ANÁLISE DE DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE POROSIDADE EM CFD

Isabela Tibúrcio (1); Melyna Nascimento (2); Leonardo Bittencourt (3)
(1) PhD, Arquiteta e Urbanista, isabela.tiburcio@ceca.ufal.br, UFAL, (82) 99627-8025
(2) PhD, Arquiteta e Urbanista, melynalamenha@gmail.com, UFAL, (82) 99320-5615
(3) PhD, Arquiteto e Urbanista, lsb54@hotmail.com, UFAL, (82) 99919-8009
Campus A.C. Simões, Cidade Universitária, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, CEP 57.072-970, Maceió/AL, Brasil.

RESUMO
Os *softwares* CFD – *Computer Fluid Dynamics* são ferramentas úteis na simulação de ventilação natural em edifícios, pois permitem fixar diversas variáveis simultaneamente, possibilitando a análise de diferentes parâmetros no desempenho da ventilação natural. Entretanto, o conhecimento demandado e o tempo requisitado em CFD pode dificultar o uso desta ferramenta por pesquisadores e projetistas que queiram avaliar o impacto de alguma estratégia. A configuração das aberturas e consequentemente da porosidade dos modelos é um dos aspectos que mais impactam no tempo necessário para modelagem e posterior simulação. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do uso da configuração de porosidade no programa computacional PHOENICS versão 1.0 2018, para simulação de desempenho da ventilação natural em edificações. Adotou-se nas simulações um modelo de casa térrea isolada, tipicamente construída em conjuntos de habitações de interesse social no Brasil. Foram construídos 16 modelos diferentes variando a presença de aberturas, de divisões internas e a configuração de porosidade do programa, equivalente à porosidade do modelo utilizado, de 4,66% do modelo com aberturas. Foi realizada uma análise comparativa do desempenho da ventilação natural nos modelos simulados. O modelo com a configuração da porosidade das superfícies externas apresentou diferenças de pressão de apenas 0,05Pa, sendo o modelo totalmente opaco mais eficiente para estudo de valores de coeficiente de pressão externa. Já o modelo com aberturas externas e sem divisões internas se mostrou bastante eficaz pela redução do tempo de simulação e apresentação de resultados consistentes.

Palavras-chave: CFD, simulação computacional, ventilação natural, porosidade.

ABSTRACT
The CFD - Computer Fluid Dynamics softwares are useful tools in the simulation of natural ventilation in buildings, since they allow fixing several variables simultaneously, allowing the analysis of different parameters in the natural ventilation performance. However, the knowledge demanded on simulations and time required for it can be an obstacle for the researcher. Openings configuration and consequently modeling porosity is one of the aspects that impact most the time needed for modeling and subsequent simulation. The present work aimed to evaluate the efficiency of porosity configuration use in the computer program PHOENICS version 1.0 2018, for simulating the natural ventilation performance in buildings. In the simulations, an isolated single-storey house model was adopted, typical social housing of Brazil. 16 different models were built, varying the presence of openings, internal partitions and the software porosity configuration, equivalent to the 4.66% porosity of the model with openings. A comparative analysis of the performance of natural ventilation was performed in the simulated models. The model with the external surfaces porosity configuration showed pressure differences of only 0.05Pa, being the completely opaque the most efficient model for studying values of the external pressure coefficient. The model with external openings and without internal partitions proved to be very effective in reducing the simulation time and presenting consistent results.

Keywords: CFD, computational simulation, natural ventilation, porosity.

1. INTRODUÇÃO

Os estudos relativos ao desempenho da ventilação natural são de natureza complexa, envolvendo fenômenos físicos da mecânica dos fluidos. A escolha do método de avaliação a ser utilizado vai depender do grau de precisão que se deseja obter, bem como dos recursos que estão disponíveis (BITTENCOURT, 1993).

Cálculos de previsão da ventilação natural confiáveis são importantes para um bom projeto arquitetônico, pois possibilitam avaliações preliminares das estratégias de ventilação que serão utilizadas nas edificações. Neste aspecto, as normas de desempenho além de contribuir para uma maior qualidade das edificações, podem auxiliar propondo parâmetros mais simples de avaliação, já que cálculos mais complexos se tornam muitas vezes inviáveis durante o processo projetual (LIDDAMENT, 1986).

Alguns autores dividem os métodos para calcular a ventilação nos edifícios em empíricos e teóricos, sendo os empíricos aqueles que derivam de alguma experiência com modelos físicos ou de medições em edifícios e os teóricos, baseados nos princípios físicos da ventilação (BITTENCOURT; CANDIDO, 2008, BITTENCOURT, 1993, LIDDAMENT, 1986). Em geral, existem modelos desenvolvidos para estimar taxa de ventilação em edificações, podendo ser modelos empíricos, modelos de zonas e modelos teóricos (SANTAMOURIS; KOLOKOTRONI, 2007).

Os modelos empíricos podem assumir várias funções como, por exemplo, cálculo de taxa de renovações do ar, estimativas do efeito do clima na ventilação (vento e temperatura) e estimativa do efeito da hermeticidade do edifício nas taxas de ventilação (LIDDAMENT, 1986).

