



ANÁLISE COMPARATIVA DE ESTUDOS SOBRE VENTILAÇÃO NATURAL EM MEIO URBANO COM USO DE TÉCNICAS CFD

Lorena D. Tork (1); Antônio C. G. Tibiriçá (2); Álvaro M. B. Tibiriçá (3)

(1) Mestre em Arquitetura e Urbanismo (UFV), Professora do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA), lorenatork@gmail.com

(2) Doutor, Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de Viçosa, tibirica@ufv.br

(3) Doutor, Professor do Departamento de Produção e Mecânica, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de Viçosa, alvaro.tibirica@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica, Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-000, Tel.: (31) 3899-1964

RESUMO

Na literatura sobre CFD (Computational Fluid Dynamics), é possível encontrar diversas pesquisas internacionais sobre ventilação natural em meio urbano com uso de Dinâmica dos Fluidos Computacional. Estes estudos versam sobre condições de ventilação em nível de pedestre, escoamento de vento com edifícios em diferentes orientações, disposições, além dos parâmetros que são utilizados na modelagem CFD, como dados de entrada, modelo de turbulência, convergência, dimensões de domínios e refinamento de malha. Na literatura nacional, trabalha-se com a mesma técnica, e as pesquisas geralmente investigam escoamento de vento ao redor dos edifícios, análise da ventilação através de prospecção de simulação de cenários construtivos em áreas adensadas, relação entre verticalização e a interferência desta no vento. Como propósito, este artigo tem o objetivo de destacar e comparar aspectos abordados nas pesquisas internacionais e brasileiras sobre ventilação natural em meio urbano com uso do CFD. Como conclusão, as publicações brasileiras trabalham na melhoria das suas simulações, na tentativa de reproduzir as diretrizes e os resultados encontrados na literatura mundial, entretanto há um descompasso no que concerne à investigação de parâmetros e aplicação de configurações computacionais em relação à produção internacional que precisam ser aprimorados.

Palavras-chave: ventilação natural, espaço urbano, CFD.

ABSTRACT

In the literature on CFD (Computational Fluid Dynamics), it is possible to find several researches about natural ventilation in urban environment using Computational Fluid Dynamics. These tests are about pedestrian ventilation conditions, wind flow with buildings in different orientations, layout, as well as parameters that are used in a CFD model, such as input data, turbulence model, convergence, dimensions of Domains and mesh refinement. In the national literature, such as the research on the wind flow around buildings, the analysis of ventilation through the exploration of simulation of constructive scenarios in densified areas, the relationship between verticalization and the interference of this in the wind. How does this article aim to unravel and compare. As a conclusion, as the Brazilian publications work on improving their simulations, trying to reproduce as guidelines and the results found in the world literature, however there is no research research and application of computational concepts in relation to international production Be improved.

Keywords: natural ventilation, urban space, CFD.

1. INTRODUÇÃO

O vento é considerado uma variável climática extremamente vulnerável a mudanças devido à movimentação de massas de ar. Nos grandes centros urbanos, esta interferência é percebida mais claramente, devido às construções e disposições das massas arquitetônicas (singularidade do local), rugosidade e porosidade, advindas do desenho urbano e das edificações verticalizadas, aspectos climáticos, velocidade do vento, entre outros (ROMERO, 2001; ASFOUR, 2010).

Dentre as ferramentas disponíveis para investigação do vento em ambientes urbanos, merece destaque a técnica baseada na dinâmica dos fluidos computacional, também conhecida como CFD (Computational Fluid Dynamics). Essa permite simular espaços urbanos, em substituição às maquetes físicas, através da construção tridimensional do objeto a ser simulado. A partir desta etapa, são inseridas na modelagem condições representativas do ambiente urbano como rugosidade, temperatura, perfis de vento, pressão etc.

Na literatura internacional, destacam-se os trabalhos de Blocken e Persoon (2009), Asfour (2010), Reiter (2010), Cheung e Liu (2011), Blocken, Janssen e van Hooff (2012), Ramponi e Blocken (2012). Estes, em sua maioria, trabalham com previsão de ventilação natural urbana, através da técnica CFD. Em geral, investigam condições de ventilação em nível de pedestre, escoamento de vento com edifícios em diferentes orientações, disposições, além dos parâmetros utilizados na modelagem, como dados de entrada, modelo de turbulência, convergência, rugosidade, dimensões de domínios e refinamento de malha.

No Brasil merece destaque o trabalho com CFD de Prata (2005), Leite (2008), Brandão (2009), Leite e Frota (2011), Cóstola e Alucci (2011), que investigaram a ventilação natural em meio urbano, com estudos versando sobre escoamento de vento ao redor dos edifícios, análise da ventilação através de prospecção de simulação de cenários construtivos em áreas adensadas, relação entre verticalização e a interferência desta no vento.

