

UTILIZAÇÃO DE CFD PARA DEFINIÇÃO DE COEFICIENTES DE PRESSÃO EXTERNOS DE UM EDIFÍCIO

Daniel Cóstola (1); Márcia P. Alucci (2)

(1) Eindhoven University of Technology (d.costola@tue.nl)

(1) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo FAU – USP (daniel_costola@uol.com.br)

(2) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo FAU – USP (marcialu@usp.br) LABAUT / FAU-USP – Rua do Lago, 876 05508-900, São Paulo, SP Fone: 3818.4539

RESUMO

Os coeficientes de pressão (C_p) de um edifício são um dos principais parâmetros no estudo da ventilação natural por ação dos ventos. Recentemente, simulações de dinâmica dos fluidos computacional (CFD – Computational Fluid Dynamics) têm sido utilizadas para determinar os valores de C_p em edifícios, como forma alternativa aos estudos em túnel de vento. Contudo, simulações de CFD apresentam diversos desafios com relação aos dados de entrada, parâmetros e modelos adotados. Este artigo reporta os resultados de uma pesquisa destinada a avaliar a viabilidade do uso de simulações de CFD para a obtenção de C_p , assim como a importância na configuração das simulações. Inicialmente, uma breve revisão bibliográfica sobre a metodologia empregada nas simulações é apresentada. Com base nesta revisão, foram realizadas 86 simulações, considerando diversas opções de dados de entrada e configurações. Como estudo de caso, adotou-se um edifício isolado de cinco pavimentos, tipicamente utilizado em projetos de habitação de interesse social (HIS) no Brasil. O artigo conclui que o uso de CFD para obtenção de C_p é viável e constitui uma importante alternativa aos ensaios em túnel de vento. Contudo, a configuração incorreta da simulação leva a consideráveis desvios. Em particular, o teste de independência da malha se mostrou fundamental para uma boa simulação, assim como a definição do perfil de vento. Futuros trabalhos devem se concentrar na validação das simulações.

Palavras-chave: coeficiente de pressão, CFD, CFX.

ABSTRACT

Pressure coefficients (C_p) are an important parameter in the study of wind-driven natural ventilation in buildings. In the recent times, Computational Fluid Dynamics (CFD) has been applied to provide C_p values, as an alternative to wind tunnel experiments. However, CFD simulations present several challenges regarding the input data, parameters and model setup. This paper presents the results of research conducted to assess the viability of using CFD to obtain C_p , focusing on the simulation setup. The first part of the paper presents a brief literature review about CFD simulation of wind flow around buildings. Based on this review, a total of 86 CFD simulations were performed, varying the input data and simulation settings. An isolated 5-stores social housing building was adopted as a case study. This paper concludes CFD simulations are a viable and important alternative to obtain C_p values, but its correct configuration is fundamental to have reliable results. In particular, the mesh independence test proved to be fundamental to assure a good simulation. Future works should focus on the validation of the simulations.

Keywords: pressure coefficient, CFD, CFX.

1. INTRODUÇÃO

Os coeficientes de pressão (C_p) de um edifício são um dos principais parâmetros no estudo da ventilação natural por ação dos ventos, sendo dado de entrada de diversos programas computacionais: EDSL-TAS, Energy Plus, ESP-r, Aiolos, Contam, etc. Contudo, sua obtenção em estudos em túnel de vento nem sempre é possível, em razão dos custos, equipamentos e conhecimento técnico envolvidos.

Define-se coeficiente de pressão (C_p), como sendo o quociente adimensional da pressão dinâmica medida em um ponto x na parede do modelo (P_x) pela pressão dinâmica do fluxo de ar (vento) não perturbado (P_d) (ETHERIDGE; SANDBERG, 1996; AWBI, 1998).

$$C_p = \frac{P_x}{P_d}, \quad \text{onde } P_d = \frac{\rho \cdot V_{ref}^2}{2} \quad [\text{Eq. 01}]$$

A pressão dinâmica do fluxo não perturbado é a força por unidade de área exercida pelo vento em um plano ortogonal ao sentido do escoamento, na qual: P_d é a pressão dinâmica do fluxo (em Pa); V_{ref} é a velocidade do vento (m/s); e ρ é a massa específica do ar (kg/m^3). A massa específica do ar é função da temperatura e pressão atmosférica, sendo, por exemplo, igual a $1,2 \text{ kg/m}^3$ à temperatura de $15 \text{ }^\circ\text{C}$ e pressão de 1 atm

Como a velocidade do vento varia em função da altura, o mesmo ocorre com a pressão dinâmica. Assim, define-se que para efeito da determinação de C_p , a pressão dinâmica deve ser medida na altura do topo do edifício.