Segundo Chen (2009), os modelos teóricos, também chamados de analíticos são provavelmente os modelos mais antigos para a predição do desempenho da ventilação natural, e não diferem muito dos modelos empíricos, pois ambos derivam de equações de conservação de massa, energia e de espécies químicas. Segundo o autor, a diferença é que os modelos empíricos utilizam, em geral, mais aproximações do que os teóricos.

Entre os modelos teóricos, estão os programas computacionais que utilizam a Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD). São softwares desenvolvidos a partir das bases numéricas da dinâmica dos fluidos que além de fornecer dados quantitativos a partir de cálculos matemáticos de ventilação natural, também possibilitam avaliar diferentes modelos de projeto de edificações e sua influência nos padrões de escoamento da ventilação natural (BITTENCOURT; CANDIDO, 2008).

Os CFDs têm origem durante o desenvolvimento da engenharia aeroespacial nas décadas de 1960 e 1970. Os primeiros resultados dos CFDs eram apresentados em fluxos bidimensionais, devido às limitações dos algoritmos e dos computadores da época. A partir da década de 1990, eles foram aperfeiçoados, apresentando resultados em visualização tridimensional e estabelecendo-se como ferramentas de projeto eficazes nas áreas da engenharia aeroespacial, mecânica, civil, naval e nas indústrias (SACRAMENTO, 2012).

O modelo CFD é baseado no conceito de divisão de um domínio em subzonas e para cada uma delas são resolvidas equações de massa, momento e conservação de energia de acordo com o poder de processamento do computador utilizado. Em comparação com modelos matemáticos de ventilação natural, gera resultados mais detalhados (ASFOUR; GADI, 2007).

São baseados nas equações de Navier-Strokes para fluido viscoso e de escoamento incompressível. Descrevem o movimento tridimensional do ar em termos de velocidades instantâneas, temperatura (ou densidade) e pressão em um ponto. O edifício é dividido em volumes controlados e as equações são resolvidas a cada iteração (KOLOKOTRONI; HEISELBERG, 2015).

Segundo Kolokotroni e Heiselberg (2015), as principais aplicações dos modelos CFD para o estudo da ventilação natural são: cálculo da velocidade e temperatura em ambientes e edifícios; cálculo do fluxo de ar no entorno, cálculo da distribuição dos campos de pressão nas superfícies (fachadas); análises paramétricas e cálculo das características do fluido através das aberturas.

Cóstola e Alucci (2011) avaliaram a viabilidade no uso de dinâmica dos fluidos computacional (CFD – Computational Fluid Dynamics) para a obtenção de coeficientes de pressão, e concluíram que o modelo CFD é uma alternativa viável em relação aos túneis de vento. Diversos outros autores já utilizaram o modelo CFD para estudos de ventilação natural em edifícios, tornando esta ferramenta amplamente praticada.

A fim de viabilizar as simulações, os modelos de simulação de ventilação natural de edifícios em *softwares* CFD geralmente são simplificados em comparação com o projeto original da edificação, tanto em relação à geometria, quanto à complexidade do fenômeno natural, mas demandam do usuário o conhecimento acerca do software, dos fenômenos físicos envolvidos, alto custo computacional e tempo. Logo, alternativas de modelagem que resultem em simplificações do processo de simulação, sem alterar a confiabilidade dos resultados são importantes.

Essa simplificação tem a vantagem de diminuir o tempo de simulação, mas dependendo da configuração, o modelo tende a se distanciar mais da realidade, o que pode trazer resultados imprecisos ou com grandes margens de erro.

Por outro lado, modelos geometricamente detalhados podem tornar um estudo inviável, por conta do tempo de simulação, principalmente em estudos de recortes urbanos.

O programa computacional CFD PHOENICS dispõe de um campo onde é possível configurar a porosidade dos objetos, inserindo valores de 0,01 a 1, por exemplo, onde 0,01 seria um objeto 1% poroso e 1 seria um objeto 100% poroso. Seria uma forma mais rápida de configurar a porosidade de uma parede, por exemplo, sem precisar modelar suas aberturas, uma a uma.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem o objetivo de analisar comparativamente o comportamento do vento ao atravessar modelos com diferentes configurações de porosidade, modelando suas aberturas e divisões internas, ou utilizando a configuração de porosidade do Phoenics.

3. MÉTODO

O método utilizado consiste na análise comparativa de modelos com diferentes configurações de porosidade, analisando qualitativa e quantitativamente os efeitos de cada modelo simulado, no desempenho da ventilação natural, através do software Phoenics, que é uma ferramenta CFD.

A aplicação de ferramentas CFD permite controlar todas as variáveis envolvidas na questão investigada, se apresentando como uma ferramenta indicada para a realização de análises paramétricas e permitindo a identificação dos efeitos produzidos por cada um dos parâmetros examinados (HOOFF; BLOCKEN, 2013; TRINDADE, et al, 2010; BITTENCOURT, 1993). Por outro lado, esta ferramenta está sujeita ao controle que é feito por parte do usuário, na inserção dos dados de entrada e condições de contorno. Daí a importância do conhecimento de como funciona o programa e a melhor forma de obter os resultados pretendidos.

