de dinâmica dos fluidos computacional (CFD) no projeto de grandes recintos que buscam a climatização por meios passivos. A análise foi feita em relação aos aspectos de velocidade de escoamento do fluxo interno de ar e do número de renovações de ar por hora, tendo como estudo de caso o projeto da nave central de uma edificação religiosa - Paróquia Sagrada Família -, localizada na cidade de Brasília-DF, com aproximadamente 5.400 m<sup>3</sup> de volume. Para as simulações computacionais foi utilizado o *software* ANSYS – CFX, ferramenta que possibilitou a análise de cenários de alteração do projeto considerando diferentes percentuais e posicionamentos de abertura. Os resultados apontaram para o um potencial de aumento de 60% no número de renovações de ar por hora, além da melhor distribuição do fluxo de ar interno por meio da implementação de diretrizes corretivas no projeto. Os resultados comprovam a importância da utilização de ferramentas CFD no desenvolvimento de projetos de grandes recintos, onde a peculiaridade do volume interno, do percentual de abertura, do comportamento do fluxo interno do ar, entre outras variáveis, torna necessário um estudo mais detalhado para auxiliar o projetista na identificação de diretrizes e soluções.

Palavras-chave: simulação computacional, CFD, ventilação natural, grandes recintos.

### ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the flow of natural ventilation in a case study. This work highlights the importance of using computational fluid dynamics tools (CFD) in the design of large environments seeking passive cooling. The analysis is for the points of flow velocity of the internal airflow and air changes per hour number. The analysis environment is a religious building – Sagrada Família Parish - located in the city of Brasilia-DF, with approximately 5,400 m<sup>3</sup> volume. We used the ANSYS - CFX for computer simulation. The tool enables the analysis of change scenarios project considering different percentages and opening positions. The results show the potential for a 60% increase in the number of renewals of air per hour, in addition to better distribution of internal airflow through the implementation of guidelines in the project. The results show the importance of using CFD tools in development projects of large enclosures, where a more detailed study assists the designer in identifying projective guidelines.

Keywords: computer simulation, CFD, natural ventilation, large environments.

## 1. INTRODUÇÃO

Os benefícios da incorporação da ventilação natural ao projeto arquitetônico são abordados em estudos clássicos sobre a interação entre o clima e o espaço construído, com rebatimento direto nas condições de conforto térmico no interior do edifício (ALLARD e GHIAUS, 2006; HUMPHREYS e NICOL, 2002; SANTAMOURIS e WOUTERS, 2006). Além disso, aspectos inerentes ao escoamento do fluxo de ar – sua velocidade, volume, e distribuição no ambiente – são variáveis fundamentais do conforto térmico adaptativo (ASHRAE 55, 2013). No Brasil, de acordo com Firmino *et al.* (1998), a ventilação natural pode ser utilizada como estratégia de projeto para favorecer níveis adequados de conforto térmico em 89% do território nacional. Além disso, a ventilação natural desempenha um importante papel para a obtenção da qualidade interna do ar – tratando-se de um recurso natural potencializador da eficiência energética e da sustentabilidade na arquitetura.

Diante dessa considerável importância, o uso da ventilação natural como estratégia para o favorecimento do conforto térmico passivo deve ser estudado desde as etapas iniciais do projeto arquitetônico, dada as diversas variáveis climáticas, arquitetônicas e antrópicas envolvidas. Especificamente em grandes recintos, Heiselberget *al.* (1998) aborda a dificuldade ainda maior de se projetar sistemas de climatização – seja natural ou artificial – em relação a recintos menores (mais comuns). Os autores destacam que - além da pouca ou nenhuma experiência da maioria dos profissionais em projetar salas de concerto, grandes auditórios, shopping centers, centros esportivos, por exemplo -, nesse tipo de recinto apresenta particularidades com impacto direto na forma de quantificar a ventilação, como as numerosas fontes de poluentes do ar e de geração de calor.