Nas simulações CFD, alguns parâmetros como refinamento de malha, modelo de turbulência e condições de contorno precisam ser observados para que se possa ter resultados satisfatórios. A partir da bibliografia levantada é possível comparar informações quanto aos parâmetros citados e as principais semelhanças e diferenças encontradas nas publicações sobre o tema no mundo e no Brasil. Para responder a estes questionamentos, o artigo traz um levantamento bibliográfico de pesquisas pertinentes, desenvolvidas no mundo e no Brasil sobre aplicação do CFD na ventilação em meio urbano, com identificação dos objetivos, métodos e conclusões alcançados. E, por fim, é realizada uma comparação dos aspectos abordados nas pesquisas internacionais e brasileiras sobre CFD para ventilação natural em meio urbano.

2. OBJETIVO

Este artigo tem por objetivo apresentar uma análise comparativa entre pesquisas internacionais e brasileiras sobre ventilação natural em meio urbano com uso de técnicas CFD, destacando e comparando os principais objetivos, métodos e conclusões alcançados.

3. MÉTODO

Importantes pesquisas nacionais e internacionais envolvendo o uso de CFD foram realizadas como alternativa de estudo e análise de escoamento de vento ao redor de edifícios (PRATA, 2005; CÓSTOLA, 2006; LEITE, 2008; BRANDÃO, 2009; ASFOUR, 2010; REITER, 2010; CÓSTOLA; ALUCCI, 2011; CHEUNG; LIU, 2011; BLOCKEN; JANSSEN; VAN HOOFF, 2012; BLOCKEN, 2014). O uso de modelos computacionais permite realizar análises qualitativa e quantitativa do escoamento do ar em meio urbano. Além disso, por não necessitar de maquete física, realiza a simulação de diferentes projetos, o que proporciona a análise de diversas etapas do projeto com custo e tempo reduzidos (PRATA, 2005).

Na seção a seguir, apresenta-se a compilação de estudos sobre escoamento de vento com aplicação de CFD, levantando as diretrizes citadas acima e características como: principais objetivos das pesquisas; principais aspectos metodológicos adotados; *software* utilizado para as simulações e principais conclusões obtidas.

3.1. Estudo da ventilação urbana: o uso de técnicas CFD em outros países

No quadro a seguir, é apresentado um levantamento das publicações internacionais que utilizaram técnicas CFD para investigação de escoamento de vento urbano. Os estudos, organizados por temas, são: incômodo e conforto em nível de pedestre por escoamento de vento; investigação dos parâmetros computacionais aplicados na modelagem CFD da ventilação urbana; implicações das disposições das edificações e urbanização no escoamento do vento em ambientes internos e meio urbano.

Quadro 1 - Compilação por tema de investigação sobre estudo da ventilação urbana com uso de técnicas CFD em outros países

TEMA: INCÔMODO E CONFORTO EM NÍVEL DE PEDESTRE POR ESCOAMENTO DE VENTO	
Local do estudo – Autores - Software	
Amsterdam/ Holanda – Blocken e Persoon (2009) - <i>Fluent 6.3.</i>	
Objetivos	
Avaliar o incômodo por ventilação no nível de pedestres, antes e depois da adição de novos arranha-céus.	
Metodologia	A validação CFD foi desempenhada pela comparação de médias de velocidade de vento simuladas no <i>deck</i> do estádio com as coletadas <i>in loco</i> . Os autores modelaram a geometria do estádio em detalhes e priorizaram uma boa qualidade da malha computacional. Foram realizadas especificações do comprimento de rugosidade aerodinâmica e perfil de velocidade de entrada de ar na camada limite atmosférica (CLA).
Local do estudo – Autores - Software	
Amsterdam/ Holanda - Blocken, Janssen e van Hooff (2012) - <i>Fluid 6.3.</i>	
Objetivos	
Apresentar um quadro geral de simulações e decisões, para questões que envolvem conforto e segurança dos pedestres, no que concerne ao vento, tendo como estudo de caso <i>Eindhoven University of Technology</i> .	
Metodologia	Neste trabalho, simulou-se o campus da universidade em nível de pedestre. Os autores procuraram integrar em suas simulações as recomendações do <i>Best Practice Guideline</i> (BPG), que funciona como um guia de boas práticas aplicadas ao CFD, pois a precisão e confiabilidade de simulações podem ser comprometidas em função dos parâmetros de configuração adotados. Utilizaram uma alta resolução de malha e análise de convergência, além de uma geometria representada com detalhes.
Local do estudo – Autores - Software	
Dubai/ Emirados Árabes Unidos – Al-Sallal e Al-Rais (2012) - <i>Phoenix</i> .	
Objetivos	
Investigar o potencial do escoamento do vento para arrefecimento passivo em clima quente e úmido na cidade de Dubai.	
Metodologia	Foram simulados três casos para a localidade de Al-Mankhool. Os autores analisaram os resultados visando ao arrefecimento passivo por ventilação natural e seu impacto no conforto humano, segundo o modelo adaptativo da Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers - ASHRAE</i>).
TEMA: INVESTIGAÇÃO DOS PARAMETROS COMPUTACIONAIS APLICADOS NA MODELAGEM CFD DA VENTILAÇÃO URBANA	
Local do estudo – Autores - Software	
Estudo genérico - Reiter (2010) - <i>Fluent</i> .	
Objetivos	
Tratar dos avanços realizados com técnicas CFD para avaliação do conforto por vento nos espaços urbanos.	
Principais conclusões	
Conclui-se que a norma e a diretriz possuem informações muito úteis para estudos de conforto por vento. Entretanto, a precisão desses estudos pode melhorar se os comprimentos de rugosidade incorporados na NPR 6097 forem colocados à disposição do usuário para a construção de perfis de entrada de CLA mais apropriados.	
Ao final, os resultados das simulações foram comparados com medições de velocidade de vento feitas <i>in loco</i> , encontrando uma concordância entre os dados simulados e os medidos.	
O fluxo de ar é canalizado mais intensamente quando está entre edifícios. Entretanto, gera vórtices nos cantos dos edifícios, causando desconforto aos pedestres. Outra conclusão é que a velocidade do vento é mais confortável em ruas com cânions mais largos. Como recomendação, os autores relatam a importância do projeto das ruas no planejamento dos espaços com foco bioclimático, e a sua contribuição como mecanismo de auxílio em períodos de verão.	
Como conclusão geral, chegou-se a um alto grau de precisão entre as velocidades média de vento no entorno dos edifícios utilizando modelos computacionais, mas este precisa de uma malha suficientemente fina para capturar de forma adequada os resultados. Desenvolveu-se ainda uma metodologia para quantificar as velocidades de vento consideradas críticas no entorno das	