Por esta razão, a metodologia deste trabalho está dividida nas seguintes etapas: a escolha da edificação a ser analisada, a escolha das variáveis a serem simuladas, elaboração da matriz de simulação, simulação computacional e análise de resultados obtidos.

3.1. A escolha da edificação

A edificação escolhida para análise constituiu-se em uma casa térrea simples, figura 1, e faz parte das tipologias de projeto residencial representativas do país com base na análise de 108 projetos arquitetônicos de empreendimentos brasileiros do Programa ―Minha Casa, Minha Vida de acordo com Triana et al (2015). As tipologias resultantes desta análise foram: casa simples, casa geminada, apartamento típico para faixa de renda 1 em formato H, apartamento típico para faixa de renda 2 em formato H e apartamento em formato linear.

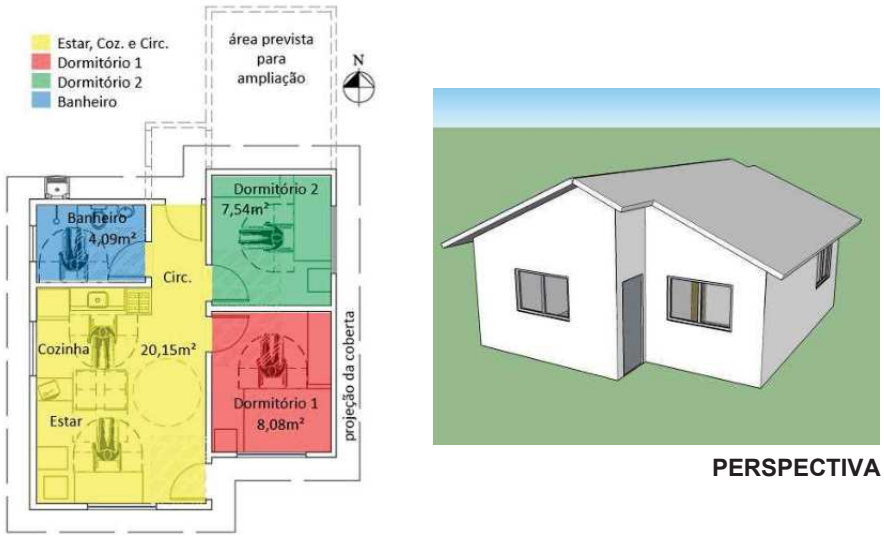


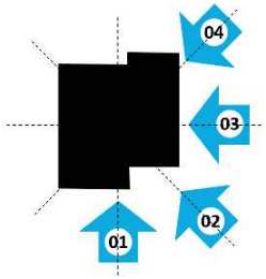
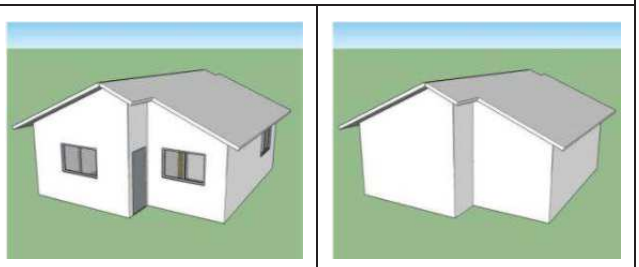
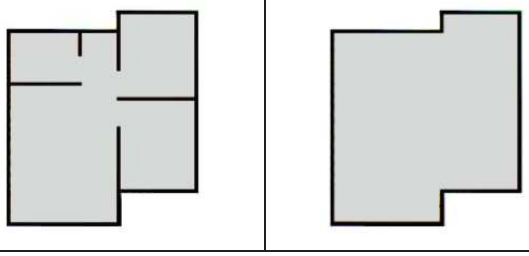
Figura 1 – Planta baixa e perspectiva da residência escolhida como modelo.

As tipologias analisadas pelos autores têm uma tendência a apresentar baixo desempenho térmico comparadas aos edifícios residenciais multifamiliares que não fazem parte de programas sociais. Por esta razão, o estudo de ventilação natural nestas tipologias torna-se interessante, pois elas podem representar o pior cenário ao mesmo tempo em que são destinadas ao público mais carente de edificações com um desempenho térmico que garanta o conforto dos usuários sem a necessidade de recorrer a equipamentos que consomem energia elétrica.

3.2. Definição das variáveis de simulação e configuração dos modelos

Como variáveis de simulação escolheu-se 4 incidências de vento, a presença de aberturas, de divisões internas e a configuração da porosidade das superfícies do modelo. Foi calculado o percentual de aberturas em relação ao total de superfícies de paredes no modelo escolhido, obtendo-se um total de 4,66% de porosidade. O quadro 1 apresenta um resumo com as variáveis de simulação escolhidas.

Quadro 1 – Resumo das variáveis de simulação.