Portanto, é fundamental a utilização de ferramentas que auxiliem o projetista na quantificação de aspectos básicos relacionados à ventilação natural de recintos, como é o caso da velocidade de escoamento do fluxo de ar e o número de renovações de ar por hora (ACH). A velocidade de escoamento do fluxo de ar no interior dos recintos está diretamente relacionada com o potencial de favorecimento do conforto térmico passivo, considerando o efeito resfriativo do ar em movimento sobre a pele (GIVONI, 1994; BRAGER e de DEAR, 2001; HUMPHREYS e NICOL, 2002). Por outro lado, o ACH é um importante parâmetro para indicar se o ambiente projetado poderá atender aos níveis adequados de qualidade interna do ar (SAMET, 1991; SPENGLER *et al.*, 2001; SEPPANEN, 2006).

Para a análise desses aspectos ainda na etapa de desenvolvimento de projeto, programas computacionais se configuram como a melhor ferramenta a ser utilizada, tendo em vista a praticidade de elaboração de cenários e rapidez para obtenção de resultados e identificação de soluções. Em termos de ventilação natural, Chen (2009) destaca que as ferramentas computacionais de dinâmica dos fluidos (CFD) são as mais utilizadas, uma vez que resolvem as equações de conservação (considerando diversos modelos de aproximação); apresentam graficamente os resultados de distribuição dos campos de pressão, velocidade, diferença de temperatura; e possuem um nível de precisão próximo ao ideal. Dessa forma, a aplicação desse tipo de ferramenta é importante para se estudar soluções que otimizem o projeto de grandes recintos que buscam sistemas passivos de climatização dada a complexidade e relevância do tema.

O estudo de caso utilizado nesse trabalho é o projeto da Paróquia Park Way, a ser construída na cidade de Brasília-DF (Figura 1), para o qual foi feita a consultoria pela empresa Quali-A Conforto Ambiental e Eficiência Energética, encubada no parque tecnológico da Universidade de Brasília, para ajustar o projeto as premissas de conforto térmico passivo e eficiência energética. A aplicação da ferramenta de simulação CFD foi solicitada para a identificação de possíveis melhorias e ajusta do projeto de ventilação natural ao projeto de isolamento sonoro – encontrando um equilíbrio entre o aumento do percentual de abertura e o sistema de isolamento das mesmas.

A importância do uso de softwares CFD recai na análise e quantificação do número de renovações de ar por hora (aspectos relacionado à salubridade do recinto) e a distribuição e velocidade do fluxo interno de ar (aspectos relacionado ao conforto térmico) em cenários de melhoria do projeto original. Sabe-se que para a comprovação do nível de conforto outros parâmetros também devem ser analisados.