		edificações, servindo de apoio a prática projetual urbana, voltada a espaços públicos confortáveis.
Metodologia	O autor comparou três configurações diferentes de construção: uma com um único prédio, outra com duas edificações e a última correspondeu a uma área urbana adensada. Testou diferentes modelos de turbulência. Comparou os resultados obtidos da modelagem computacional com testes em túnel de vento.	
Local do estudo – Autores - Software		Principais conclusões
Estudo genérico - Ramponi e Blocken (2012) - <i>Fluent 6.3.26</i>		Os autores concluíram que há carência de estudos que abordem a sensibilidade dos parâmetros inseridos para simulação CFD de ventilação cruzada para edifício isolado genérico e forneceram uma análise detalhada do impacto dos parâmetros computacionais nos resultados das simulações.
Objetivos		
Analisar o impacto que os parâmetros computacionais inseridos pelo usuário podem ter sobre os resultados das simulações CFD.		
Metodologia	Utilizaram um edifício genérico isolado em situação de ventilação cruzada para estudos de análise dos impactos dos parâmetros computacionais. Foram realizadas diversas simulações baseadas em revisão de literatura, aplicando diferentes parâmetros e verificando-se a influência que estes apresentavam. As simulações foram validadas em ensaios em túnel de vento. Entre os parâmetros computacionais analisados, foi estudado o tamanho do domínio computacional, refinamento de malha, perfil de entrada da camada limite, modelos de turbulência e convergência.	
Local do estudo – Autores - Software		Principais conclusões
Estudo genérico - Blocken (2014) – não utilizou <i>software</i>		Realizou um documento relatando os avanços e evolução da Engenharia Computacional do Vento (EVC) ou Computational Wind Engineering (CWE) nos últimos 50 anos.
Objetivos		
Realizar uma revisão geral das publicações relevantes publicadas sobre CFD nos últimos 50 anos.		
Metodologia	Este artigo fornece uma visão das simulações CFD no passado, presente e o seu futuro. O trabalho aborda as boas práticas adotadas nas simulações, a relação entre túnel de vento e CFD, simulações CFD em nível de pedestre e ventilação em edifícios, precisão de CFD, entre outros. Traz uma contribuição muito valiosa sobre técnicas CFD e a sua trajetória.	
TEMA: IMPLICAÇÕES DAS DISPOSIÇÕES DAS EDIFICAÇÕES E URBANIZAÇÃO NO ESCOAMENTO DO VENTO EM AMBIENTES INTERNOS E NO MEIO URBANO		
Local do estudo – Autores - Software		Principais conclusões
Faixa de Gaza/ Palestina - Asfour (2010) - <i>Gambit 2.2, Fluent 6.3.</i>		Edifícios agrupados orientados ao vento predominante e que possuem um espaço central apresentam melhores condições de ventilação. Essa configuração propicia maior entrada e contenção do fluxo de ar.
Objetivos		
Investigar o efeito de diferentes disposições de blocos de edifícios no potencial de ventilação na faixa de Gaza.		
Metodologia	Realizou a simulação de seis tipos diferentes de configuração de edificações hipotéticas, formadas por quatro blocos retangulares, submetidas a três orientações de vento. Foram estabelecidas dimensões de domínio e de malha, condições de contorno e o modelo de turbulência, além do critério de convergência. O estudo focou na geometria, no espaçamento e na orientação do edifício em relação ao vento. A partir das simulações, fez-se a análise do comportamento da ventilação para cada bloco e em cada orientação, através da medição da pressão média na fachada dos edifícios e o potencial de ventilação em cada apartamento, além dos contornos da magnitude da velocidade do ar.	
Local do estudo – Autores - Software		Principais conclusões
Hong Kong/ China - Cheung e Liu (2011) - <i>Fluent 6.3.26; Gambit 2.2.30.</i>		Edifícios mais distantes um do outro promovem taxas de ventilação melhores, podendo ser a separação ótima cerca de três vezes a largura do edifício, se considerada a disposição das edificações. Portanto a disposição dos edifícios pode ser uma das soluções, para melhorar o desempenho da ventilação natural nas cidades.
Objetivos		
Pesquisar os efeitos de interferência que edifícios em Hong Kong provocam na ventilação de ambientes internos por meio de técnicas CFD.		
Metodologia	Foi analisada a taxa de ventilação cruzada de apartamentos hipotéticos agrupados, variando a direção do vento, o	

