



## **ANÁLISE DA VENTILAÇÃO NATURAL DE EDIFICAÇÕES COM TORRES DE VENTO UNI E TETRADIRECIONAL ATRAVÉS DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS**

**Nixon César de Andrade (1); Lucila Chebel Labaki (2); Rosana Maria Caram (3); Paulo Celso Greco Júnior (4)**

(1) Engenheiro Civil, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UNICAMP  
deandraden@bol.com.br

(2) PhD, Professora da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP  
llabaki@gmail.com

(3) PhD, Professora do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, EESC/USP  
rcaram@sc.usp.br

(4) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Aeronáutica, EESC/USP  
pgreco@sc.usp.br

### **RESUMO**

Estudos qualitativos recentes demonstraram que as torres de vento podem ser eficientes como solução arquitetônica na promoção da renovação do ar e do conforto higrotérmico. Este artigo tem como objetivo geral avaliar dois tipos de torres, a unidirecional, com uma abertura para a entrada de vento, em locais onde o vento se movimenta em uma direção, e, a tetradirecional, com quatro aberturas, em locais em que o vento age em várias direções, através de simulações computacionais utilizando o software CFX<sup>®</sup>, as quais permitirão estudar as características técnicas das torres analisadas e seus efeitos sobre a ventilação interna do ambiente, bem como contribuir para a difusão desse sistema de ventilação no Brasil. A metodologia foi dividida nas seguintes etapas: definição e construção das geometrias das torres; definição das *parts*; determinação da malha e das condições de contorno; processamento da simulação e visualização dos resultados, os quais permitiram a análise e comparação das diversas configurações de projeto propostas, auxiliando, portanto, na determinação das configurações mais adequadas. O estudo permitiu verificar que as melhores distribuições das aberturas de entrada e saída para captação e distribuição do vento no interior dos ambientes foi da torre tetradirecional, proporcionando melhor condição de conforto térmico e economia de energia.

Palavras-chave: torre de vento, CFX<sup>®</sup>, ventilação natural, arquitetura bioclimática.

### **ABSTRACT**

Recent qualitative studies have shown that wind towers can be efficient as architectural solutions in promoting the renewal of air and hygrothermal comfort. This article evaluates two general types of towers, namely unidirectional, which has an opening for the entry of wind at locations where it blows in one direction, and tetradirectional, which has four openings in places where the wind blows in several directions. CFX<sup>®</sup> software was used for the computer simulations, which will enable to study the technical characteristics of the towers analyzed and their effects on the internal ventilation environment as well as contribute to the spread of this ventilation system in Brazil. The methodology was divided into the following steps: definition of the geometry and construction of the towers, definition of parts, and determination of the mesh and boundary conditions, processing and visualization of the simulation results, which allowed the analysis and comparison of the various configurations of the proposed project, helping to determine the most appropriate settings. The tetradirectional tower provided a better distribution of entry and exit openings for the collection and distribution of the wind within the environments as well as better thermal comfort conditions and energy savings.

Keywords: wind tower, CFX<sup>®</sup>, natural ventilation, bioclimatic architecture.

## 1. INTRODUÇÃO

No processo de ventilação natural, a massa de ar no interior dos ambientes deve ser continuamente retirada e substituída por ar fresco de uma fonte externa e limpa para manter a concentração de contaminantes em níveis satisfatórios, além de ser utilizada no resfriamento da massa edificada e/ou direcionada diretamente sobre os usuários com o objetivo de tornar os ambientes termicamente confortáveis.

Martins et al (2009) afirmam que em grande parte da região do Brasil, onde predomina o clima quente e úmido, as taxas de velocidade do ar são bastante altas e passíveis de serem amplamente utilizadas para proporcionar conforto por meio do uso de elementos de captação do vento em edificações. Apesar de ainda pouco empregadas, as torres de vento oferecem um eficiente aproveitamento desse recurso.

Segundo Bahadori (1994), as torres ou captadores de vento ou “Baud-Geers” (em persa) consistem em torres projetadas para “capturar” o vento, que passa acima da cobertura das edificações, e redirecioná-lo para os espaços interiores de uma edificação.

Para El Shorbagy (2010) a torre de vento é um elemento arquitetônico tradicional da Pérsia, utilizado durante muitos séculos, a qual Maleki e Shabestari (2010) afirmam que funciona sob dois mecanismos: diferença de pressão e de temperatura (figura 1).