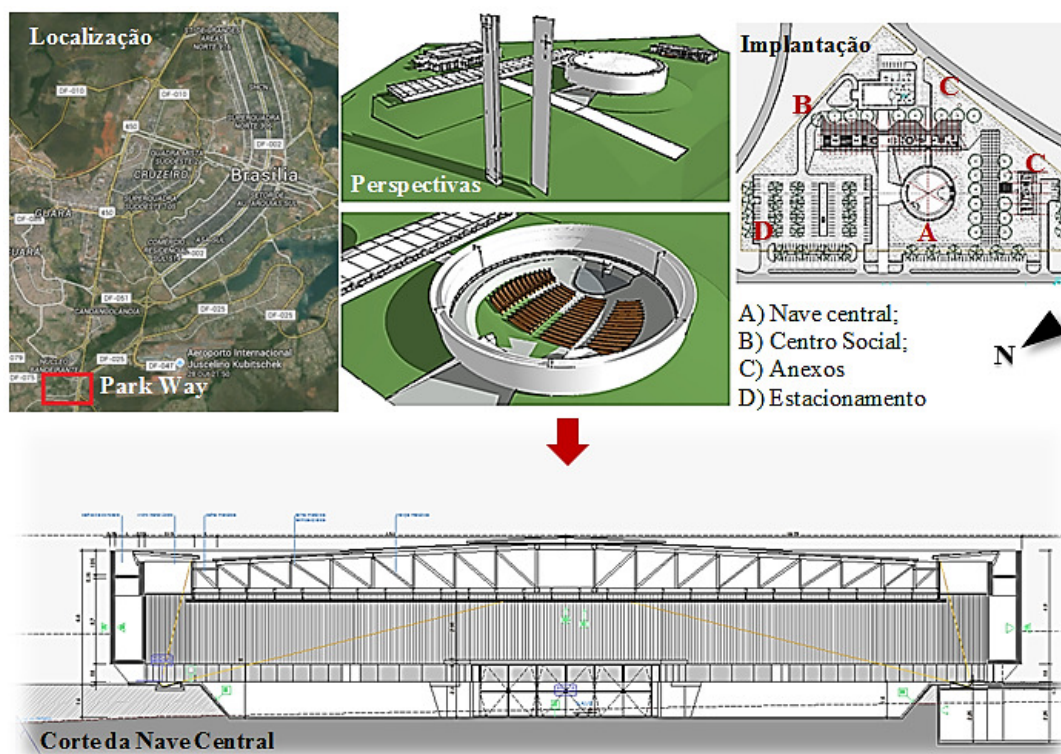


Figura 1 – Projeto da Paróquia Sagrada Família, destaque para a nave central (objeto do estudo).

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é analisar o escoamento da ventilação natural no projeto da nave central paróquia Sagrada Família, localizada no bairro ParkWay da cidade de Brasília-DF – que foi utilizado como estudo de caso –, para evidenciar a importância do uso de ferramentas de dinâmica dos fluidos computacional (CFD) no desenvolvimento de projetos de grandes recintos que buscam a climatização por meios passivos.

## 3. MÉTODO

### 3.1. Coleta de dados

A partir do projeto original do estudo de caso, foi realizado um levantamento dos dados climáticos relacionados à incidência do fluxo de ar no local de implantação da edificação - em termos de frequência de ocorrência e velocidades predominantes do vento. Tendo como base as normais climatológicas fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (série de dados medidos entre 1961 a 1990), a cidade do Brasília possui orientação Leste como sendo a direção predominante do vento ao longo do ano, com média de intensidade de  $2,56 \text{ m/s}^{-1}$ , como mostra a Tabela 1. Com nestes dados, adotou-se a orientação Leste para determinar o sentido de escoamento do fluxo de ar nas simulações (de Leste/ $90^\circ$  para Oeste/ $270^\circ$ ); bem como a velocidade inicial do fluxo de  $1 \text{ m/s}$  – velocidade aproximada considerando o fator de correção (0,31) indicado por Swami e Chandra (1987) para entornos urbanos com grandes elementos de obstrução do vento. Por fim, foram levantadas as seguintes informações de projeto: localização e dimensão das aberturas, implantação do projeto em relação a incidência dos ventos, volume interno da nave central, quantidade de lugares/ocupação do recinto.

Tabela 01- Normais climatológicas do INMET (1961 – 1990) para a cidade de Brasília. Disponível em:  
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>

Direção predominante do vento (anual) / Intensidade do vento (m/s <sup>1</sup> ) ao longo do ano												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
C / 2,5	C / 2,4	C / 2,2	C / 2,3	E / 2,4	E / 2,6	E / 2,8	E / 3,0	C / 2,8	C / 2,5	C / 2,3	E / 2,5	<b>2,56</b>

C = calmo

E = Leste

Assim, buscou-se favorecer o maior fluxo de ar na zona habitável, tendo em vista o conforto térmico passivo e a qualidade interna do ar, seguindo os valores listados abaixo:

- Mínimo de 0,6 renovações de ar por hora para assegurar a salubridade do ambiente;
- Entre 100 e 200 renovações de ar por hora para assegurar conforto térmico;
- Velocidade interna do ar entre 0,5m/s e 2,5m/s.