Variáveis de simulação	Croqui/observações
4 incidências de vento	
Com aberturas/sem aberturas	
Com divisões internas/sem divisões internas	
Com a configuração de porosidade de 4,66%	Percentual de porosidade equivalente à área de abertura efetiva para ventilação do modelo com aberturas.

As 4 incidências do vento, apresentadas no quadro 1, foram escolhidas conforme a localização das aberturas dos ambientes de permanência prolongada que são a sala/cozinha e os dormitórios.

Para a escolha da velocidade média do vento a ser simulada, foram observadas as velocidades médias mensais do vento nas capitais brasileiras (LABEEE, 2015), considerando que estas se localizam em realidades climáticas distintas. Foram calculadas as velocidades médias anuais (Quadro 2), e observou-se que a média da velocidade entre as cidades é de 2m/s, sendo este também o valor mais frequente. A mediana foi calculada e obteve-se como resultado o valor de 1,93m/s. Por este motivo, as simulações foram realizadas utilizando a velocidade de entrada de 2m/s.

Quadro 2 – Velocidades médias anuais do vento nas capitais brasileiras.

Capital		Velocidade média anual
1	Aracaju - SE	3,37
2	Belém - PA	1,00
3	Belo Horizonte - MG	2,25
4	Boa vista - RR	1,53
5	Brasília - DF	2,45
6	Campo Grande - MS	3,45
7	Cuiabá - MT	1,93
8	Curitiba - PR	2,18
9	Florianópolis - SC	2,43
10	Fortaleza - CE	2,25
11	Goiânia - GO	1,41
12	João Pessoa - PB	2,42
13	Macapá - AP	1,27
14	Maceió - AL	2,73
15	Manaus - AM	1,40
16	Natal - RN	4,23
17	Palmas - TO	1,64
18	Porto Alegre - RS	1,56
19	Porto Velho - RO	1,39
20	Recife - PE	1,83
21	Rio Branco - AC	1,43
22	Rio de Janeiro - RJ	1,35
23	Salvador - BA	1,28
24	São Luiz - MA	2,08
25	São Paulo - SP	2,08
26	Teresina - PI	1,32
27	Vitória - ES	2,04

O quadro 3 traz as dimensões do domínio calculadas conforme as dimensões do modelo base de simulação e utilizando as equações de proporção de 3 : 3 : 2 para x, y e z do domínio.

Quadro 3 – Dimensões calculadas para o domínio dos modelos de simulação.

Cálculo	Xdom= 3 . Xobj = 3 . 6,73 = 20,19				
	Ydom= 3 . Yobj = 3 . 7,535 = 22,61				
	Zdom= 2 . Zobj = 2 . 4,15 = 8,30				
Medidas do objeto (o modelo de residência)			**Medidas do domínio**		
Xobj	Yobj	Zobj	Xdom	Ydom	Zdom
6,73	7,535	4,15	20,19	22,61	8,30

Essas proporções foram definidas com base em testes sugeridos pelo suporte do programa, em que buscou-se a redução das dimensões do domínio garantindo a fluidez sem turbulências do vento ao redor do objeto (o modelo de residência), para reduzir o tempo de simulação.

Foi selecionado o modelo de turbulência k-ε, que é mais utilizado e recomendado para simulações da ventilação natural em edificações.

Os valores utilizados na configuração do controle de relaxamento foram P1 (pressão) = 0,1; U1 (velocidade do vento em x) = 0,0155; V1 (velocidade do vento em y) = 0,0155; W1 (velocidade do vento em z) = 0,0155; KE (energia cinética) = 0,1 e EP (energia potencial) = 0,1.

Para considerar o gradiente de vento o objeto tipo Wind foi configurado a partir da equação 1.

$$Rh = k^{(-1/a)} \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
Rh = Altura de referência (m).
k, a = Coeficientes que variam de acordo com a rugosidade do entorno (Quadro 4).

Essa configuração baseia-se na equação 2 da correção da velocidade média do vento conforme o gradiente de vento (BRE, 1978).

$$V = k \cdot z^{a} \cdot V_m \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:
V = Velocidade média do vento na altura da abertura de entrada do ar (m/s).
Vm = Velocidade média do vento, medida na estação meteorológica a uma altura padrão de 10m (m/s).
z = Altura da abertura de entrada do vento (m).
k, a = Coeficientes que variam de acordo com a rugosidade do entorno (Quadro 4).

Para a configuração do gradiente da velocidade do vento, foram escolhidos os coeficientes de rugosidade do terreno (JACKMAN, 1980 apud BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2008) para área suburbana, como mostra o quadro 4, considerando que os conjuntos da tipologia de habitação escolhida geralmente são implantados em áreas suburbanas, distantes do centro das cidades.

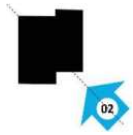
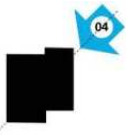
Quadro 4 – Coeficientes de rugosidade do terreno adotados.