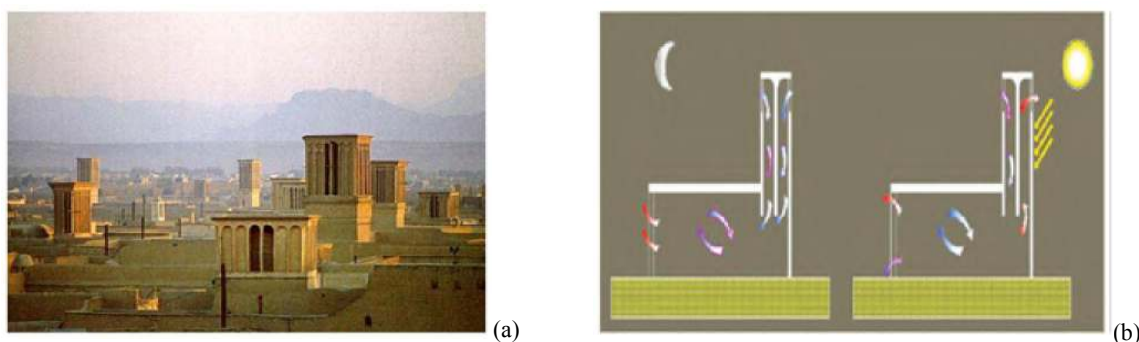


Figura 1 - Torres de vento no Irã (a) (EL SHORBAGY, 2010) e Mecanismo de uma torre de vento(b) (MALEKI e SHABESTARI, 2010).

A simulação computacional possibilita a análise da ventilação natural nesse sistema, pois para Fortuna (2000) o método de simulação numérica aplicado às áreas de Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor, conhecido por CFD (“Computational Fluid Dynamic”) ou DFC (“Dinâmica de Fluidos Computacional”) é a área da computação científica que estuda métodos computacionais para simulação de fenômenos que envolvem fluidos em movimento com ou sem trocas de calor. Isso inclui tanto o movimento de fluidos ao redor de um corpo como dentro de tubulações e turbinas. Basicamente, o usuário de DFC está interessado em obter as distribuições de velocidades, pressões e temperaturas na região do escoamento.

Stavarakakis et al (2010) avaliaram a ventilação natural de um edificação localizada em área rural utilizando o software Fluent<sup>®</sup> (CFD), no qual foram abordados o fenômeno físico e os efeitos de fatores de arquitetura em conforto térmico, como tamanho das aberturas e posição da edificação. Os resultados numéricos foram utilizados para calcular índices de conforto térmico, referindo-se tanto ao equilíbrio de calor da pele como as correntes de ar, e, tais índices foram comparados com dados da literatura, obtendo-se a compatibilidade entre os resultados. Concluiu-se que para as condições climáticas específicas estudadas (ou seja, o local específico ideal e os dados meteorológicos recolhidos), bem como para a construção de geometria específica, um dos melhores projetos é o de direção do fluxo vertical e metade da entrada de ventilação aberta.

Cheng et al (2011) realizaram uma investigação sistemática do fluxo de vento sobre um edifício em forma “H” e determinaram seus efeitos sobre a dispersão de poluentes para fora das baías, através de simulações no software CFX<sup>®</sup> (CFD), considerando essa edificação inserida em uma cidade metropolitana como Hong Kong. Os resultados, variando as dimensões e posições, revelaram que o fluxo de vento externo em torno de um edifício não é significativamente alterado pela presença de uma baía reentrante, seja a barlavento ou a sotavento, cujo fluxo ocorre em velocidade lenta. O padrão de fluxo dentro de uma baía no lado de sotavento do edifício é o contrário da de barlavento, na qual a vazão e o tempo de retenção são maiores. Em geral, a troca de ar e dispersão de poluentes são inferiores em baías mais altas e profundas, onde o vento induzido naturalmente pode não ser capaz de eliminar efluentes gasosos prejudiciais ou o calor das baías, sugerindo-se implantar uma baía rasa reentrante com profundidade menor do que 1/8 da largura do edifício.

Coelho et al (2011) investigaram, através de simulação CFD, a variação no tempo da distribuição de temperatura em um auditório durante os momentos nos quais o condicionador de ar está ligado e verificaram a diferença entre valores de temperatura simulados e obtidos experimentalmente. Um modelo CFD desse auditório foi criado e simulado utilizando o software CFX<sup>®</sup> 11, no qual foram utilizadas condições de contorno obtidas experimentalmente. Os resultados obtidos na simulação concordaram, de modo geral, com dados de temperatura obtidos experimentalmente. No entanto, há ainda espaço para que o modelo CFD utilizado e os resultados obtidos sejam melhorados. Modelos mais completos, contendo a modelagem de carga térmica geradas por pessoas devem ser incluídos para que a simulações possam refletir com maior fidelidade situações de ocupação de ambientes condicionados. Apesar das simplificações utilizadas no modelo, os resultados encontrados demonstram que a utilização de simulações CFD para avaliação de ambientes condicionados é promissora.