Logo após a análise do projeto, foi iniciada a construção do modelo que corresponde ao cenário 0 (projeto original), apresentado na figura 2. Importante destacar que algumas simplificações no projeto foram feitas, para as simulações, tendo em vista o melhor estudo da influência das aberturas sobre o comportamento da ventilação natural no interior do edifício, são elas:

1. Modelo sem os demais volumes do entorno (constituintes do projeto);
2. Representação dos vãos das janelas (sem detalhamento de esquadrias);
3. Representação do vão da porta de entrada principal;
4. Consideração do fluxo laminar constante do vento (correspondente à 1m/s – semelhante à média no Distrito Federal);
5. Orientação predominantes do vento para o Distrito Federal - (de acordo com dados do INMET).

### 3.2. Desenvolvimento dos Modelos / Cenários de Simulação

Após os levantamentos iniciais foram desenvolvidos cenários de simulação representando possíveis melhorias de projeto para o favorecimento do escoamento do fluxo de ar no recinto. Por fim, foram determinados os três cenários descritos abaixo e ilustrados na figura 2:

- C.1 – cenário representando o projeto original,
- C.2 - cenário com 3,7% a mais de aberturas por meio da inserção de forro perfurado
- C.3 - cenário com 37% a mais de abertura por meio de combinação do forro perfurado com aberturas de captação de vento no telhado.

A quantificação do percentual de aumento das aberturas, e o seu posicionamento no edifício, foi estabelecido com base na demanda o escritório de arquitetura contratado para o desenvolvimento do projeto. Assim, quanto maior a taxa de abertura (cenário C.3) maiores seriam as implicações no projeto de isolamento sonoro – justificando, portanto, a simulação de um cenário intermediário (C.2).

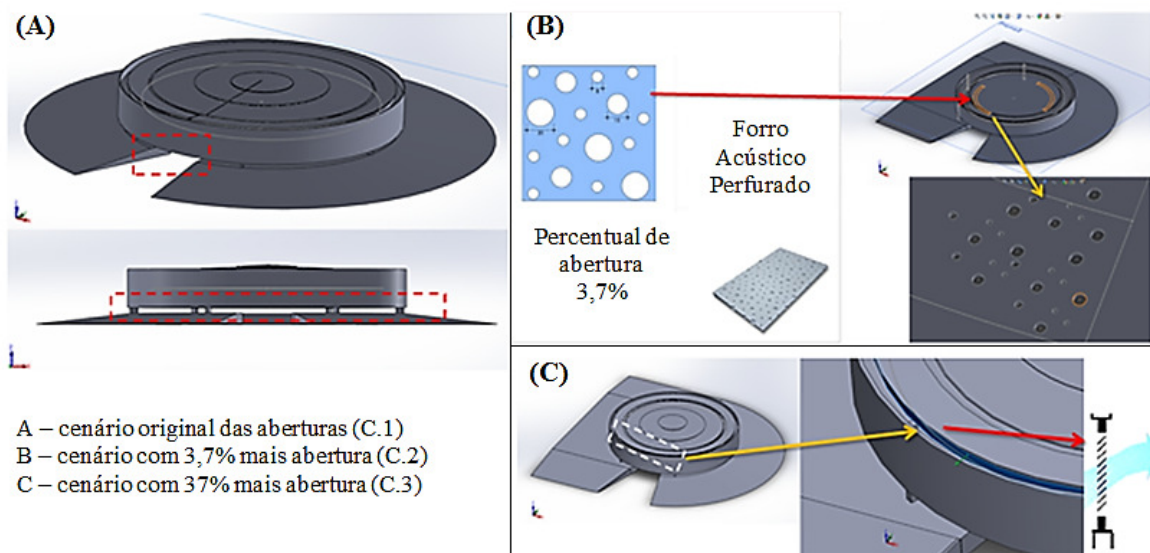


Figura 2 – Informações dos cenários considerados para as simulações.