	afastamento e disposição dos edifícios. O perfil de vento foi aplicado no domínio de entrada; as condições de não escorregamento com funções de parede foram aplicadas nas fronteiras sólidas e recorreu-se ao refino de malha. Os autores testaram 25 blocos de edifícios idênticos e alinhados com domínio retangular que foram discretizados usando gerador de malha.
Local do estudo – Autores - Software	Principais conclusões
Hong Kong/ China - Yuan e Ng (2012) - <i>Fluent</i> 6.3.	A orientação de rua é um parâmetro importante no desempenho da ventilação urbana. A diminuição da taxa de cobertura contribui para o aumento do desempenho no nível de pedestre, e a separação e porosidade nas construções são muito úteis para a melhoria da circulação de ar.
Objetivos	
Avaliar o efeito da urbanização na ventilação natural e prever o desempenho desta em um cenário futuro, além do desenho e planejamento de estratégias que promovam a melhoria da eficiência da ventilação natural no nível de pedestre para a área de Mong Kok em Hong Kong.	
Metodologia	Foram realizados testes com configurações genéricas, baseados em morfologia do passado, do presente e do futuro, orientados em três diferentes direções, por modelagem CFD e em experimentos com túnel de vento. O objetivo foi o fluxo de ar nas diferentes configurações, disposições e a velocidade do vento como critério de conforto térmico.

Além dessas pesquisas, existem outras que tratam de aspectos como configuração e análise de sensibilidade das condições de contorno, problemas com funções de parede e representação da homogeneidade horizontal da CLA, além da inserção de rugosidade no terreno em simulações urbanas. Existem também documentos intitulados de Boas Práticas do CFD, que funcionam como recomendações gerais para modelagem computacional do meio urbano e em nível de pedestre (BLOCKEN; STATHOPOULOS; CARMELIET, 2007; BLOCKEN; JANSSEN; VAN HOOFF, 2012; FRANKE *et al.*, 2004; FRANKE, 2006; FRANKE *et al.*, 2007; ZHANG, 2009).

3.2. Estudo da ventilação urbana: o uso de técnicas CFD no Brasil

A seguir, é apresentado o levantamento por tema de algumas publicações nacionais que utilizaram técnicas CFD para estudos do escoamento de vento em ambientes urbanos. Os temas investigados pelas pesquisas são: análise da influência das prescrições urbanísticas na ventilação natural urbana; mecanismos de aproveitamento da ventilação natural para conforto térmico de espaços internos e urbanos; importância dos parâmetros de configuração na modelagem computacional de ventilação urbana e conforto térmico em nível de pedestre.

Quadro 2 - Compilação por tema de investigação sobre estudo da ventilação urbana com uso de técnicas CFD no Brasil

TEMA: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS PRESCRIÇÕES URBANÍSTICAS NA VENTILAÇÃO NATURAL URBANA	
Local do estudo – Autores - Software	Principais conclusões
Maceió/AL - Bittencourt, Cruz e Lôbo (1997) - <i>Phoenix</i>	Recuos são mais importantes que a altura dos edifícios para um melhor aproveitamento da ventilação natural no tecido urbano, ao contrário do que dizia a legislação de Maceió.
Objetivos	
Analisar duas alternativas de implantação de um edifício localizado na orla marítima e o desempenho destas ao aproveitamento da ventilação natural como forma de resfriamento passivo.	
Metodologia	A avaliação da relação entre os valores das taxas de ocupação e o gabarito admitido no potencial de ventilação natural. Os modelos foram orientados a 45° e 90° em relação à fachada leste e depois simulados computacionalmente. O artigo não apresenta as configurações introduzidas na modelagem.
Local do estudo – Autores - Software	Principais conclusões
Natal/RN - Costa e Araújo (2001) - <i>Phoenix</i> 3.2.	Confirmou-se a hipótese de que a redução dos afastamentos eleva o gradiente de ventilação e reduz a velocidade no plano mais baixo das edificações, o que aumenta a probabilidade de formação de ilhas de calor.
Objetivos	
Estudar a ventilação natural e a sua relação com as prescrições urbanísticas para a cidade.	