O objetivo básico da DFC é reduzir o número de experimentos e explorar fenômenos que não poderiam ser estudados em laboratório de forma prática. Utilizando as técnicas de DFC, pode-se avaliar numericamente os diversos parâmetros relevantes ao problema. Esses podem ser facilmente alterados até que o resultado da simulação atenda às exigências do projeto. Tudo isso de forma bem mais conveniente e a custos e tempos menores do que apenas utilizando técnicas experimentais e análises teóricas, combinadas com projeto inicial, ensaios e reprojeto. Atualmente é uma ferramenta poderosa para a solução de problemas, nestas e em outras áreas do conhecimento científico ou tecnológico.

## 2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo analisar e comparar a ventilação natural de edificações com dois tipos de torres de vento, a unidirecional, com uma abertura para a entrada de vento, em locais onde o vento se movimenta em uma direção, e, a tetradirecional, com quatro aberturas, em locais em que o vento age em várias direções, através de simulações computacionais utilizando o software CFX<sup>®</sup>.

## 3. MÉTODO

A análise computacional foi realizada utilizando o pacote computacional ANSYS CFX<sup>®</sup>, o qual segundo Oliveira, Mariano e Quadri (2009) é um software de simulação para resolução numérica de problemas envolvendo mecânica dos fluidos e transferência de calor (CFD). O programa emprega a metodologia de volumes finitos utilizando estruturas espaciais e gerando malhas correspondentes. Este procedimento será detalhado a seguir.

### 3.1. Software ICEM<sup>®</sup>

#### Descrição da geometria

A primeira etapa da simulação de um modelo CFD é construir a geometria e o domínio computacional no qual o método numérico será aplicado, dando origem ao modelo.

O modelo para CFX<sup>®</sup> pode ser confeccionado no módulo ICEM<sup>®</sup> ou em qualquer aplicativo de CAD<sup>®</sup>. No caso, foram construídas duas edificações com torres de geometria retangular, mas com a cobertura em lajes, e as aberturas estão presentes nas torres e na parede frontal da edificação. Nesse caso, a confecção do modelo foi realizada no AutoCAD<sup>®</sup>, da Autodesk<sup>®</sup>, utilizando as ferramentas “extrude”, “subtract” e “union”.

O modelo possui todos os elementos de interesse e suas características reais foram construídas com o máximo de precisão, pois a simplificação do modelo pode gerar dúvida sobre a confiabilidade dos resultados. Os detalhes da geometria do edifício devem ser considerados, senão muitas interferências deixam de ser consideradas, alterando os resultados (figura 2).

Após a finalização da geometria dos edifícios, elaborou-se o domínio fluido, que é o volume de um espaço determinado por onde o fluxo escoar, e é modelado para simular o escoamento que é externo à edificação, devendo ser estanque, ou seja, sem aberturas.

A dimensão do domínio foi definida como grande o suficiente para que o escoamento fosse plenamente desenvolvido sem que em suas fronteiras não houvesse a presença do edifício.

Finalizando, o edifício e o domínio foram unidos em um único modelo, eliminando todos os elementos externos às fronteiras do domínio (figura 3). O formato de exportação mais adequado é o ACIS<sup>®</sup>, compatível para ser aberto no Icem CFX<sup>®</sup>, para que o modelo seja exportado como um bloco único, sendo possível, caso necessário, separar as superfícies posteriormente no ICEM<sup>®</sup>.