Para a simulação dos cenários foi utilizado o programa de modelagem CAD Solidworks, para a elaboração dos sólidos tridimensionais, que posteriormente foram importados para o programa de dinâmica dos fluidos computacional ANSYS – CFX. Nos modelos CFD é desenvolvido um “domínio”, que corresponde a um volume espacial no qual o sólido tridimensional é inserido. No domínio também são inseridas as condições de contorno do problema/estudo, como por exemplo: sentido do escoamento e o tipo de fluido que se deseja analisar, velocidade e temperatura do fluido, pressões exercidas nas paredes do domínio, modelos de resolução/correção das equações de conservação de massa, momento e energia no formato das equações de Navier-Stokes<sup>1</sup>, entre outros. Para a resolução das equações de conservação – equações fundamentais da dinâmica dos fluidos – o domínio é subdividido em volumes menores, formando um malha de análise. Quanto maior o número de subdivisões (subvolumes), ou seja, quanto mais a malha for refinada nas regiões de interesse, maior será a precisão dos resultados – uma vez que melhores serão as interações entre as resoluções simultâneas das equações conservação em cada subvolume. O elemento utilizado para a subdivisão do domínio e formação da malha está relacionado com a complexidade do objeto a ser estudado e com o grau de refinamento necessário para melhor representar as condições de contorno – podendo ser utilizados primas, pirâmides, tetraedros, hexaedros, ou a combinação de diferentes elementos.

No presente estudo de caso optou-se por um domínio em formato retangular, de dimensões adequadas ao tamanho do objeto em estudo – no sentido de não ocorrer influência das bordas do domínio nos resultados, e com o seguinte refinamento de malha: método de estruturação (tetraedros), 31.857 nós, 94.213 subvolumes (Figura 3). Como condições de contorno para as simulações, foram configurados os parâmetros apresentados na Tabela 2.

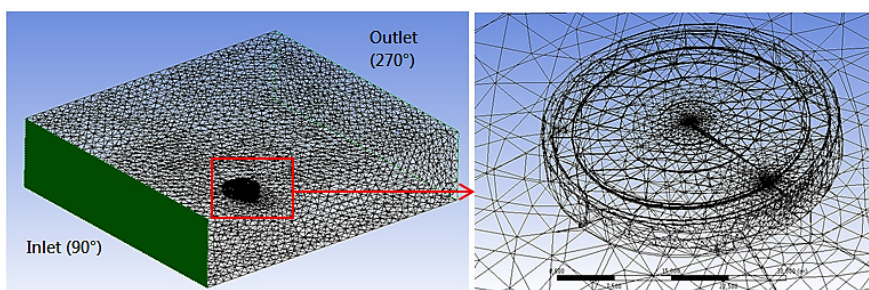


Figura 3 – Domínio e refinamento da malha utilizados.

<sup>1</sup> Desenvolvida em estudos independentes por G.G. Stokes, na Inglaterra, e M. Navier, na França – no início de 1800 – essas equações descrevem como estão relacionadas a velocidade, a pressão, a temperatura e a densidade de um fluido em movimento.



Tabela 2 – Condições de contorno utilizadas nas simulações.

Tipo de malha	Malha “não-estruturada” em tetraedros
Tipo de solver	CFD - FLUENT
Orientações consideradas para os inlet`s e outlet`s	Leste – Oeste
Configuração do fluido	Ar a 25° C; 1[atm]; Fluido estacionário.
Modelo de resolução/correção	Resolução pelo modelo k-Epsilon
Característica dos inlet`s	Localização de acordo com a orientação de incidência desejada; Subsônico/velocidade normal – 1[m/s]; turbulência de média intensidade.
Características dos outlet`s	Localização de acordo com a orientação de incidência desejada; Subsônico; Pressão relativa – 0[Pa]

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Cenário C.1 – Projeto Original

Para o escoamento Leste – Oeste, os resultados do cenário C.1 apontaram para uma distribuição pouco uniforme do fluxo de ar a no interior do recinto, a uma altura de 0,75m. Além disso, verificou-se uma velocidade interna de apenas 10% (na região central) a 30% (na região periférica) da velocidade do fluxo inicial/livre. Em corte, pode-se identificar como ocorre a distribuição das velocidades internas e a grande concentração de zonas de baixa velocidade do ar (Figura 4).