Coeficiente do terreno	k	a
Área aberta plana	0,68	0,17
Campo com obstáculos esparsos	0,52	0,20
Área suburbana	0,35	0,25
Centro de cidade	0,21	0,33

3.3. Definição da matriz de simulação

A partir da combinação das variáveis de simulação de 4 incidências de vento, da existência de aberturas, de divisões internas e da configuração de porosidade permitida pelo software, foi elaborada a matriz de simulação, quadro 5, que totaliza 16 modelos computacionais.

Quadro 5 – Matriz de simulação.

Velocidade do vento	Incidência do vento	Aberturas externas	Divisões internas	Modelo
2m/s		Com aberturas	Com divisões	1
		Com aberturas	Sem divisões	2
		Sem aberturas	Sem divisões	3
		Com a configuração de porosidade do software		4
		Com aberturas	Com divisões	5
		Com aberturas	Sem divisões	6
		Sem aberturas	Sem divisões	7
		Com a configuração de porosidade do software		8
		Com aberturas	Com divisões	9
		Com aberturas	Sem divisões	10
		Sem aberturas	Sem divisões	11
		Com a configuração de porosidade do software		12
		Com aberturas	Com divisões	13
		Com aberturas	Sem divisões	14
		Sem aberturas	Sem divisões	15
		Com a configuração de porosidade do software		16

3.4. Simulação computacional

Foram simulados os 16 modelos correspondentes às 4 geometrias apresentadas na figura 2, sob as 4 incidências de vento.

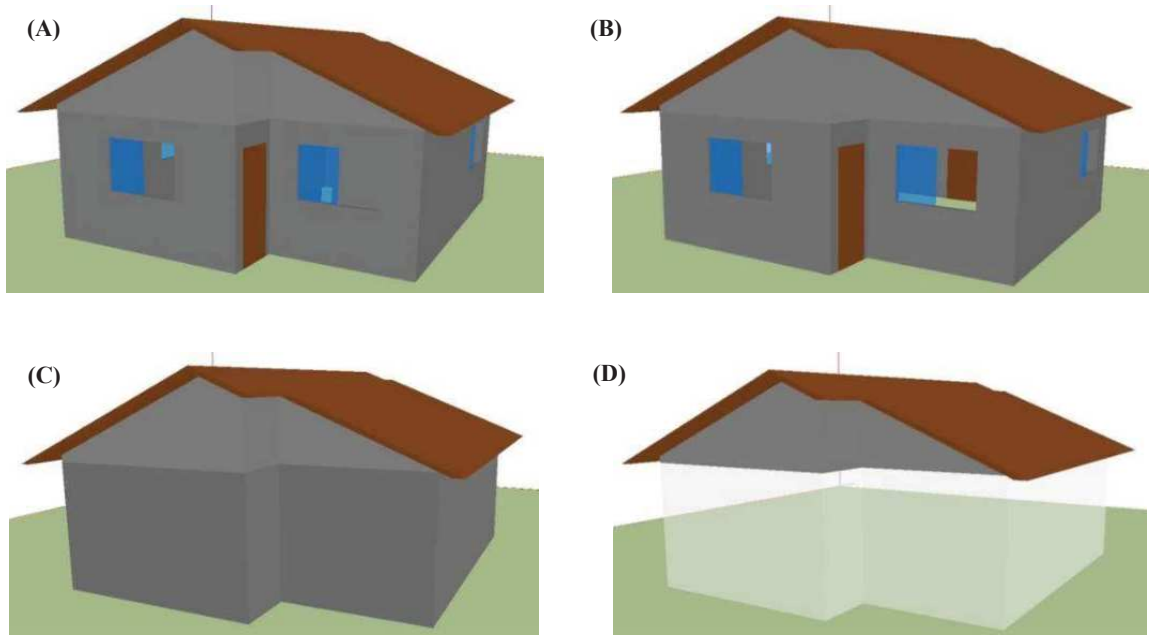


Figura 2 - Geometria dos modelos de simulação: (A) Com aberturas externas e com divisões internas; (B) Com aberturas externas e sem divisões internas; (C) Sem aberturas externas e sem divisões internas; (D) Com a configuração da porosidade de 4,66%.

Como parâmetros de análise dos resultados foram considerados sentido, direção, distribuição e intensidade do fluxo de vento, por meio dos campos de cores, vetores e valores de velocidade e pressão do vento que podem ser identificados nos gráficos dos resultados. Esses gráficos foram extraídos em planta a 0,60m de altura do piso, região onde os usuários encontram-se deitados ou sentados nos ambientes de permanência prolongada como a sala e os dormitórios.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