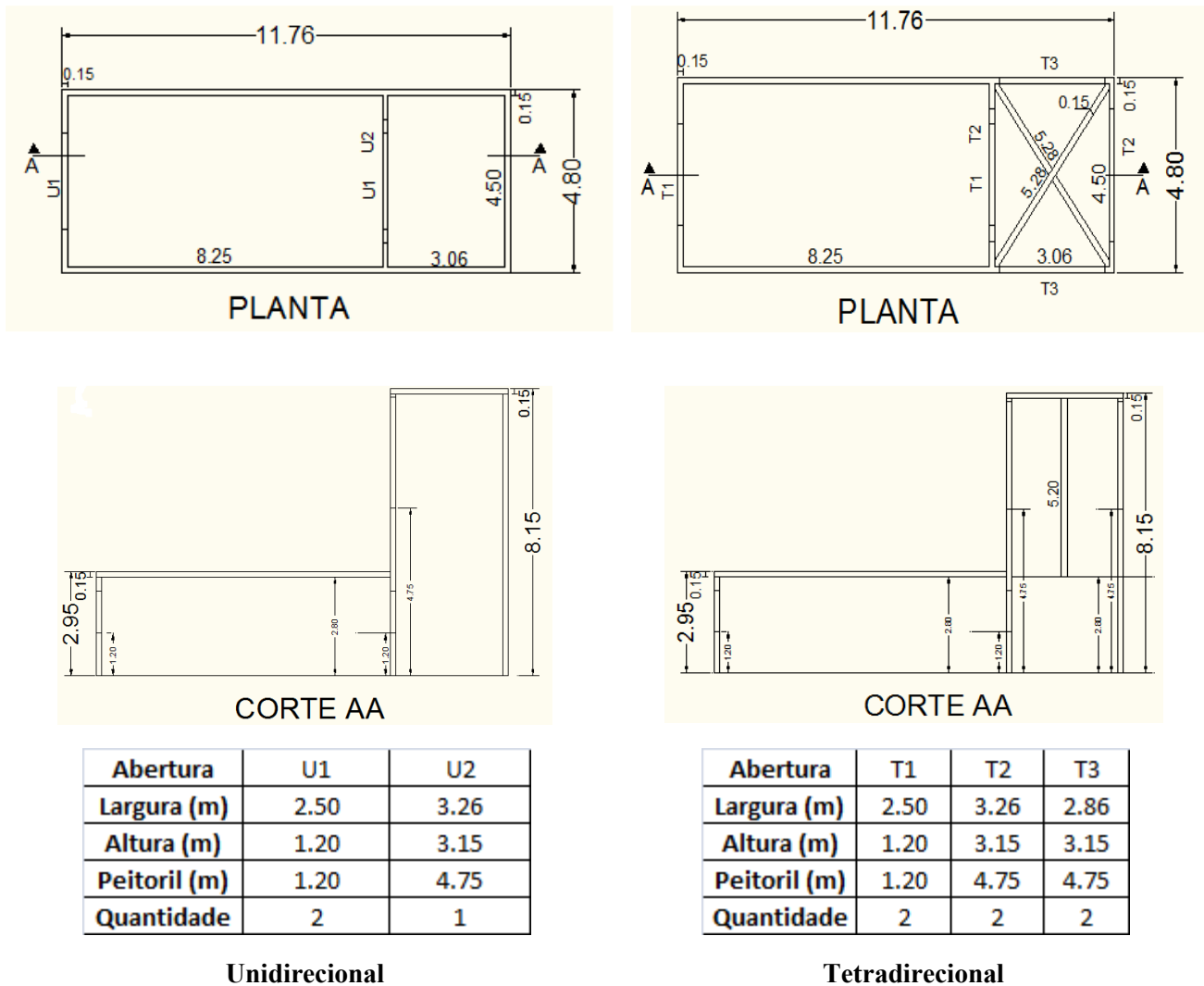


Figura 2 - Esquema das edificações com torres uni e tetradirecional

### Definição das Parts

Antes da geração da malha, agruparam-se as superfícies que receberam tratamento semelhante no pré-processamento. Tais grupos recebem o nome de Parts, que de acordo com as condições de contorno são: parede (wall); entrada (inlet); saída (outlet) e abertura (opening). Parede é uma condição de contorno que se refere a uma fronteira sólida, não permitindo a entrada ou a saída de fluido do domínio. Já os termos entrada (inlet), saída (outlet) ou abertura (opening) são condições de contorno referentes às fronteiras pelas quais o fluido entra ou sai do domínio.

Para facilitar a medição das grandezas aerodinâmicas como pressão, nas diferentes faces, as parts no edifício e torre foram selecionadas da seguinte forma: PAREDE\_BARLAVENTO (part correspondente a face do edifício a barlavento); PAREDE\_SOTAVENTO (part correspondente a face do edifício a sotavento); PAREDE\_LATERAL (part correspondente as faces laterais do edifício); PISO\_EDIFÍCIO (part correspondente ao piso do edifício).