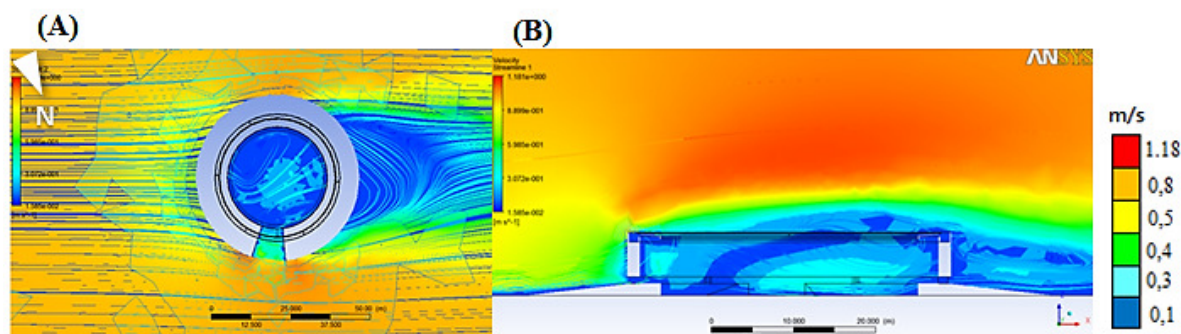


Figura 4 - Resultados do cenário C.1 em planta (A) e em corte (B).

Para o cálculo do número de renovações de ar por hora (RAH) foi utilizado os dados fornecidos pelos resultados da simulação – com relação à velocidade incidente nas aberturas e os coeficientes de pressão exercidos pelo fluido –, e aplicada a fórmula descrita por Swami e Chandra (1987), para o cálculo do RAH em edificações ventiladas naturalmente por múltiplas aberturas (Equação 1 e 2).

$$RAH = \frac{Q}{volume} \quad (\text{Equação 1})$$

$$Q = Cd_i \times A_i \times V_{ref} \frac{(Cp_i - Cp_l)}{|Cp_i - Cp_l|^{1/2}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Q = fluxo de ar (m<sup>3</sup>/s)

Cd<sub>i</sub> = coeficiente de descarga para cada abertura (constante recomendada 0,63)

A<sub>i</sub> = área total de cada abertura

V<sub>ref</sub> = velocidade de referência do fluxo de ar

Cp<sub>i</sub> = coeficiente de pressão nas aberturas

Cp<sub>l</sub> = coeficiente de pressão interno

Assim, obteve-se o valor de 12,5 RAH para o cenário C.1. Importante destacar que tal valor atende ao número mínimo de RAH recomendado pela ASHRAE 62.1 para assegurar a salubridade do ar no ambiente

interno para esse tipo de ocupação (0,6 RAH). Porém, não atende o número de RAH que favorecem o conforto térmico passivo, aproximadamente 100 RAH (FREIXANET e VIQUEIRA, 2004).

#### 4.2. Cenário C.2 – Aumento de 3,7% no percentual de abertura

Para o escoamento Leste – Oeste, os resultados do cenário C.2 apontaram para uma distribuição do fluxo de ar bem semelhante ao cenário C.1, indicando que a inserção do forro ventilado não surte efeito considerável uma vez que não existe aberturas no teto/laje superior da edificação. Ou seja, verificou-se a manutenção de uma velocidade interna de 10% (na região central) a 30% (na região periférica) da velocidade do fluxo inicial/livre (Figura 5). Em corte, também pode-se identificar a semelhança em relação ao cenário C.1 em termos de distribuição das velocidades internas e a grande concentração de zonas de baixa velocidade do ar. Aplicando as equações de cálculo do número de renovações de ar por hora, obteve-se um valor de 13,17 RAH, valor 5,4% maior em comparação com o cenário C.1.