O valor de C_p depende da forma do edifício, do entorno, da direção do vento. Uma prática comum na ausência de dados de C_p para um edifício consiste no uso de valores obtidos para um edifício de formato parecido. A bibliografia oferece diversos dados de C_p médio para as faces de formas simples, como cubos, cilindros, paralelepípedos de diferentes proporções e afins. Contudo, raramente é possível encontrar dados para edifícios igualmente simples, como aqueles com planta em “L” ou “H”, ou com entorno de geometria variada, comumente encontrados em ambiente urbanos (COSTOLA; BLOCKEN; HENSEN, 2009).

Quando a obtenção de C_p por meio de túnel de vento não for possível, a dinâmica dos fluidos computacional, mais conhecida pela sigla em inglês CFD, oferece uma alternativa para a simulação do escoamento ao redor dos edifícios e a obtenção de C_p (COSTOLA; BLOCKEN; HENSEN, 2009).

2. OBJETIVO

Este artigo tem por objetivo avaliar a viabilidade no uso de simulações de CFD para a obtenção de C_p , assim como determinar a importância da configuração das simulações nos resultados obtidos.

3. MÉTODO

Nesta pesquisa, o programa computacional CFX foi adotado para a produção dos exemplos, mas outros programas apresentam basicamente as mesmas funções e é possível estender a eles as colocações das próximas seções. Por uma questão de clareza, diversos termos relacionados ao uso de programas de CFD são apresentados em inglês no texto e nas figuras.

Optou-se por contextualizar cada um dos parâmetros e métodos adotados com uma breve descrição teórica, de forma a facilitar o entendimento das decisões tomadas no decorrer da pesquisa e apresentar as principais referências adotadas.

3.1. Discretização das equações

Cfx (2003) e Cost (2004) aconselham usar discretizações de primeira ordem para estudos iniciais de um problema (como testes do modelo e da malha), mas apenas utilizar resultados produzidos com discretizações de segunda ordem. No software CFX esta opção está disponível na utilização de “high order” em “advection schemes”, a qual foi adotada neste trabalho.

3.2 Malha

A simulação de CFD deve buscar independência do resultado obtido em relação à densidade da malha adotada. Para assegurar esta independência, deve-se proceder sempre a um teste de refinamento da malha e comparação dos resultados: a malha deve ser tal que o seu refinamento não cause alteração significativa do resultado encontrado (COST, 2004). O principal sintoma apresentado por uma malha “grossa”, ou seja, não refinada o suficiente para garantir independência, é a obtenção de resíduos inadequados.

Nesta pesquisa foi adotada uma malha não estruturada, dotada de células prismáticas junto das fronteiras sólidas. Foram realizadas simulações para determinar a independência dos resultados em relação à malha, e resultando na malha da Figura 1. A malha não estruturada não é a mais adequada devido ao aumento da difusividade, porém a criação deste tipo de malha é muito mais simples, e sua utilização é rotineira em atividades de consultoria.

Nas fronteiras sólidas rugosas, a primeira célula está localizada acima da altura da rugosidade especificada, devido ao uso de “wall functions” (CFX, 2003; COST, 2004; HARRIES, 2005).