### Determinação da malha

A malha é a discretização do espaço fluido dentro do domínio, definindo os pontos e volumes para os quais as equações Navier-Stokes são resolvidas, e é gerada automaticamente pelo programa, através de um método iterativo, após a determinação dos parâmetros máximos e mínimos dos elementos. Esses elementos são formados por tetraedros, pirâmides, prismas e hexaedros, distribuídos de forma regular, sendo que o número total de elementos determina a capacidade computacional necessária para rodar a simulação e o tempo utilizado em cada iteração. A malha foi automaticamente adequada à forma, refinando-se nos detalhes, os quais determinam o sucesso da simulação, cujos elementos encontram-se distribuídos de forma regular.

A malha foi refinada nas áreas com elevados gradientes, como as próximas a arestas vivas e outros pontos de descolamento da camada limite, como nas aberturas das torres e toda a área interna avaliada.

Um teste de refinamento da malha foi realizado para comparar os resultados, sendo que a malha construída não causou nenhuma alteração significativa nos resultados encontrados (figura 4).

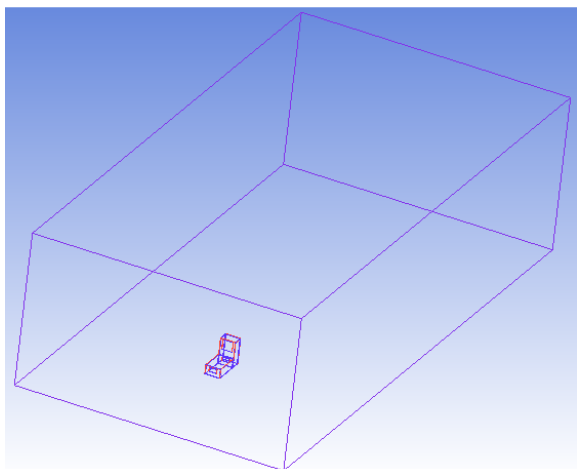


Figura 3 - Modelo do domínio e edificação com torre

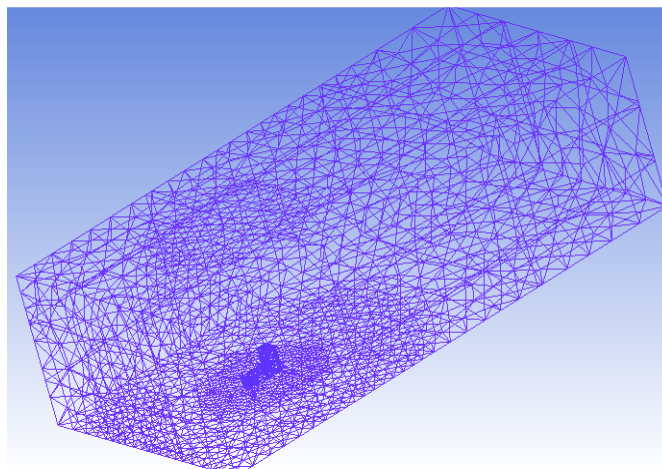


Figura 4 - Malha no domínio e na edificação com torre

### 3.2. Software CFX Pre<sup>®</sup>

#### Condições Iniciais

As simulações foram realizadas em regime permanente, uma vez que as condições de contorno se mantêm constantes, alterando-se apenas a velocidade de entrada de ar no modelo para cada posição: baixa (2m/s), média (5m/s) e alta (10m/s).

Em seguida, especificou-se o tipo de domínio como fluido, sendo que para fins de trabalho o ar é considerado como gás ideal e a pressão de referência como a pressão atmosférica local.

Quanto à determinação do regime térmico a ser utilizado considerou-se que simulações de vento em condição de estabilidade neutra normalmente desprezam as variações de temperatura, considerando que as forças mecânicas promovem uma mistura efetiva do ar que se torna isotérmico.

Por fim, definiu-se o modelo de turbulência, o modelo k-ε (k-Epsilon), por oferecer a melhor relação custo (tempo de processamento) benefício (precisão) e as funções turbulentas de superfície se tornaram como scaleble (padronizadas), para se ajustarem às interações entre o fluido e as superfícies sólidas.

#### Condições de Contorno

Deu-se o tratamento diferenciado às paredes “reais” (como as do edifício e do piso, que são classificadas como sem escorregamento) e às paredes “para fins de simulação” (como o teto e as bordas laterais do domínio, que são classificadas como com escorregamento). Nas paredes classificadas como “com escorregamento” não há camada limite e o fluido não adere ao sólido, o que minimiza os efeitos dessa fronteira na simulação.