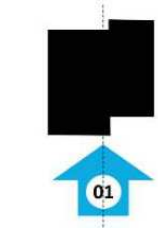
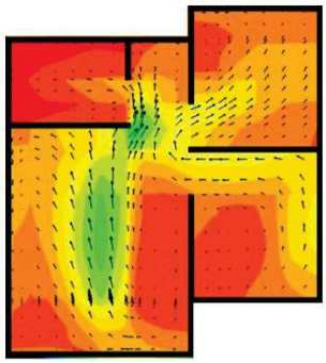
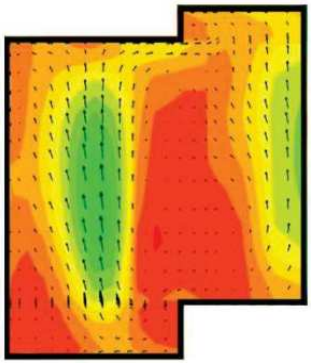
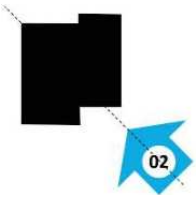
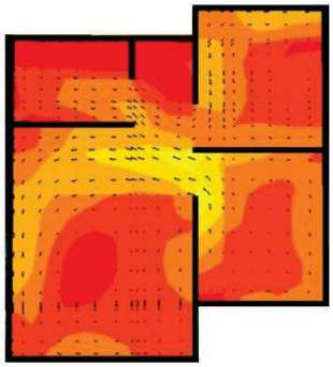
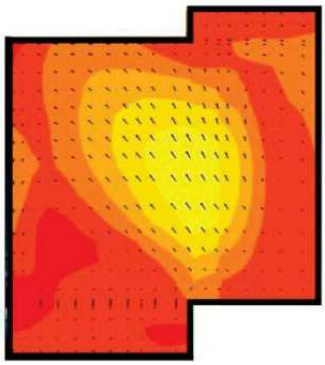
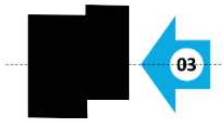
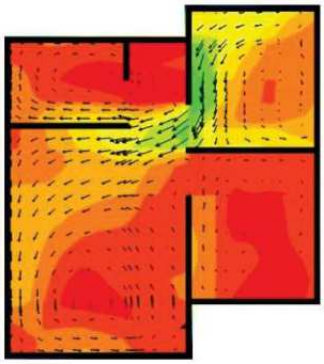
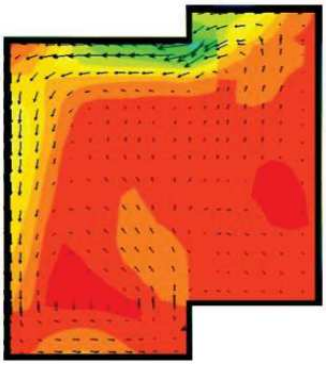
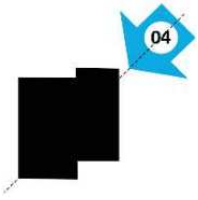
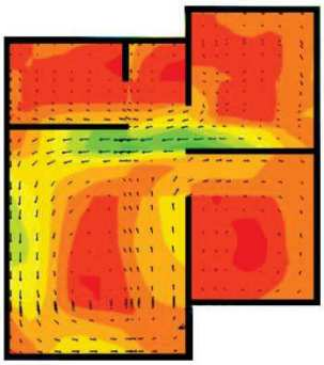
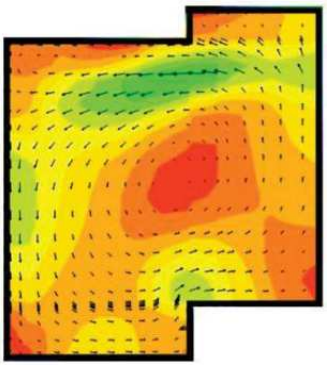
Os resultados são apresentados e discutidos em duas partes sendo a primeira dos modelos com aberturas externas e a segunda parte dos modelos sem aberturas externas e modelos com a configuração de porosidade permitida pelo programa.

Como parâmetros de análise verificou-se a velocidade média interna do vento (em m/s), nos modelos com aberturas e a distribuição de pressões nas fachadas (em Pa), nos modelos sem aberturas.

4.1. Modelos com aberturas externas

Os resultados dos modelos com aberturas externas são apresentados no quadro 6, onde no lado esquerdo estão os gráficos dos modelos com divisões internas e à direita dos modelos sem divisões internas. Para cada cor apresentada nos gráficos tem-se um valor de velocidade do vento conforme a escala de velocidades que varia de 0,00m/s, com a cor vermelha, a 0,50m/s com a cor azul escuro.

Quadro 6 – Modelos com aberturas externas.