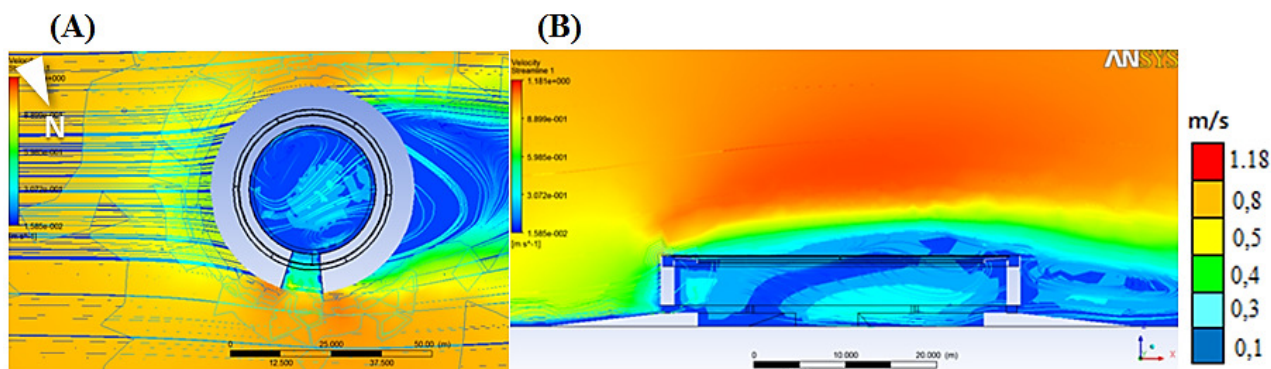


Figura 5 – Resultados do cenário C.2 em planta (A) e em corte (B).

#### 4.3. Cenário C.3 – Aumento de 37% no percentual de abertura

Para o escoamento Leste – Oeste, os resultados do cenário C.3 apontaram para uma distribuição mais uniforme do fluxo de ar no interior do recinto, indicando que a combinação das estratégias do forro ventilado com a captação do vento pelo telhado possui efeito considerável. Também verificou-se o aumento na velocidade do fluxo de ar em comparação com os cenários anteriores, sendo de 30% a 40% da velocidade do fluxo inicial/livre (Figura 6). Em corte, pode-se identificar a efetividade do sistema de aberturas no teto para a entrada e saída do fluxo de ar no interior do recinto. Aplicando as equações de cálculo do número de renovações de ar por hora, obteve-se um valor de 18,77 RAH, valor aproximadamente 60% maior em comparação com o cenário C.1.

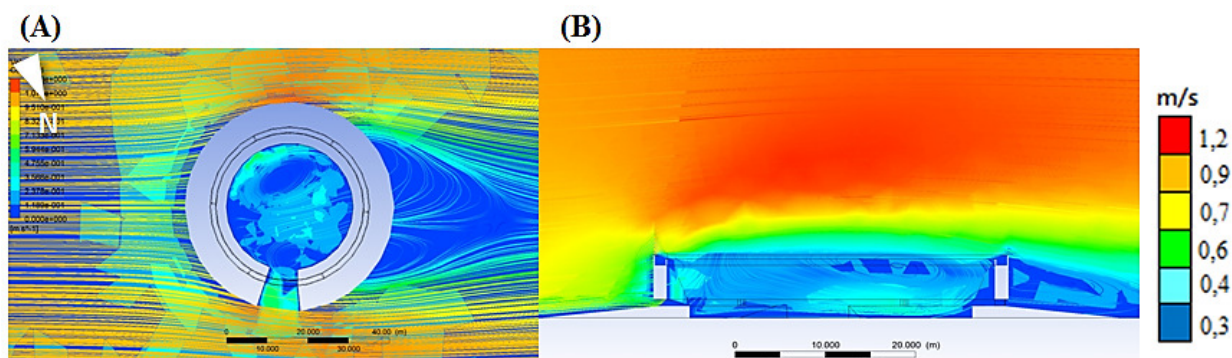


Figura 6 - Resultados do cenário C.3 em planta (A) e em corte (B).

## 5. CONCLUSÕES

Por meio das simulações realizadas pode-se identificar a melhor solução, em termos de favorecimento da ventilação natural, para o projeto da igreja. Dentre das possibilidades postas pelo escritório de arquitetura responsável pelo desenvolvimento do projeto, não foi possível a abertura no forro da igreja. Diante das simulações, houve um aumento de 37% do percentual de abertura e correto posicionamento das entradas e saídas de ar, obteve-se um aumento de aproximadamente 60% no número de renovações de ar por hora, além

da distribuição mais uniforme e aumento da velocidade do fluxo interno do ar e aumento em comparação com os demais cenários simulados.