No caso das paredes reais, a condição adotada é a de não escorregamento do fluido, e as partículas fluidas aderem à fronteira sólida, onde a velocidade do fluido neste ponto é igual a zero. À medida que é mantida essa condição de não escorregamento, afeta no arrasto provocado pela parede e na camada limite que se formará devido a sua presença, sendo necessário definir a sua rugosidade. A rugosidade pode ser definida como lisa (smooth) e rugosa (rough).

#### Controle de solução

O controle de solução determinou os parâmetros para a solução matemática do modelo pelo módulo de cálculo, nos quais foram estabelecidos: o intervalo de tempo, o número máximo de iterações e o critério de convergência a ser adotado. As simulações foram interrompidas quando se atingiu ou o número máximo de iterações ou o critério de convergência.

### 3.3. Software CFX Solver<sup>®</sup>

Após as etapas de elaboração do modelo, criação da malha e definição dos parâmetros no CFX-Pre<sup>®</sup>, iniciou-se a simulação propriamente dita no CFX-Solver<sup>®</sup>. Quando a simulação começou a ser rodada observou-se a evolução do critério de convergência adotado para massa, momento, energia e turbulência.

### 3.4. Software CFX Post®

#### Convergência

A confiabilidade dos resultados gerados na simulação foi observada através da convergência, considerando que a convergência de  $10^{-4}$  como meta das simulações.

No fim do processamento da simulação, o CFX® gerou um arquivo de resultados que contém o resultado de todas as etapas realizadas e para visualizá-lo em forma de imagens, este arquivo foi importado para o CFX-Post®, última etapa do processo do CFX®.

#### Visualização dos Resultados

Quando a simulação foi concluída, o software gerou um arquivo de resultados, que permitiu a obtenção de diferentes informações do escoamento, e os resultados puderam ser analisados de forma qualitativa e quantitativa.

O software disponibilizou como resultado uma tabela para cada ponto discreto do escoamento, com um conjunto de valores que representam as grandezas calculadas, como velocidade e pressão, as quais foram apresentadas de forma gráfica: imagens dos vetores de direção dos ventos, onde a trajetória de cada ponto é ilustrada pela direção do vetor correspondente, indicando a direção local do escoamento nos diferentes pontos da região e imagens dos contornos das velocidades de vento, utilizando escalas de cores apropriadas, além das imagens das pressões nas aberturas das torres estudadas.

Nesse trabalho são mostradas somente as imagens de contorno, as quais permitiram fazer uma análise qualitativa do escoamento de forma rápida e direta. Importantes detalhes do escoamento puderam ser convenientemente visualizados, como as zonas de recirculação devido à separação da camada limite.

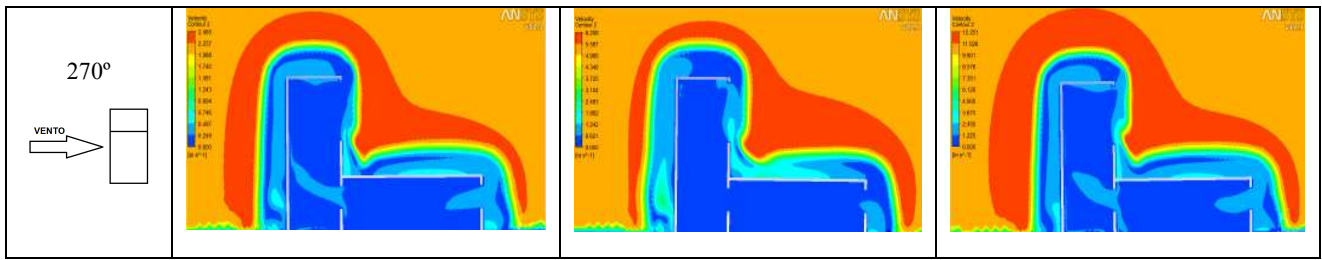
## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1. Simulações de velocidade

Os resultados dessas simulações encontram-se representados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Velocidades do ar para a torre unidirecional

Posição x Velocidade	v=2m/s	v=5m/s	v=10m/s
0° 			
90° 			
180° 			



Percebe-se que em cada uma das quatro posições analisadas não há grandes diferenças entre a distribuição do ar ao longo da torre e da edificação, apenas aumenta a velocidade do ar sobre as mesmas (tabela 1).

Na posição 0° a velocidade diminui a medida que se aproxima da torre, fato explicado pela construção ser uma barreira para o vento.