Incidência do vento	Escala de velocidades (m/s)	Gráficos de velocidade do vento em planta a altura de análise = 0,60m.	
		Com divisões internas	Sem divisões internas
			
			
			
			

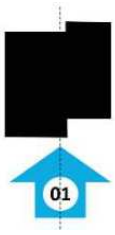
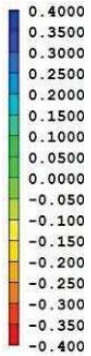
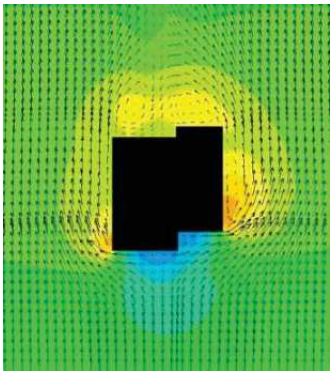
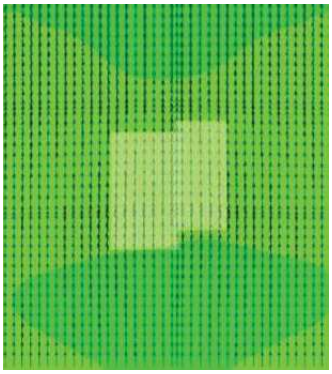
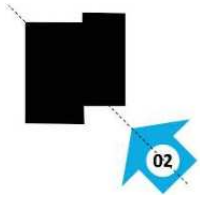
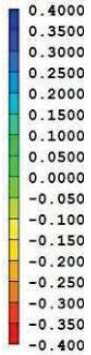
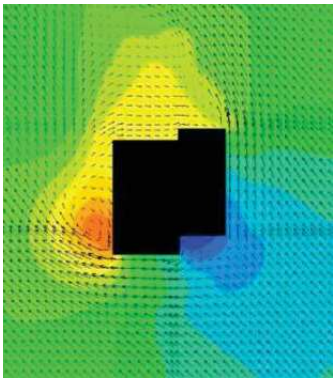
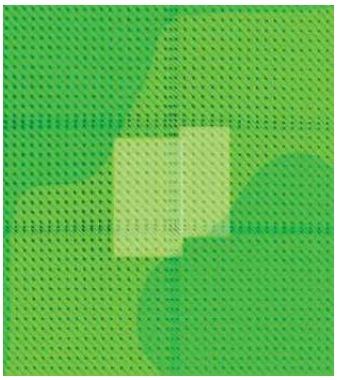
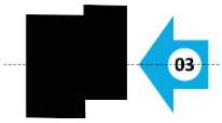
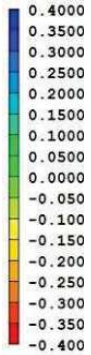
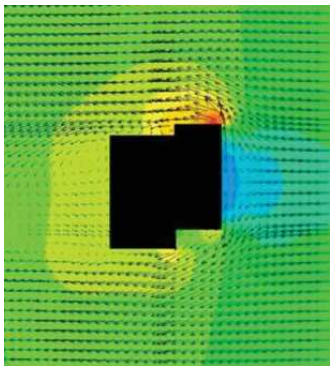
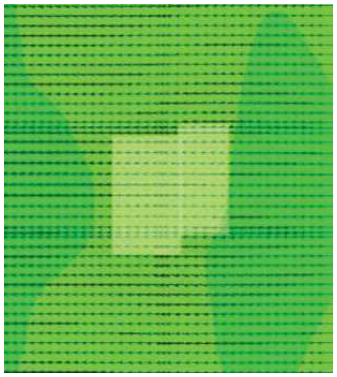
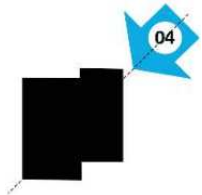
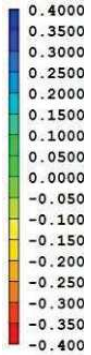
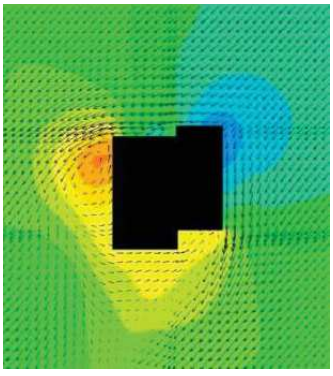
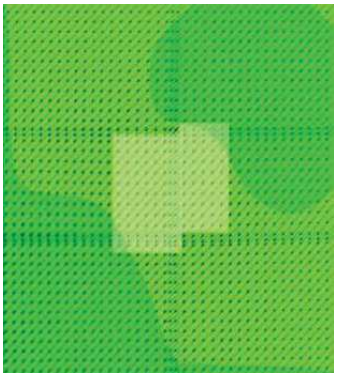
Comparando os modelos com e sem divisões internas, é possível observar que as velocidades do vento interno se mantém entre 0,00m/s e 0,34m/s nos dois casos.

Como esperado, o fluxo de vento no interior dos modelos sem divisões internas apresenta velocidades do vento ligeiramente mais altas do que nos modelos com divisões internas, pois estas agem como obstáculos à passagem do vento. Apesar disso, verifica-se que é possível utilizar modelos de edificações térreas com aberturas e sem divisões internas para estudar o desempenho da ventilação natural externa em um conjunto dessa tipologia de habitação. Dessa forma o estudo torna-se mais simplificado, obtendo resultados de maneira mais rápida sem grandes distorções.

4.2. Modelos sem aberturas externas e com a configuração de porosidade do CFD

Os resultados dos modelos sem as aberturas externas são apresentados no quadro 7, onde no lado esquerdo estão os gráficos dos modelos totalmente opacos e à direita dos modelos com a configuração da porosidade de 4,66%. Para cada cor apresentada nos gráficos tem-se um valor de pressão do vento conforme a escala de pressões que varia de -0,40Pa, com a cor vermelha, a 0,40Pa com a cor azul escuro.

Quadro 7 – Modelos sem aberturas externas e modelos com porosidade de 4,66%.

Incidência do vento	Escala de pressões (Pa)	Gráficos de pressão do vento em planta a altura de análise = 0,60m.	
		Sem aberturas	Com a configuração da porosidade do software de 4,66%
			
			
			
			

Ao comparar os resultados dos modelos totalmente opacos com os modelos com porosidade de 4,66%, observa-se que a diferença entre as pressões externas nos modelos com porosidade é muito pequena, cerca de 0,05Pa. Os resultados das pressões ao redor de um modelo com as superfícies uniformemente porosas podem se distanciar muito da realidade, pois proporcionam pouca resistência à passagem do vento. Um modelo totalmente opaco apresenta melhor as pressões que podem existir ao redor da edificação, auxiliando na localização adequada de aberturas de entrada e saída do vento. Dessa forma, é possível realizar estudos mais simplificados das pressões externas em torno de um modelo ou um conjunto de modelos totalmente opacos.

5. CONCLUSÕES

Os resultados das simulações mostram que o modelo com aberturas externas e sem divisões internas pode ser utilizado para estudos mais simplificados do desempenho da ventilação natural em torno de um conjunto de modelos de edifícios, sem grandes distorções.

Nos modelos com aberturas, a simplificação da geometria pela retirada das paredes internas não alterou significativamente os valores de velocidade média do fluxo de vento interno, sendo um modelo de residência de dimensões reduzidas. Embora essa simplificação não tenha alterado o intervalo de valores de velocidade do vento interno encontrado, o padrão de distribuição foi alterado. Dessa forma, considera-se que esse tipo de simplificação não pode ser utilizada para verificar o quanto a disposição de aberturas interfere na efetividade da ventilação natural interna.

Nos modelos opacos, a simplificação pela adoção da porosidade permitida pelo programa não é efetiva e pode resultar em dados incoerentes. Os modelos apresentaram resistência muito baixa à passagem do vento, semelhante à passagem do vento através de uma tela com aberturas distribuídas de maneira uniforme.

Para a análise de pressões externas verifica-se que o modelo opaco e sem configuração da porosidade das superfícies externas se mostrou mais próximo da realidade com maiores diferenças de pressão entre as faces do modelo. As análises de pressões externas em modelos de edifícios totalmente opacos podem ser úteis para identificar os locais mais adequados às aberturas de entrada e saída do vento.

Recomenda-se uma análise comparativa dos resultados apresentados com os resultados de modelos de residência maiores, sob as mesmas configurações de simulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASFOUR, O. S.; GADI, M. B. A comparison between CFD and Network models for predicting wind-driven ventilation in buildings. **Building and Environment.** V. 42. P. 4079-4085. 2007.BITTENCOURT, L. S.; CÂNDIDO, C. M. **Introdução à ventilação natural**. 3. ed. Maceió: EDUFAL, 2008.

BITTENCOURT, Leonardo S. **Ventilation as a Cooling Resource for Warm Humid Climates**: an investigation on the influence of geometric aspects of perforated block walls to improve ventilation inside low-rise buildings. 1993. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Architectural Association Graduate School, Londres, 1993.

BRE – Building Research Establishment. Principles of Natural Ventilation. **BRE Digest**, n.210. BRE, Garston, 1978.

CHAM. **PHOENICS 2018 v1.0.** 2018.

CÓSTOLA, D., ALUCCI, M. P. Aplicação de CFD para o cálculo de coeficientes de pressão externos nas aberturas de um edifício. Revista Ambiente Construído 11, n. 1, p. 145-158, Porto Alegre, 2011.

KOLOKOTRONI; M.; HEISELBERG, P. **Ventilative Cooling**: state of the art review. IEA – EBC Programme – Annex 62, ISBN 87--91606--25--X, 2015.

LABEEE, Laboratório de Eficiência Energética nas Edificações. **Arquivos climáticos**. 2015. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>. Acesso em: 16 abr. 2016.

LIDDAMENT, M. W. **Air infiltration calculation techniques** - an applications guide. Bracknell, UK: AIVC. 1986.

SACRAMENTO, A influência da dimensão da abertura de saída da cozinha/serviço no potencial de ventilação dos ambientes de edificações multifamiliares em Maceió-AL. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2012.

SANTAMOURIS, M.; KOLOKOTRONI, M. **Ventilation for Cooling**. In: SANTAMOURIS, M. (Ed.). Advances in Passive Cooling. London: Earthscan, 2007. p.140-189.

TRINDADE, S. C. PEDRINI, A. DUARTE, R. N. C. Métodos de aplicação da simulação computacional em edifícios naturalmente ventilados no clima quente e úmido. **Ambiente construído**. (Online) vol.10 no.4 Porto Alegre Oct./Dec. 2010.