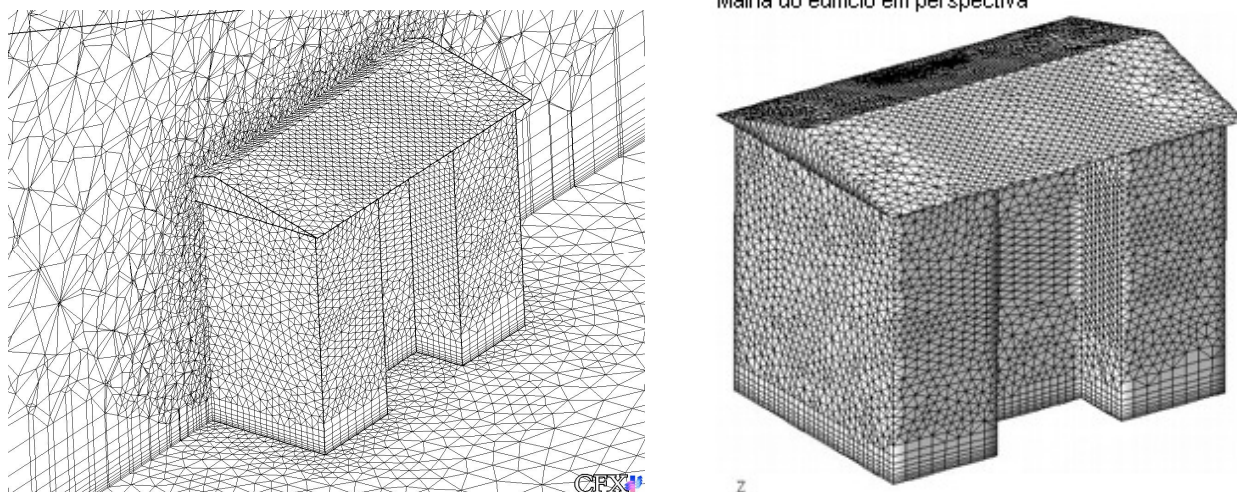


Figura 1 – Malha após refinamento

3.3 Modelos de turbulência

Devido a limitações na capacidade de processamento, e contrariando as orientações Cost (2004), foi adotado o modelo κ - ϵ . Cfx (2003) não fornece orientação com relação a este tema, enquanto Harries (2005) defende o uso do modelo κ - ϵ , também utilizado por Yang (2004). O uso de modelos mais sofisticados e cuja qualidade é reconhecida na literatura, como o “Detached eddy simulation” (DES) ou “Large eddy simulation” (LES) ainda não é uma realidade para a determinação de C_p em situações corriqueiras, devido às altas capacidades de processamento e armazenamento necessárias.

3.4 Característica do modelo para simulação

Foram adotadas as recomendações de Cost (2004), adotando-se uma taxa de obstrução inferior a 3% da seção do domínio. Devido ao uso de um domínio de forma “circular”, adotou-se um espaçamento igual a 10 vezes a altura do edifício em todas as direções. A altura do domínio é igual a 5 vezes a altura do modelo.

3.5 Condições de contorno

Nas paredes do edifício e no piso do modelo vale a condição de não escorregamento, assim estas fronteiras foram definidas como “no slip”. Todas as superfícies foram definidas como lisas, com exceção de um grupo de simulações na qual o impacto da adoção de rugosidade no piso foi analisado. No teto do domínio adotou-se a condição de contorno “free slip”.

A Figura 2 apresenta duas formas de domínio passíveis de utilização em simulações para determinar C_p . O domínio em forma de paralelepípedo apresenta menor volume e utiliza condições de contorno mais adequadas. Contudo ele se presta a simular apenas uma direção do vento. O domínio circular é mais adotado, pois pode-se utilizar a mesma modelagem e malha para simular qualquer direção do vento. Para tanto, as laterais do domínio são configuradas como aberturas (“openings”), às quais é atribuída uma velocidade nas componentes cartesianas x, y, z . A velocidade na direção z é igual a zero, e as outras componentes são dadas não como valores fixos, mas como variáveis cujo valor é definido pelo usuário para cada direção do vento por meio de um arquivo de texto. Assim é possível alterar a direção do vento apenas pela edição deste arquivo, sem a necessidade de editar o modelo no programa de CFD. As desvantagens desta forma de simulação são: o maior número de células e a imposição do perfil de velocidade na saída do modelo, mascarando os efeitos de distâncias a sotavento inadequadas.

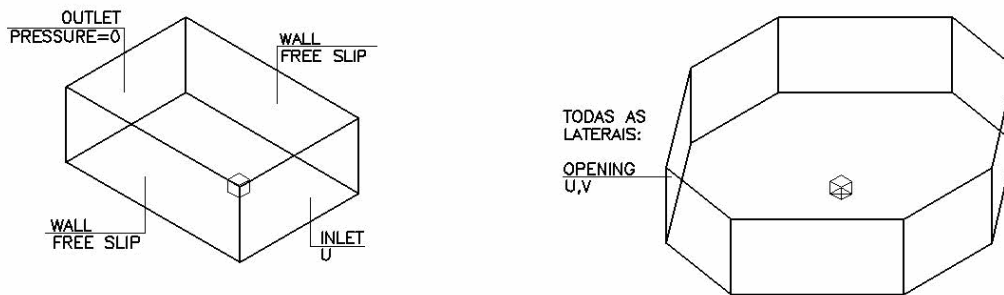


Figura 2 . Condições de contorno para duas formas de domínio possíveis.