Quando a torre está a 90° a velocidade do ar no interior da construção é mínima, pois a abertura está do lado oposto ao vento.

Para a posição de 180° os valores de velocidade do ar são maiores no interior das construções, pois embora a abertura esteja do lado oposto ao vento, há geração de turbulência na saída do ar.

Considerando a posição de 270° nota-se que, apesar da simetria com a torre de 90°, a velocidade do ar varia ao longo da torre, mas diminui no interior da edificação, sendo a abertura da torre maior que a da edificação, ela permite uma maior passagem de ar.

Tabela 2 - Velocidades do ar para a torre tetradirecional

Posição x Velocidade	v=2m/s	v=5m/s	v=10m/s
0° VENTO →			
90° VENTO →			
180° VENTO →			
270° VENTO →			

Na torre tetradirecional observa-se o mesmo que a unidirecional, não há grande variação da distribuição do ar no interior das construções, existe apenas um aumento nos valores da velocidade do ar (tabela 2).

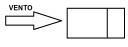
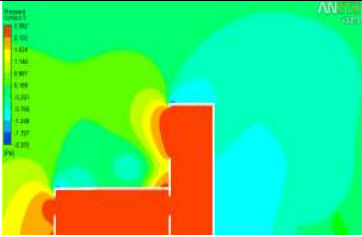
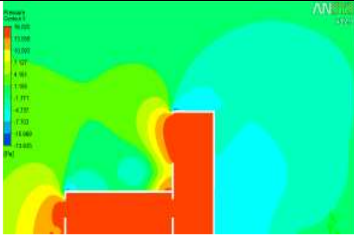
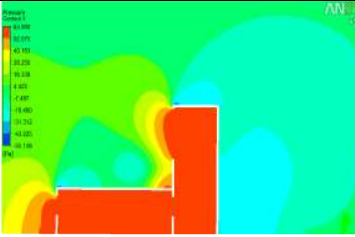



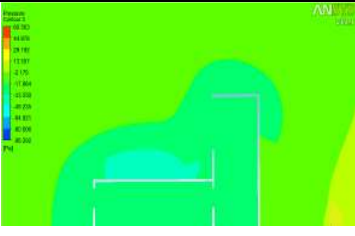
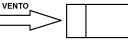



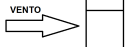

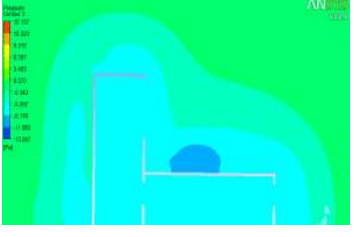

Entre as quatro posições analisadas, a de 0° é a que apresenta melhor distribuição do ar no interior da edificação, devido as aberturas da torre localizadas na direção do vento estarem sob o efeito do mesmo. Isso explica a posição de 90° ser a pior distribuição interna, pois as aberturas localizadas na direção da edificação estão paralelas ao vento, tornando mais difícil a sua entrada ao longo da torre.

Para as posições de 180° e 270° há apenas uma melhor distribuição do ar ao longo da torre, mas menos satisfatória no interior da edificação, pois as aberturas que captam o vento estão mais distantes da edificação.

#### 4.2. Simulações de pressão

Os resultados dessas simulações encontram-se representados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3- Pressões para a torre unidirecional

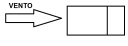
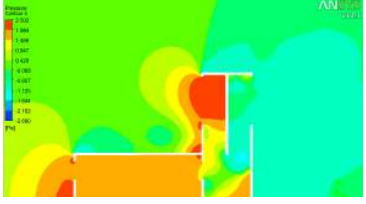

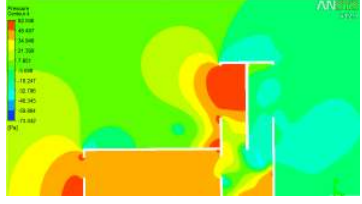
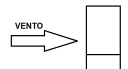


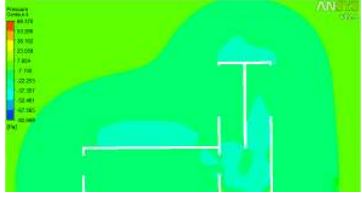
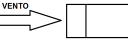
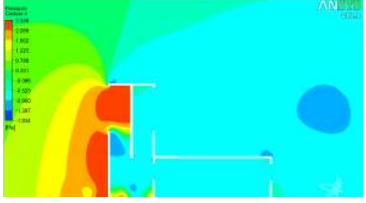


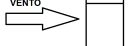



Posição x Velocidade	v=2m/s	v=5m/s	v=10m/s
0° 			
90° 			
180° 			
270° 			

Assim como nos gráficos de velocidade, não há variação na distribuição de pressão em cada uma das quatro posições simuladas (tabela 3).