Dada a particularidade do tamanho do recinto (5.400 m<sup>3</sup> de volume), pode-se identificar o atendimento do número mínimo de RAH para assegurar a salubridade do ar. Pode-se identificar, também, a possível necessidade de complementação do sistema passivo de ventilação, considerando o não atendimento do número de RAH para o favorecimento do conforto térmico, quando da ocupação total do recinto.

Neste sentido, as simulações comprovam uma adequada distribuição do fluxo de ar no interior do edifício, muito embora para o conforto térmico dos usuários outros aspectos devem ser analisados como a temperatura do ar externa, a população total do edifício e outras fontes de calor do ambiente (iluminação artificial, velas, etc). Logo, o conforto térmico não deverá ser determinado apenas pela renovação do ar.

Tais resultados comprovam a importância da utilização de ferramentas CFD no desenvolvimento de projetos de grandes recintos, onde a peculiaridade do volume interno, do percentual de abertura, do comportamento do fluxo interno do ar, entre outras variáveis, torna necessário um estudo mais detalhado para auxiliar o projetista na identificação de diretrizes e soluções. Além disso, a demonstração dos resultados de forma gráfica e visualmente amigável possibilita a identificação clara das variáveis de projeto que devem ser melhoradas, bem como a integração do projeto de ventilação com os demais projetos complementares.

Recomenda-se que a metodologia das simulações computacionais devem passar a funcionar de modo mais rotineiro nos escritórios de arquitetura, uma vez que este método pode antever os cenários de desempenho do ambiente projetado. Esta nova visão de incorporar a simulação do método de projeto contribui na tomada de decisão, muitas vezes reduzindo custos e o tempo de execução da obra.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE 62.1-2010. Standard on Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE 55- 2013. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- ALLARD, F.; GHIAUS, C. Natural Ventilation in the Urban Environment. In Building Ventilation – the state of the art (edited by Mat Santamouris and Peter Wouters). Ed. Earthscan, London – UK. 2006.
- BRAGER, G; de DEAR, R. Climate, Comfort, & Natural Ventilation: a new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55. Center of the Built Environment – University of California, Berkeley. 2001.
- FIRMINO, S.; GOULART, S.; LAMBERTS, R. Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras. UFSC/Procel/Eletronbras. Florianópolis, 1998.
- FREIXANET, V.; VIQUEIRA, M. Ventilación Natural – cálculos básicos para arquitectura. Universidad Autónoma Metropolitana. México, 2004.
- GIVONI, B. Passive Low Energy Cooling of Buildings. John Wiley & Sons Inc. 1994.
- HUMPHREYS, M.; NICOL, J.. The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. Energy and Buildings. n.34, p.667-684. 2002.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Normas Climatológicas do Brasil 1961-1990. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. acesso em (03-07-2015).
- SAMET, J. Nitrogen dioxide. In.: Indoor Air Pollution: A Health Perspective. J. Samet e J.D. Spengler (ed.). Johns Hopkins Press. Baltimore, 1991.
- SANTAMOURIS, M., WOUTERS, P.(eds.). Building Ventilation: the state of the art. Earthscan, London; 2006.
- SEPPANEN, O.. The Effect of Ventilation on Health and Other Human Responses. In.: Building Ventilation: the state of the art. Cap. 2 (pg. 247 – 264). Santamouris and Wouters (ed.). Earthscan, London; 2006.
- SPENGLER, J. D.; SAMET, J.; MCCARTHY, J. F. (Ed.). Indoor Air Quality Handbook. McGraw-Hill, 2001.
- SWAMI, M.; CHANDRA, S. Procedures for Calculating Natural Ventilation Airflow Rates in Buildings. ASHRAE Research Project – Final Report. Florida Solar Energy Center. Florida, 1987.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Quali-A Conforto Ambiental e Eficiência Energética e ao escritório ArquiBR pelo fornecimento dos dados de projeto / estudo de caso utilizado neste artigo.