Metodologia	Desenvolveram uma análise de prescrições urbanísticas dos Planos Diretores (1984, 1994 e 1999) e da ocupação atual de 2001. Para isso, foram construídos quatro modelos de ocupação das quadras, considerando os valores máximos de ocupação. Foram introduzidas configurações de domínio, condições de contorno, controle de convergência da solução e turbulência.	
Local do estudo – Autores - Software		Principais conclusões
Natal/RN - Marques (2003) - <i>Phoenics 3.2</i> .		Verificou-se que a redução dos recuos e o aumento do gabarito reduzem a velocidade do vento.
Objetivos		
Analisar a influência que os parâmetros urbanísticos e as tipologias adotadas em uma porção da Orla da Praia do Meio têm sobre a ventilação natural.		
Metodologia	Recorreu-se à simulação computacional de uma porção da área de estudo e reproduziu cinco modelos de ocupação permitidos pela legislação. Foram inseridas configurações de domínio, refinamento de malha e modelo de turbulência.	
Local do estudo – Autores - Software		Principais conclusões
Santos/SP - Prata (2005) - <i>Ansys CFX</i> .		Constatou que a posição e altura dos edifícios interferem significativamente na distribuição das correntes de vento em perímetro urbano.
Objetivos		
Verificar as alterações do campo de vento frente às alterações de gabaritos das edificações e a influência sobre o conforto dos pedestres na área objeto de estudo.		
Metodologia	Utilizou um método experimental e exploratório com simulação em túnel de vento, medidas <i>in loco</i> e simulação computacional. Como parâmetros para a simulação, a autora definiu a dimensão do domínio e valores para o refinamento de malha. Foram inseridas condições de contorno, definindo as superfícies com atrito e sem atrito.	
Local do estudo – Autores - Software		Principais conclusões
Goiânia/GO - Souza (2006) - O simulador MicroFlo do <i>software Integrated Environmental Solutions Limited – Virtual Environment (IES – VE)</i> .		Foi possível identificar quais propostas de ocupação do solo apresentaram as velocidades mais baixas para o setor em estudo e que possivelmente prejudicariam o conforto térmico na região
Objetivos		
Investigar a influência da ocupação no solo nas condições de ventilação natural e eficiência energética de edificações.		
Metodologia	Analisaram-se os efeitos do vento em um bairro de Goiânia/GO, apontando as possíveis possibilidades de uso do solo para a área. Foram inseridas configurações de domínio e dimensões de malha, além de modelo de turbulência.	
Local do estudo – Autores - Software		Principais conclusões
São Luís/MA - Leite (2008) - <i>Ansys CFX 5.7</i> .		Como conclusão, pôde-se afirmar que os cenários de verticalização alteram os padrões de ventilação natural.
Objetivos		
Investigar a relação entre a verticalização de áreas litorâneas e a ventilação natural para a cidade de São Luís/MA.		
Metodologia	Modelou-se computacionalmente cinco cenários com possíveis gabaritos, afastamentos e tipologias de edifícios, sendo os dados comparados com a situação atual. Recorreu a medições em 24 pontos distribuídos em quadras circundantes. Quanto ao método de simulação, foram definidos modelos de simulação, construção da geometria, definição do domínio, refinamento de malha, condições de contorno e critérios de convergência.	
Local do estudo – Autores - Software		Principais conclusões
Campinas/SP - Oliveira (2009) - <i>Phoenics 3.2</i> .		Pode-se concluir que essas alterações nas residências modificaram a velocidade e fluxo do vento.
Objetivos		
Avaliar a ventilação exterior em casas autoconstruídas localizada em Campinas/SP, que foram submetidas a modificações construtivas		
Metodologia	Simulou-se a ventilação natural em uma quadra típica com diferentes disposições das habitações. Inseriu informações de domínio, modelo de turbulência, refinamento de malha e condições de entrada e valores de rugosidade.	