Nota-se que para as posições de 0° e 90° os valores das pressões atingem o máximo nas construções por estar a abertura da edificação mais próxima do ar em movimento, ocorrendo o oposto com as posições de 180° e 270°, onde essa abertura localiza-se oposta à direção do vento.



Tabela 4- Pressões para a torre tetradirecional

Posição x Velocidade	v=2m/s	v=5m/s	v=10m/s
0° 			
90° 			
180° 			
270° 			

Na torre tetradirecional não há variação da distribuição da pressão, ocorre apenas nos valores das velocidades do ar (tabela 4).

Nas posições de 0° e 180° as pressões atingem os valores máximos por estarem com suas aberturas mais próximas do vento.

Entretanto, nas posições de 90° e 270° há uma queda nesses valores, fato explicado pelas aberturas localizadas na direção da edificação se situarem paralelas à direção do vento. Observa-se ainda que a pressão no interior da edificação é maior na de 270°, justificado pela abertura da edificação ter maior captação comparada à de 90°.

## 5. CONCLUSÕES

A comparação entre as duas torres de vento, em relação à velocidade do ar interna à edificação, permitiu concluir que a torre tetradirecional a 0° em relação a direção do vento é a mais eficiente por possuir maior distribuição do ar captado.

Quanto aos valores de pressão observou-se que as aberturas mostraram-se eficientes para a entrada do fluxo de ar, mas considerando as três faixas de velocidade (baixa, média e alta) foi a torre tetradirecional nas posições de 0° e 180° que apresentou maiores valores nas aberturas superiores, permitindo maior movimento do ar no interior da edificação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSYS. CFX 12.1 Solver Models. Southpointe: CFX, 2009.

BAHADORI, M.N. Viability of wind towers in achieving summer comfort in the hot arid regions of the Middle East. **Renewable Energy**, v. 5, n. 5-8, p. 879-892, Aug. 1994.

- CHENG, C.K.C. *et al.* Wind-induced natural ventilation of re-entrant bays in a high-rise building. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 99, n. 2-3, p. 79-90, Feb.-Mar. 2011.
- COELHO, A.L.F. *et al.* Simulação CFD em regime transiente de um auditório para o levantamento da distribuição de temperaturas durante os períodos de refrigeração de condicionador de ar tipo split. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2011, Búzios. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2011.
- EL-SHORBAGY, A.M. Design with nature: windcatcher as a paradigm of natural ventilation device in buildings. **International Journal of Civil & Environmental Engineering**, v. 10, n. 3, p. 26-31, Jun. 2010.
- FORTUNA, A. R. **Técnicas computacionais para dinâmica dos fluidos: conceitos básicos e aplicações**. São Paulo: EdUSP, 2000.
- MALEKI, B.A.; SHABESTARI, A.F. Optimization of Badgir (wind tower) in Iranian hot-arid region architecture. In: CONFERENCE ON TECHNOLOGY & SUSTAINABILITY IN THE BUILT ENVIRONMENT, 1, 2010, Riad. **Anais...** Riad: CAP/KSU, 2010. Disponível em: <[http://ipac.kacst.edu.sa/eDoc/2010/183460\\_1.pdf](http://ipac.kacst.edu.sa/eDoc/2010/183460_1.pdf)>. Acesso em: 21 fev. 2011.
- MARTINS, T.A.L. *et al.* O uso de torres de vento em edificações residenciais geminadas de meia morada. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2009, Natal. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2009.
- OLIVEIRA, B.Y.; MARIANO, G.C.; QUADRI, M.B. Um estudo CFD de vazamento de óleo a partir de dutos submersos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2009, Uberlândia. **Anais...** São Paulo: ABEQ, 2009. Disponível em: <[www.cobeqic2009.feq.ufu.br/uploads/media/99517091.pdf](http://www.cobeqic2009.feq.ufu.br/uploads/media/99517091.pdf)>. Acesso em: 23 mar. 2010.
- STAVRAKAKIS, G.M. *et al.* Development of a computational tool to quantify architectural- design effects on thermal comfort in naturally ventilated rural houses. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 65-80, Jan. 2010.