Com relação ao perfil de vento, adotou-se um perfil logarítmico correspondendo a camada limite planetária neutra (STULL, 1998), sem qualquer correção de caráter topográfico ou de rugosidade. No CFX a forma mais adequada de configurar este perfil é por meio de um arquivo CCL, e da inicialização das simulações via arquivo BAT (HARRIES, 2005). Um exemplo de arquivo CCL é fornecido em COSTOLA (2006). Quanto a intensidade de turbulência, adotou-se nas simulações o valor sugerido pelo CFX, 5%.

3.6 Tratamento das fronteiras sólidas

Adotou-se o uso de “wall functions” em detrimento do “enhanced wall treatment”, pois estas permitem representar os fenômenos na camada limite em função da rugosidade da superfície. O uso de “wall functions” permite também o uso de malhas menos densas, e não representa uma simplificação excessiva para problemas sem transferência de calor e massa.

O sucesso no uso de “wall functions” exige o correto posicionamento dos pontos da malha próximos às fronteiras sólidas. Este deve ser compatível com o fluido e com o gradiente de velocidades presentes na simulação. Para tanto, Cfx (2003) recomenda quando do uso do modelo de turbulência κ - ϵ , que o valor do “dimensionless wall distance” (y^+) esteja entre 20 e 100. Cost (2004) aconselha um valor entre 30 e 100 para y^+ . O valor de y^+ é um dado de saída da simulação, não podendo ser fixado a priori, e será discutido junto com os resultados das simulações.

3.7 Convergência

Cost (2004) aconselha que os resíduos obtidos na simulação sejam iguais ou inferiores a 10^{-4} , enquanto Cfx (2003) indica que simulações com resíduos acima de 10^{-4} são muito pouco confiáveis, e servem apenas para fornecer uma idéia superficial sobre o escoamento e “produzir imagens bonitas”.

3.8 Operacionalização do cálculo de C_p

Uma vez simulado o escoamento ao redor do edifício, o cálculo de C_p é realizado de maneira similar ao realizado com dados de túnel de vento. No caso do uso do CFX, deve-se definir pontos com coordenadas específicas no programa de pós-processamento, posicionados no centro das aberturas. Os dados de pressão nestes pontos são então exportados para um arquivo de texto. Um ponto adicional deve ser posicionado no fluxo não perturbado antes do edifício, para obter os dados de velocidade e massa específica com os quais a pressão dinâmica é calculada. De posse destes valores, calcula-se o C_p para os pontos de interesse.

3.9 Características das Simulações

Como objeto das simulações, escolheu-se um tipo de edifício comumente encontrado nas cidades brasileiras, o edifício com planta H (18,25 x 12,70 x 15,45 m) usado em conjuntos habitacionais de interesse social. Nas simulações com entorno, utilizou-se o projeto de um conjunto habitacional no município de Guarulhos, o Residencial Nova Petrópolis 2. A modelagem do edifício foi feita com o programa AUTOCAD, e exportada em formato IGES para o CFX, pelo uso do programa RHINO.

As simulações foram processadas em computadores do LABAUT FAU-USP, com processador Pentium de 2 Ghz e 500Mb ou 1Gb de memória RAM. Algumas simulações planejadas não puderam ser realizadas devido à falta de capacidade de processamento das máquinas, como as que envolviam grandes extensões de entorno. O processamento em paralelo, que seria a melhor solução para problemas de falta de

capacidade de processamento, não foi utilizado devido às dificuldades enfrentadas na configuração do programa.

Foram realizadas 86 simulações de forma a explorar um conjunto de parâmetros relevantes em simulações de CFD, e que permitiram reproduzir conclusões comumente encontradas na bibliografia.

Em particular, estudou-se o comportamento do modelo face às seguintes alterações: direção de incidência do vento, perfil de velocidades médias na entrada e saída do modelo, rugosidade no piso do modelo (entorno do edifício), resolução da malha utilizada na simulação.