Local do estudo – Autores - Software		Principais conclusões
São Paulo/SP - Brandão (2009) - <i>Envi-met, CFX 5.7 e Ansys Icem CFD.</i>		Outras variáveis devem ser incorporadas ao planejamento urbano e as legislações de uso e ocupação do solo para inferir as possíveis interferências em relação aos aspectos térmicos.
Objetivos		
Gerar uma metodologia de avaliação da ambiência térmica urbana. E recomendações quanto à confecção de modelos de simulação externas.		
Metodologia	Simulou-se computacionalmente modelos experimentais com Envi-met e CFX 5.7 em uma área urbana de São Paulo/SP, a fim de avaliar a relação entre a ocupação da área e aspectos ambientais.	
Local do estudo – Autores - Software		Principais conclusões
Fortaleza/CE - Leite (2010) - <i>Ansys CFX 11.0, Ansys Icem CFD.</i>		Salienta as interferências negativas que a ocupação máxima do solo traz as condições de ventilação no local, como o aumento do gradiente de vento.
Objetivos		
Estudar a influência que os padrões de ocupação do solo têm sobre a ventilação natural na cidade de Fortaleza/CE.		
Metodologia	Simulou-se três cenários correspondentes à situação atual, à ocupação máxima e uma proposta intermediária. Utilizou-se o <i>software Ansys Icem CFD</i> para modelagem da malha e o <i>Ansys CFX 11.0</i> para a solução das equações, além de medições <i>in loco</i> . Quanto às configurações computacionais, foram definidos parâmetros de domínio, malha, rugosidade e convergência.	
TEMA: MECANISMOS DE APROVEITAMENTO DA VENTILAÇÃO NATURAL PARA CONFORTO TÉRMICO DE ESPAÇOS INTERNOS E URBANOS		
Local do estudo – Autores - Software		Principais conclusões
Aracaju/SE - Costa (2009) - <i>Ansys CFX.</i>		Como conclusão, têm-se recomendações de projeto que permitem verificar a influência da ventilação.
Objetivos		
Aproveitar o vento como mecanismo de ventilação natural em habitação residencial multifamiliar para Aracaju/SE.		
Metodologia	Realizou a modelagem computacional de um apartamento e da quadra onde este estava inserido. A autora teve preocupação com o método aplicado às simulações, definindo questões de geometria e domínio, refinamento de malha, condições de entrada e contorno e critérios de convergência referentes à simulação da quadra.	
TEMA: IMPORTÂNCIA DOS PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO NA MODELAGEM COMPUTACIONAL DE VENTILAÇÃO URBANA		
Local do estudo – Autores - Software		Principais conclusões
Estudo genérico - Cóstola e Alucci (2011) - <i>Ansys CFX.</i>		Os autores ressaltam a importância da correta configuração das simulações para a geração de resultados confiáveis e de qualidade. E, propõem algumas recomendações.
Objetivos		
Investigar a viabilidade do uso do CFD para obtenção de coeficientes de pressão (Cp) em edifícios e a importância de alguns aspectos de configuração.		
Metodologia	Realizou-se a simulação computacional de um edifício de cinco pavimentos caracterizado como habitação de interesse social. Mesmo tratando-se de um estudo que simula um edifício isolado, o trabalho apresenta relevantes informações quanto a configurações de densidade de malha, perfil do vento, rugosidade do piso no domínio, simulação da camada limite e independência dos resultados de malha.	
Local do estudo – Autores - Software		Principais conclusões
Guarulhos/SP - Cóstola (2006) - <i>Ansys CFX.</i>		Conclui que existe um amplo conjunto de ferramentas computacionais para predição de ventilação natural, mas é necessário um uso criterioso para a aplicação destas em projetos arquitetônicos.
Objetivos		
Formular um procedimento de quantificação da vazão de ar por ação do vento no interior de um edifício.		
Metodologia	Mesmo se tratando de uma pesquisa com ênfase em ambiente interno, o autor oferece importantes contribuições quanto às configurações de simulação computacional para CFD. No que diz respeito ao uso do CFD, realizou a	

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A aplicação da ferramenta CFD é relativamente nova no Brasil, quando comparado ao tempo de estudo que se tem desta em outros países. Das publicações investigadas, muitas trabalham com modelagem computacional e/ou recorrem a medições *in loco*. Em alguns casos, as literaturas internacionais possuem o diferencial de aplicarem testes em túneis de vento aerodinâmicos.

As publicações internacionais dedicam suas pesquisas discutem sobre avaliação do incômodo, segurança e conforto em nível de pedestre e nos espaços urbanos. Analisam as implicações das disposições e efeitos da urbanização no escoamento do vento. Dissertam sobre potencial de ventilação para arrefecimento passivo, desempenho de configurações e disposições de edifícios e taxas médias de ventilação cruzada. E, ainda, desenvolvem pesquisas específicas para investigar os impactos e implicações da inserção de parâmetros de configuração aplicados em modelagem computacional para estudos de ventilação urbana.

Além disso, utiliza-se o modelo de dinâmica dos fluidos para modelagem computacional, medições *in loco* com instrumentos específicos. Empregam também protótipos em escala reduzida submetidos a ensaios em túneis aerodinâmicos, onde confrontam as informações obtidas nas medições com os simulados para aferição dos resultados. Investem esforços para avaliar os impactos de parâmetros computacionais através dos *software Fluent e Ansys CFX*, além do *Gambit* para a geração de malhas, inseridos pelos usuários e a forma que esses repercutem nos resultados, na qualidade, na confiabilidade e precisão das informações.

Para isso, autores como Blocken, Stathopoulos e Carmeliet (2007), Blocken, Janssen e van Hooff (2012), Franke et al. (2004), Franke (2006), Franke et al. (2007), Zhang (2009) destinaram suas pesquisas a investigação de inserção de configurações como condições de contorno, rugosidade, modelos de turbulência, homogeneidade da CLA aos softwares utilizados etc. Constam na literatura internacional, materiais com compilações e recomendações gerais e específicas para simulação da ventilação urbana, conhecido como Guia de Boas Práticas (GBP), que funciona como um orientador sobre as práticas mais adotadas em simulações em meio urbano.