É importante salientar que estes resultados podem apresentar discrepâncias com a realidade, uma vez que os mesmos não foram validados experimentalmente e é conhecida a deficiência do modelo de turbulência κ - ϵ na descrição de descolamentos da camada limite.

Nas simulações, os valores de C_p foram determinados para ângulos com intervalos de 30° recomendados em Cost (2004), ou seja, para as direções 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°, 210°, 240°, 270°, 300° e 330°.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Perfil de velocidades médias do vento

A Figura 3 apresenta a comparação entre as distribuições de C_p em uma face de um modelo no qual foram simulados diferentes perfis de velocidade do vento. Foram utilizados perfis logarítmicos correspondentes a rugosidades variando de 0,001 a 0,3.

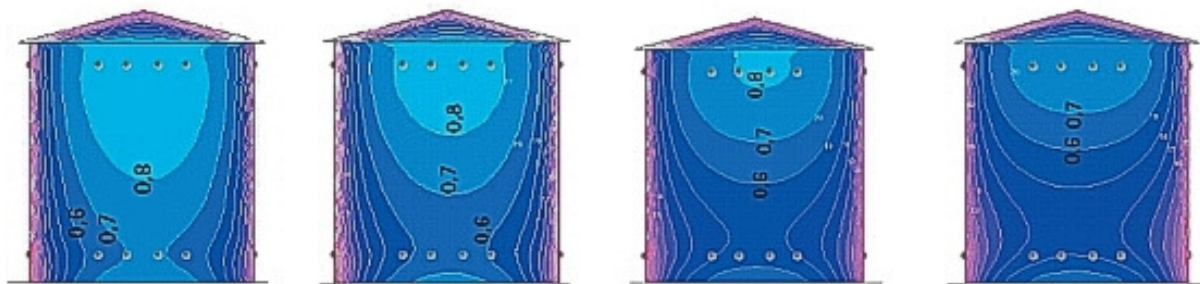


Figura 3 - Distribuição de C_p na face à barlavento para diferentes perfis de vento, correspondentes a rugosidades respectivamente de (0,001) (0,01) (0,1) (0,3)

Da análise desta Figura, pode-se concluir que o valor de C_p é fortemente influenciado pelo perfil de velocidade do vento na entrada e saída do domínio.

Com base nesta constatação, pode-se afirmar que o valor de C_p para o uso no projeto de ventilação natural deve ser obtido por meio de ensaios ou simulações que considerem a rugosidade do entorno do edifício, sendo que resultados genéricos para perfis de velocidade não especificados podem levar a erros no projeto de ventilação natural.

4.2 Rugosidade no piso do modelo

De forma a estudar a influência da rugosidade no piso do modelo, foram realizados dois grupos de simulações, as quais diferem apenas pelo tratamento dado ao piso. Em um grupo de simulações utilizou-se o piso “liso”, e no outro o piso tem rugosidade igual àquela utilizada para definir o perfil de entrada (0,1 m neste caso). Para cada condição (com e sem rugosidade) foram feitas 12 simulações variando a direção de incidência do vento. Foram escolhidos 20 pontos de interesse (janelas do prédio) para o cálculo de C_p .

Para comparar os resultados das simulações, foram calculadas as diferenças entre os valores de C_p encontrados nas simulações com e sem rugosidade no piso. A Figura 4 apresenta um histograma com as frequências das diferenças entre os valores de C_p obtidos nos dois grupos de simulações.

Pode-se notar que na maior parte dos casos (350 de um total de 480 casos) não há diferença entre o resultado das duas simulações. Em 10% dos casos (50 casos), C_p é superdimensionado em 0,1, e em 10% dos casos ele é sub-dimensionado na mesma proporção. Nos 8% dos casos restantes a diferença entre as simulações ultrapassa 0,1 em módulo, ou seja, pode-se dizer que a presença de rugosidade no piso afeta o resultado de maneira significativa. Portanto, a rugosidade no piso do modelo altera os resultados, e deveria ser utilizada por proporcionar uma melhor descrição da realidade. Contudo, em áreas com diversos edifícios, a área de piso entre os edifícios deve ser modelada como lisa, segundo Cost (2004).

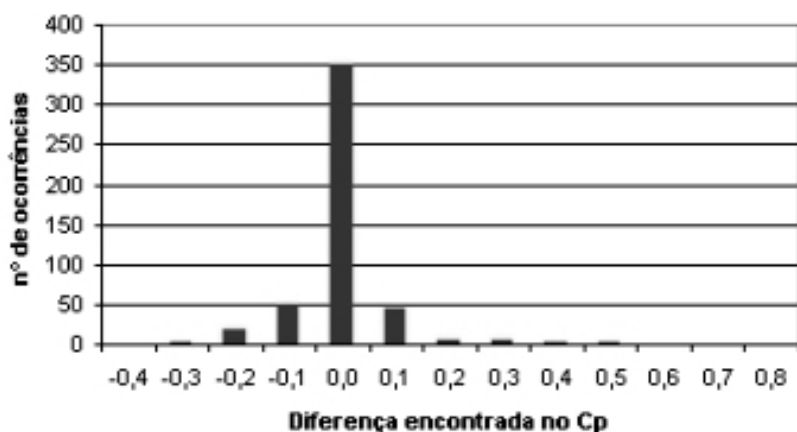


Figura 4 - Histograma com a frequência absoluta de ocorrência para cada diferença entre os C_p de um mesmo ponto, calculados em simulações com e sem rugosidade no piso do modelo

Blocken, Stathopoulos e Carmeliet (2007) apontam para a incapacidade das “wall functions” em manter os perfis de velocidade e turbulência adotados como condição de contorno ao longo do domínio.

Conclui-se que o tratamento da rugosidade no piso do modelo ainda representa uma questão em aberto, para a qual ainda não existe consenso quanto à solução a adotar.

1.1 Independência da Malha

Em grande parte das simulações realizadas, o resíduo foi da ordem de 10^{-3} , sendo alcançado um resíduo de 10^{-4} nas simulações com malhas refinadas. Nas simulações com malhas grossas, os resíduos estabilizaram após 20 iterações, tendo as simulações sido programadas para serem finalizadas após 100 iterações, caso não se atingisse o resíduo de 10^{-4} .

Para avaliar a independência da malha foram realizadas simulações com três malhas com diferentes graus de refinamento (Petro4r0001smooth e Par4-inf08_set3, Par4-inf08_set3), para um vento incidindo a 0° no modelo. A Figura 5 ilustra os resultados de cada simulação por meio de barras cujo comprimento equivale ao C_p encontrado, para cada uma das janelas do pavimento térreo. As barras marrons representam a simulação com malha mais grossa, e as amarelas, com a malha mais refinada. Nota-se uma grande diferença entre o comprimento das barras marrons e laranjas, mostrando que este refinamento provocou grandes alterações nos resultados encontrados. A diferença de comprimento diminuiu quando se compararam as barras laranjas e as amarelas, sinalizando a obtenção da independência da malha.

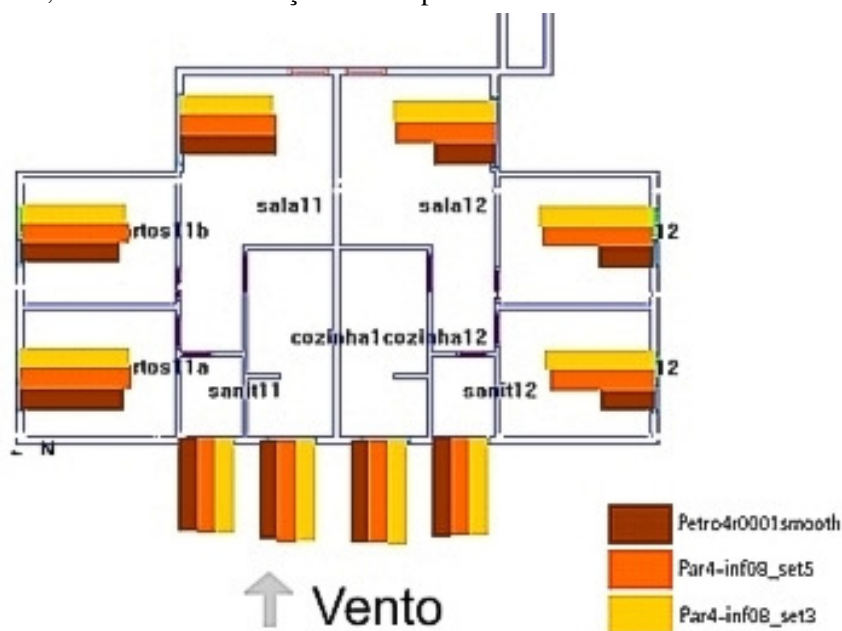


Figura 5 - Pavimento térreo: comparação entre as simulações com diferentes malhas. O comprimento das barras é proporcional ao C_p em cada janela.

A assimetria nos resultados com a malha não refinada (barras marrons) é um claro indicativo da inadequação desta malha. Na medida em que a malha é refinada esta assimetria desaparece.

Os resíduos encontrados na simulação com a malha refinada foram próximos a 10^{-4} , indicando que esta malha é a mais adequada. Seria conveniente testar uma ou duas malhas ainda mais refinadas, para que se pudesse estabelecer a malha correta para esta simulação. Contudo, cada refinamento na malha envolve maior capacidade de processamento e memória RAM. No caso destas três simulações, a malha teve um acréscimo total de 40% no número de elementos, o que elevou o tempo de processamento em 30%.

4.3 Simulação da camada limite

Nas simulações realizadas o menor valor médio de y^+ obtido foi de 600, obtido nas simulações com malhas refinadas e com o primeiro ponto da malha a 8 cm do piso do modelo. O intervalo indicado na literatura não pôde ser atingido a despeito da pequena distância utilizada para o primeiro ponto da malha.

4.4 Valores de referência C_p para o edifício em questão

A Tabela 1 apresenta os valores finais de C_p , obtidos utilizando-se um perfil logarítmico com $z_0=0,1$ m, rugosidade aplicada no piso do modelo e independência da malha.

Tabela 1 – Valores de C_p para o edifício em questão

| | 0° | 30° | 60° | 90° | 120° | 150° | 180° | 210° | 240° | 270° | 300° | 330° |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| sala11 | -0,61 | -0,06 | 0,60 | 0,79 | 0,69 | 0,24 | -0,42 | -0,53 | -0,62 | -0,14 | -0,53 | -0,23 |
| cozinha 11 | 0,70 | 0,57 | -0,07 | -0,59 | -0,47 | -0,37 | -0,08 | -0,43 | -0,59 | -0,65 | -0,07 | 0,53 |
| quarto a 11 | -0,65 | 0,15 | 0,61 | 0,17 | -0,07 | -0,14 | -0,76 | -0,24 | -0,46 | -0,34 | -0,58 | -0,41 |
| quarto b 11 | -0,63 | 0,25 | 0,63 | 0,49 | 0,10 | -0,10 | -0,61 | -0,39 | -0,52 | -0,15 | -0,58 | -0,53 |
| sanitario11 | 0,65 | 0,63 | -0,08 | -0,56 | -0,43 | -0,34 | -0,14 | -0,46 | -0,60 | -0,62 | -0,13 | 0,42 |
| sala 14 | -0,56 | 0,26 | 0,67 | 0,79 | 0,62 | 0,12 | -0,28 | -0,29 | -0,58 | -0,17 | -0,51 | -0,48 |
| cozinha 14 | -0,16 | -0,42 | -0,49 | -0,84 | -0,05 | 0,60 | 0,71 | 0,51 | -0,11 | -0,56 | -0,56 | -0,39 |
| quarto a 14 | -0,34 | -0,18 | -0,07 | 0,09 | 0,63 | 0,13 | -0,59 | -0,44 | -0,64 | -0,42 | -0,42 | -0,23 |
| quarto b 14 | -0,40 | -0,16 | 0,10 | 0,47 | 0,65 | 0,24 | -0,54 | -0,59 | -0,66 | -0,54 | -0,46 | -0,35 |
| sanitario 14 | -0,21 | -0,39 | -0,47 | -0,88 | -0,05 | 0,66 | 0,66 | 0,40 | -0,18 | -0,53 | -0,58 | -0,42 |
| sala 41 | -0,56 | 0,27 | 0,71 | 0,82 | 0,80 | 0,15 | -0,46 | -0,47 | -0,59 | -0,19 | -0,53 | -0,40 |
| cozinha 41 | 0,87 | 0,67 | -0,03 | -0,40 | -0,51 | -0,43 | -0,40 | -0,47 | -0,54 | -0,74 | -0,05 | 0,63 |
| quarto a 41 | -0,61 | 0,09 | 0,78 | 0,57 | 0,14 | -0,12 | -0,47 | -0,54 | -0,60 | -0,40 | -0,60 | -0,52 |
| quarto b 41 | -0,58 | 0,20 | 0,68 | 0,71 | 0,30 | -0,10 | -0,55 | -0,48 | -0,58 | -0,43 | -0,61 | -0,55 |
| sanitario 41 | 0,84 | 0,74 | 0,03 | -0,35 | -0,50 | -0,39 | -0,39 | -0,50 | -0,57 | -0,62 | -0,12 | 0,52 |
| sala 44 | -0,54 | 0,07 | 0,77 | 0,82 | 0,74 | 0,29 | -0,45 | -0,47 | -0,58 | -0,19 | -0,53 | -0,41 |
| cozinha 44 | -0,38 | -0,45 | -0,51 | -0,57 | -0,01 | 0,70 | 0,88 | 0,59 | -0,09 | -0,58 | -0,51 | -0,43 |
| quarto a 44 | -0,42 | -0,16 | 0,09 | 0,54 | 0,80 | 0,05 | -0,46 | -0,55 | -0,64 | -0,39 | -0,58 | -0,49 |
| quarto b 44 | -0,50 | -0,13 | 0,27 | 0,74 | 0,71 | 0,23 | -0,50 | -0,60 | -0,66 | -0,41 | -0,55 | -0,43 |
| sanitario 44 | -0,38 | -0,42 | -0,50 | -0,52 | 0,04 | 0,77 | 0,85 | 0,48 | -0,17 | -0,50 | -0,54 | -0,45 |

5 CONCLUSÕES

Pela natureza complexa do tipo de simulação apresentada neste trabalho, a discussão dos resultados se apresenta de certa forma fragmentada ao longo do texto. Esta conclusão visa reforçar alguns pontos de maior vulto detectados ao longo da pesquisa.

A primeira conclusão deste trabalho remete a variação nos resultados encontrados na simulação de CFD em função dos parâmetros de entrada. Neste sentido, a divulgação ou utilização de resultados de CFD sem os respectivos dados de entrada se mostra pouco recomendável. Somente acompanhados da respectiva análise de independência da malha, y^+ , modelo de turbulência utilizado, ordem da discretização e outros parâmetros é possível avaliar a qualidade e confiabilidade dos resultados fornecidos pela simulação de CFD.

A segunda conclusão aponta para a necessidade de adoção de procedimentos para aumentar a produtividade no uso do CFD. Esta pesquisa só pode ser realizada porque diversas tarefas de pré e pós processamento foram automatizadas. Neste contexto, o uso efetivo e cotidiano de simulações de CFD para determinação de C_p em estudos de conforto térmico pode ser atingido em um futuro próximo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AWBI, H.B. **Ventilation of buildings**. London: E & FN Spon, 1998.
- BLOCKEN, B.; Stathopoulos, T.; Carmeliet, J. CFD simulation of the atmospheric boundary layer: wall function problems. **Atmospheric Environment**, v. 41, n.2, p.238-252, 2007.
- CFX, **CFX 5 Solver Models**. Diddcot Oxfordshire: CFX, 2003.
- COST, **Cost Action 14: Recommendations on the use of CFD in predicting Pedestrian Wind Environment**. Bruxelas: COST, 2004.
- COSTOLA, D. **Ventilação por Ação do Vento no Edifício: Procedimentos para Quantificação**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: FAU-USP, 2006.
- COSTOLA, D., BLOCKEN, B., HENSEN, J. Overview of pressure coefficient data in building energy simulation and airflow network programs. **Building and Environment**, v. 44, n.10, p. 2027-2036, 2009.
- ETHERIDGE, D.W.; SANDBERG, M. **Building Ventilation: theory & measurement**. Chichester: Jonh Wiles & Sons, 1996.
- HARRIES, A. **Notas de Aula**. In: Workshop: CFX – FAU-USP. São Paulo, 2005.
- STULL, R. **An Introduction to boundary layer meteorology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- YANG, T. **CFD and field testing of a naturally ventilated full-scale building**. Tese de Doutorado. Nottingham: School of Civil Engineering, The University of Nottingham, 2004.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ por ter financiado esta pesquisa, e a Alan Harris pelo suporte com o programa CFX.