Entre as conclusões apresentadas nas pesquisas internacionais, percebe-se que estas possuem o intuito de se beneficiar das condições ambientais para o melhoramento do ambiente construído. São relativas a avaliação quanto à disposição de edificações e efeitos da urbanização ou estudos de previsão de cenários futuros e proposição de melhorias. Propõem recomendações quanto a ventilação em nível de pedestre, através de estratégias para redução ou aumento de vento em áreas desejadas. E ainda apresentam recomendações quanto as práticas aplicadas a modelagem CFD para ventilação urbana.

Nas pesquisas brasileiras há uma inclinação para estudos de predição de ventilação, no sentido de analisar cenários existentes e propor recomendações quanto a cenários futuros, através da avaliação da ventilação e do conforto em nível de pedestre em áreas que apresentam processo de verticalização. Em alguns casos, encontram-se referências que retratam a importância e aplicação de parâmetros de configuração específicos a modelagem computacional da ventilação urbana, mas não se tem um aprofundamento sobre o tema.

Os objetivos comumente tratados são relacionados ao escoamento de vento no entorno das edificações e análise de conforto em nível do pedestre. Pesquisam estudos de caso e os efeitos das prescrições urbanísticas, efeito aerodinâmico do vento no entorno de edificações, análise de recuos, aumento de gabaritos, disposição de edificações e propostas de ocupação e uso do solo. Alguns estudos ressaltam a importância de parâmetros de configuração confiáveis aplicados a modelagem computacional de vento e propõem recomendações gerais.

Quanto aos aspectos metodológicos, utilizam modelos baseados na dinâmica dos fluidos computacional para obtenção de dados de natureza qualitativa e quantitativa, como *Phoenix, Ansys CFX, Ansys Icem CFD e Ansys Meshing*. Fazem uso de medições *in loco* para avaliar e comparar com o comportamento dos dados obtidos nas simulações CFD. Alguns trabalhos mostram preocupação com a confiabilidade e qualidade dos resultados, além de ressaltarem a importância da correta configuração das simulações para obtenção de informações confiáveis quanto à simulação CFD.

Pode-se dizer que a simulação CFD é usada no Brasil para obtenção de dados que possibilitem a análise do espaço construído, a implementação de medidas ou recomendações para melhores condições de conforto térmico em meio urbano, conforme particularidade climática do local da pesquisa. Dessa forma, os resultados gerais encontrados tratam de redução de recuos, controle de gabaritos, interferência da disposição das edificações e formação de esteiras de vento ou áreas estagnadas. Mas poucos trabalhos aplicam fontes

bibliográficas que abordam aspectos relativos a parâmetros de configuração para modelagem da ventilação urbana ou GBP.

Sendo assim, constata-se que as simulações brasileiras têm apresentado trabalhos relevantes, com investigações pertinentes e passíveis de aplicabilidade na cidade, contudo estas pesquisas caminham de forma lenta, quando comparada aos avanços encontrados nas simulações internacionais. Para isso, é necessário um esforço maior, no sentido de aplicar GBP e referências relevantes que tratem de questões relativas às configurações aplicadas as simulações de ventilação natural de espaços urbanos.

5. CONCLUSÕES

Entre as pesquisas levantadas e analisadas, constatou-se grande ênfase em estudos de caso, onde publicações nacionais abordam questões relacionadas ao conforto térmico, enquanto pesquisas internacionais investigam além desta questão, aspectos voltados ao incômodo causado pelo vento.

Quanto às principais diferenças encontradas nos trabalhos, é possível citar: os estudos internacionais dão ênfase em pesquisas voltadas à investigação de parâmetros de configurações adotados nos programas, como os modelos de turbulência mais adequados, a importância e os parâmetros de refinamento de malha, as configurações para representação adequada das condições de fronteira, correto dimensionamento de domínios computacionais, enquanto uma minoria das pesquisas brasileiras analisadas adota de forma mais abrangente e consistente recomendações quanto a refinamento de malha, configurações de condições de fronteira, parâmetros que garantam a homogeneidade horizontal da camada limite atmosférica, entre outros.

Dessa forma, as publicações brasileiras trabalham no avanço quanto a aspectos de modelagem computacional da Ventilação Urbana, na tentativa de reproduzir as diretrizes e os resultados encontrados na literatura mundial, entretanto há um descompasso no que concerne à investigação de parâmetros e aplicação de configurações computacionais em relação à produção internacional que precisam ser aprimorados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-SALLAL, K. A.; AL-RAIS, L. Outdoor airflow analysis and potential for passive cooling in the modern urban context of Dubai. *Renewable Energy*, 38, p. 40-49, 2012.
- ASFOUR, O. S. Prediction of wind environment in different grouping patterns of housing blocks. *Energy and Building*, v. 42, p. 2061-2069, 2010.
- BITTENCOURT, L. S.; CRUZ, J. M.; LOBO, D. G. F. A influencia da relacao entre taxa de ocupacao x no de pavimentos no potencial de ventilacao natural dos ambientes internos e externos. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construido, 4º, 1997. Artigo Tecnico, 1997. Salvador, BA, 1997. p. 102-106.
- BLOCKEN, B. 50 years of Computational Wind Engineering: past, present and future. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2014.
- BLOCKEN, B.; JANSSEN, W. D.; VAN HOOFF, T. CFD simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in urban areas: general decision framework and case study for the Eindhoven University campus. *Environment Modelling and Software*, 2012.
- BLOCKEN, B.; PERSOON, J. Pedestrian wind comfort around a large football stadium in an urban environment: CFD simulation, validation and application of the new Dutch wind nuisance standard. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2009.
- BLOCKEN, B.; STATHOPOULOS, T.; CARMELIET, J. CFD simulation of the atmospheric boundary layer: wall function problems. *Atmospheric Environment*, 2007.
- BRANDAO, R. S. As interacoes espaciais urbanas e o clima. Sao Paulo, FAUUSP, 2009. Tese de Doutorado.
- CHEUNG, J. O. P.; LIU, C. CFD simulations of natural ventilation behavior in high-rise buildings in regular and staggered arrangements at various spacing. *Energy and Buildings*, 2011.
- COSTA, F. J. M.; ARAUJO, V. M. D. Ventilacao e prescricoes urbanisticas – uma aplicacao simulada no bairro de Petropolis, em Natal/ RN. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construido, Anais... Sao Pedro, SP: s/e, 2001.
- COSTA, L. C. N. Aproveitamento da ventilacao natural nas habitacoes: um estudo de caso na cidade de Aracaju – SE. Sao Paulo, FAUUSP, 2009. Dissertacao de Mestrado.
- COSTOLA, D. Ventilacao por acao do vento no edificio: procedimentos para quantificacao. Sao Paulo, FAUUSP, 2006. Dissertacao de mestrado.
- COSTOLA, D.; ALUCCI, M. P. Aplicacao de CFD para o calculo de coeficientes de pressao externos nas aberturas de um edificio. *Ambiente Construido*, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 145-158, jan./ mar. 2011.
- FRANKE, J. Recommendations of the COST action C14 on the use of CFD in predicting pedestrian wind environment. *The Fourth International Symposium on Computational Wind Engineering (CWE2006)*, Yokohama, 2006.
- FRANKE, J.; HELLSTEN, A.; SCHLUNZEN, H.; CARISSIMO, B. Best Practice Guideline for the CFD simulation of flows in the urban environment. *COST 732: Quality Assurance and Improvement of Microscale Meteorological Models*. COST Office Brussels, ISBN 3-00-018312-4, 2007.
- FRANKE, J.; HIRSCH, C.; JENSEN, A. G.; KRUS, H. W.; SCHATZMANN, M.; WESTBURY, P. S.; MILES, S. D.; WISSE, J. A.; WRIGHT, N. G. Recommendations on the use of CFD in wind engineering, 2004.
- LEITE, C. G. Alteracoes na ventilacao urbana frente ao processo de verticalizacao de avenidas litoraneas: o caso da avenida litoranea de Sao Luis/MA. Sao Paulo, FAUUSP, 2008. Dissertacao de Mestrado.

- LEITE, R. C. V.; FROTA, A. B. Designing the city according to the wind: using a CFD to minimize the impacts of city growth on natural ventilation. Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14- 16 November.
- LEITE, R. C. V. A influencia da mudanca nos padroes de ocupacao do solo sobre a ventilacao natural em cidade de clima tropical umido. Sao Paulo: FAUUSP, Tecnologia da Arquitetura. 2010. Dissertacao de mestrado.
- MARQUES, R. S. Ventilacao e prescricoes urbanisticas: uma aplicacao simulada para a orla da praia do Meio em Natal/ RN. Natal: UFRN, PPGAU, 2003. Dissertacao de Mestrado.
- OLIVEIRA, M. C. A. Simulacao computacional para avaliacao dos efeitos das modificacoes em casas autoconstruidas sobre a ventilacao. Sao Paulo, UNICAMP, 2009. Tese de Doutorado.
- PRATA, A. R. Impacto da altura de edificios nas condicoes de ventilacao natural do meio urbano. Sao Paulo: FAUUSP, 2005. Tese de doutorado.
- RAMPONI, R.; BLOCKEN, B. CFD simulation of cross-ventilation flow for different isolated building configurations: Validation with wind tunnel measurements and analysis of physical and numerical diffusion effects. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 408–18, 2012.
- REITER, S. Assessing wind comfort in urban planning. Environment and Planning B: Planning and Design 37, 857-873, 2010.
- ROMERO, M. A. B. A arquitetura bioclimatica do espaco publico. Brasilia: Editora Universidade de Brasilia, 2001.
- SOUZA, V. M. B. A influencia da ocupação do solo no comportamento da ventilacao natural e na eficiencia energetica em edificacoes: estudo de caso em Goiania – clima tropical de altitude. Brasilia: UNB, 2006. Dissertacao de mestrado.
- YUAN, C.; NG, E. Building porosity for better urban ventilation in high-density cities – a computational parametric study. Building and Environment, 2012.
- ZHANG, X. CFD simulation of neutral ABL flows. Riso National Laboratory for Sustainable Energy. Technical University of Denmark. Roskilde, Denmark. April 2009.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo e apoio financeiro concedido. E ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo (DAU/UFV) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV).