



VELHO EDIFÍCIO, NOVAS ABERTURAS: SIMULAÇÃO DE VENTILAÇÃO NATURAL POR MEIO DE CFD

Juliana M. S. Costa Moraes (1); Carlos O. Galvão (2); Lucila C. Labaki (3)

(1) Prof^a. Dr^a Departamento de Arquitetura e Urbanismo, julianamcosta2013@gmail.com, Universidade Federal da Paraíba, Jardim Universitário, s/n, Castelo Branco, João Pessoa/PB, CEP 58051900, (83)32167115

(2) Prof. Dr. Departamento Engenharia Civil, carlos.galvao@ufcg.edu.br, Universidade Federal de Campina Grande, Cities Research Institute, Griffith University, Austrália.

(3) Prof^a. Dr^a. Departamento de Arquitetura e Construção, lucila@fec.unicamp.br, Universidade Estadual de Campinas, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Caixa Postal 6021, Barão Geraldo, Campinas /SP, CEP 13084-971, (19) 3521-2384

RESUMO

Os recentes aumentos da tarifa de energia elétrica no Brasil têm chamado a atenção sobre a importância de projetos, sobretudo de habitação de interesse social, que utilizem estratégias passivas de resfriamento, como é o caso da ventilação natural. Vários autores concordam que para um bom desempenho de ventilação natural no interior de um edifício devem-se considerar variáveis como posição, dimensionamento, tipologia de aberturas, além de configuração interna. Este trabalho teve como objetivo realizar uma análise comparativa do desempenho da ventilação natural em um edifício base (inserido no programa habitacional Minha Casa Minha Vida) e seu protótipo com modificações nas variáveis acima mencionadas no intuito de discutir sobre a eficiência das mesmas. Para isso, realizou-se simulação computacional da ventilação natural por meio de fluidodinâmica computacional (CFD). Recuperou-se uma das tipologias arquitetônicas do "Programa Minha casa minha vida" anteriormente estudada e criou-se um modelo tridimensional com alterações nas aberturas de modo a tentar minimizar problemas de ventilação identificados nos quartos e nos apartamentos a sotavento (onde velocidades médias muito baixas foram atingidas). Simulou-se vento Norte (segunda predominância de ventos para a cidade de Campinas /SP). Foram comparados resultados de simulação entre o modelo base e o modelo alterado verificando-se que a inserção de novas aberturas nos quartos em posições estratégicas bem como a mudança na posição e tipologia da porta de entrada (bandeira lateral pivotante) proporcionaram melhorias quali-quantitativas de ventilação nesses ambientes.

Palavras-chave: simulação computacional, ventilação natural, aberturas.

ABSTRACT

The recent increases in the electricity pricing in Brazil have raised the importance of projects, especially social interest housing programs, that use passive strategies of cooling, such as natural ventilation. Several authors agree that for a good performance of natural ventilation inside a building, variables such as position, design, type of openings and internal configuration must be considered. This work aimed to perform a comparative analysis of the performance of natural ventilation in a base building (part of the "Minha Casa Minha Vida" housing program) and its prototype with modifications in the variables mentioned above, in order to discuss their efficiency. For this, computational simulation of the natural ventilation through computational fluid dynamics (CFD) was performed. One of the previously studied architectonic typologies of the "Minha Casa Minha Vida Program" has been recovered and a three-dimensional model with alterations in the openings was created in order to minimize the ventilation problems identified in the rooms and apartments facing leeward (where very low average speeds were reached). The North wind was simulated (second wind predominance for the city of Campinas / SP). Simulation results were compared between the base model and the modified one. Results show that the insertion of new openings in the rooms in strategic positions as well as the change in the position and typology of the entrance door (pivoting side opening) provided quali-quantitative improvements to the ventilation in these environments.

Keywords: computer simulation, natural ventilation, openings.

1. INTRODUÇÃO

Os recentes aumentos da tarifa de energia elétrica no Brasil têm chamado a atenção sobre a importância de projetos, sobretudo de habitação de interesse social, que utilizem estratégias passivas de resfriamento, como é o caso da ventilação natural. No caso de edifícios verticais muitas são as vantagens de morar num apartamento bem ventilado: a renovação do ar propicia um ambiente mais salubre, mais confortável termicamente e mais econômico do ponto de vista do consumo de energia.

Sabe-se que a ventilação cruzada proporciona maior eficiência para conforto térmico e remoção do calor gerado por fontes internas. O princípio básico para obtenção da ventilação cruzada é a diferença de pressão entre as aberturas de entrada e saída do vento. Por isso vários autores concordam que para um bom desempenho de ventilação natural no interior de um edifício devem ser consideradas variáveis como posição, dimensionamento, tipologia de aberturas e configuração interna (AWBI, 1995; GIVONI, 1962, 1998; BITTENCOURT; CANDIDO, 2005). Observa-se que todas elas são definidas pelo projetista do edifício que, se bem conhecedor do processo, pode induzir um circuito interno de ventilação eficiente.

A opção pelo cenário desta pesquisa priorizou a abrangência social proporcionada pelo programa habitacional do governo brasileiro intitulado “Programa Minha casa minha vida”- PMCMV. Todos sabem da magnitude deste programa em âmbito federal não só em números de moradias entregues, mas nas que ainda estão por vir, uma vez que o mesmo encontra-se em sua terceira etapa e está ampliando subsídios para novas faixas salariais. Este programa traz consigo uma característica marcante da reprodução de seus projetos, independentemente do clima local, os quais são implantados nos lotes sem priorizar as melhores orientações e isto traz diversas implicações, dentre elas, problemas de insolação e ventilação naturais.

Morais (2013 e Moraes & Labaki (2017) analisaram o desempenho, quanto à ventilação natural, de três tipologias de edifícios multifamiliares do PMCMV na cidade de Campinas /SP. As três tipologias analisadas apresentavam “core” central. Foram realizadas simulações computacionais da ventilação natural, através de CFD, no bloco isolado de cada uma das três tipologias sob três ângulos de incidência do vento (0°-eixo transversal, 90°-eixo longitudinal e 135°-eixo oblíquo). Os resultados mostraram problemas de ventilação natural nas três tipologias sendo o pior caso a tipologia monolítica sem reentrâncias. Evidenciou-se a importância da posição das aberturas em relação à entrada e saída do vento bem como da tipologia de aberturas e da configuração interna para desempenho de um circuito interno de ventilação satisfatório, sobretudo nos ambientes de maior permanência. Dentre as muitas considerações finais, as autoras sugerem a adoção de bandeiras nas portas internas bem como um novo desenho nas portas de entrada que pudesse permitir a passagem do ar de um apartamento para o outro (já que na maioria desses edifícios o hall interno é confinado e sem aberturas). Nas três tipologias os melhores resultados ocorreram para o vento incidente no eixo oblíquo ao edifício, ou seja, quando se posiciona o bloco de maneira a receber diagonalmente o vento (45° e suas variações).

Tendo consciência dessa produção de habitação em massa que modifica dia após dia o cenário das cidades de grande e médio porte brasileiras, entende-se a relevância de serem planejadas soluções que possam ser executadas em edifícios existentes, envolvendo obviamente o sistema de aberturas do mesmo na intenção de poder ampliar a ventilação natural interna, e conseqüentemente o conforto dos usuários bem como contribuir para redução no consumo energético.

2. OBJETIVO

O objetivo geral do artigo é comparar o desempenho da ventilação natural em tipologia vertical do PMCMV tendo como base de comparação parâmetros de aberturas (como posição, quantidade e tipologia). Espera-se ainda alertar os projetistas sobre o rebatimento de simples decisões de projeto para as condições de ventilação dos usuários, especialmente em habitação de interesse social-HIS.

3. METODO

As etapas metodológicas seguiram os seguintes passos:

- 3.1. Seleção e caracterização do estudo de caso (modelo base)
- 3.2 Identificação das áreas com ventilação deficiente a partir dos resultados de Moraes (2013)
- 3.3 Definição das alterações de aberturas e elaboração do modelo modificado (modelo 1)
- 3.4 Definição dos dados de entrada do vento para simulação
- 3.5. Simulação computacional da ventilação natural (ANSYS-CFX)

3.1 Caracterização do estudo de caso

O edifício selecionado como estudo de caso é um empreendimento com planta H (Figura 1), tipologia bastante conhecida desde a época dos Institutos de Aposentadorias e Pensão- IAP's, segundo Bruna (2010). Esta é certamente uma das tipologias mais recorrentes em todo o país. O edifício está localizado no conjunto residencial Parque São Bento na macrorregião Sudoeste de Campinas/SP (Figura 2). Este empreendimento possui um total de 2.380 unidades habitacionais distribuídas em 119 blocos, o que resulta em aproximadamente 9500 pessoas residindo no local. A obra foi concluída no fim de 2011, estando os blocos totalmente entregues à população. Cada bloco possui 5 pavimentos (sendo o térreo considerado o primeiro deles).

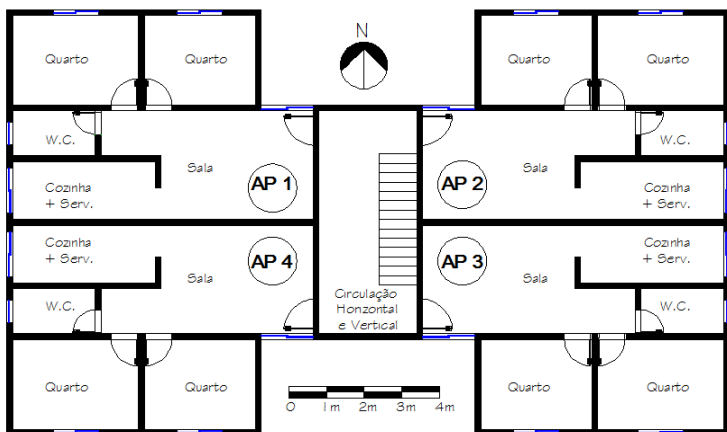


Figura 1 – Planta Baixa do estudo de caso

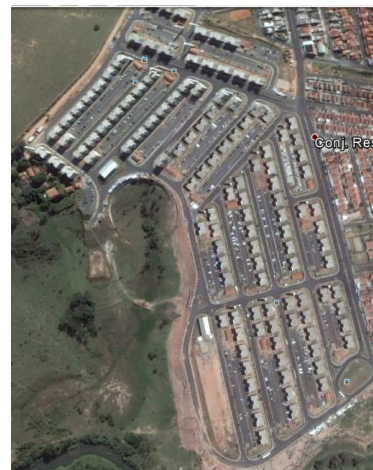
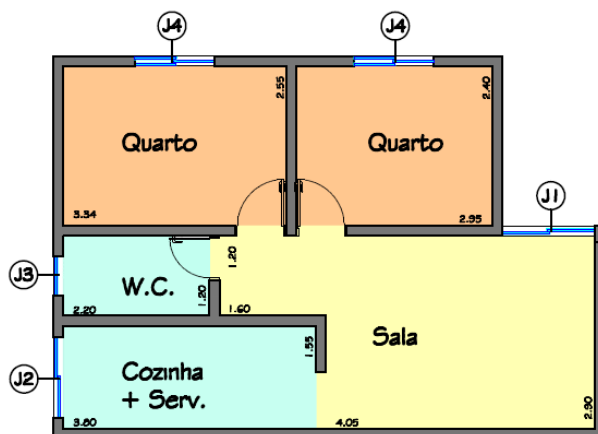


Figura 2 – Implantação do estudo de caso

Observando o posicionamento de aberturas e a configuração interna, a sala, localizada na reentrância do “H”, conecta a cozinha (conjugada com área de serviço) e um pequeno hall que dá acesso aos quartos e banheiro. Sua única abertura, localizada na reentrância, apresenta fundamental importância para a ventilação da unidade habitacional, pois sai do alinhamento da fachada no qual se localizam as aberturas dos quartos. A cozinha e banheiro (consideradas áreas molhadas) estão lado a lado e suas aberturas localizam-se na mesma fachada.

A porta principal de cada apartamento encontra-se numa posição que não somente compromete a abertura da janela da sala, como também está alinhada em relação à porta do banheiro. Isto poderia ter sido facilmente resolvido ainda na fase de projeto. O tamanho e posicionamento das aberturas do edifício existente, o qual foi entregue a população, está representado em detalhes na Figura 3 e Quadro 1. Observa-se que o percentual do tamanho de aberturas está um pouco abaixo de 15% nos ambientes de sala e banheiros. O percentual do tamanho das aberturas em relação à área do piso do ambiente, indicado pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) para a ZB3, onde Campinas está inserida, deve estar entre 15% e 25% .

Figura 3: planta baixa de unidade habitacional (ap1) do estudo de caso



Quadro 1: informações detalhadas das aberturas da unidade habitacional do estudo de caso

AMBIENTES	ÁREA DE PISO (m ²)	JANELA	DIMENSÕES ABERTURAS l x h (m)	ÁREA DE ABERTURA (m ²)	PERCENTUAL ABERTURA (%)	TIPO DE JANELA	PERCENTUAL REDUÇÃO (%)	DIMENSÕES P/ ÁREA EFETIVA l x h (m)	ÁREA EFETIVA ABERTURA (m ²)
Sala	11,74	J1	1,40 x 1,20	1,68	14,31	Vidro/correr	50%	0,70 x 1,20	0,84
Cozinha + serviço	5,89	J2	1,20 x 1,20	1,44	24,4	Vidro/correr	50%	0,60 x 1,20	0,72
W.C	2,64	J3	0,60 x 0,60	0,36	13,63	Vidro/basculante	-	0,60 x 0,60	0,36
Quartos	8,04/ 7,08	J4	1,20 x 1,20	1,44	17,91/20,33	Veneziana/correr	50%	0,60 x 1,20	0,72

3.2 Identificação das áreas com ventilação deficiente a partir dos resultados de Morais (2013)

A partir dos resultados obtidos em Morais (2013) identificaram-se áreas com baixas velocidades do ar (azul escuro representa velocidades próximas à zero), para que a partir delas fossem propostas mudanças nas aberturas para corrigir ou melhorar estas áreas. Nos apartamentos a barlavento, ap1 e ap2, identificaram-se áreas de baixas velocidades nos quartos, como mostra a Figura 3. Outra constatação foi que a simetria formal do edifício associada à porta de entrada do apartamento fechada e hall sem aberturas comprometia ainda mais a ventilação dos apartamentos a sotavento, os quais foram identificados como áreas de ventilação deficiente (Figura 4).

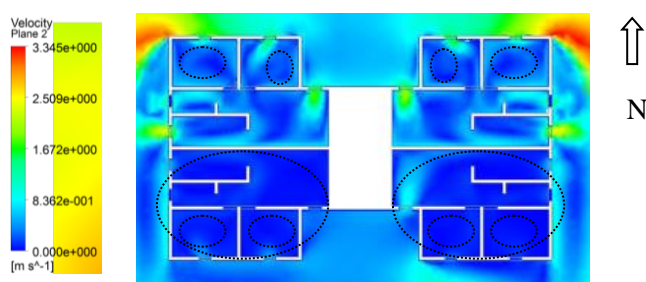


Figura 4: Imagem do fluxo de ar (contorno) extraída dos resultados de MORAIS (2013) para mesmo edifício estudo de caso e mesma incidência de vento (1º pavimento). Áreas pontilhadas com baixas velocidades.

3.3 Definição das alterações de aberturas e elaboração do Modelo 1

Identificadas as áreas de intervenção para melhoria da ventilação, partiu-se para definição das alterações das aberturas o que gerou o Modelo 1 (Figura 5).

Primeiramente foram acrescentadas aberturas nos quartos em paredes adjacentes às paredes que continham aberturas existentes. Assim, nos quartos, nova abertura corredeira de L=0,6m x H=1,2m (Figura 6) foi inserida no modelo base, além da que já existia, resultando numa nova abertura efetiva de L=0,3m x H=1,20m. Vale salientar que esta alteração proporcionou ampliação de percentual de abertura em relação à área do piso do ambiente. Nos quartos de canto aumentou 18% para 26%, nos quartos localizados na reentrância aumentou de 20% para 30%. Isto certamente influencia nos resultados. No entanto, o intuito foi de não modificar as aberturas existentes evitando-se um custo extra.

No intuito de melhorar ventilação nos apartamentos a sotavento, propôs-se mudança na porta de entrada dos apartamentos (reposicionamento de modo a eliminar conflito existente com janela da sala e inserção de abertura pivotante lateral à porta uma vez que o pé-direito baixo do apartamento (2,4m) reduziria a eficiência de possível bandeira na parte superior da mesma). A nova abertura, do tipo pivotante vertical, inserida lateralmente à porta de entrada possui dimensões de L=0,3m e H=2,10m (ver Figura 7) e permite abertura efetiva de 100% para passagem de ar, mesmo estando a porta de entrada fechada. Esta mudança impactou no aumento do percentual de abertura em relação a área de piso da sala de 14,3% para 19,6%. É importante salientar que a alteração do posicionamento da porta de entrada não é uma mudança de simples execução, sobretudo depois do edifício construído, pois altera também a circulação vertical (escada), já existente no local. Mas para efeito de estudo compreendeu-se que seria importante testar essa alternativa.

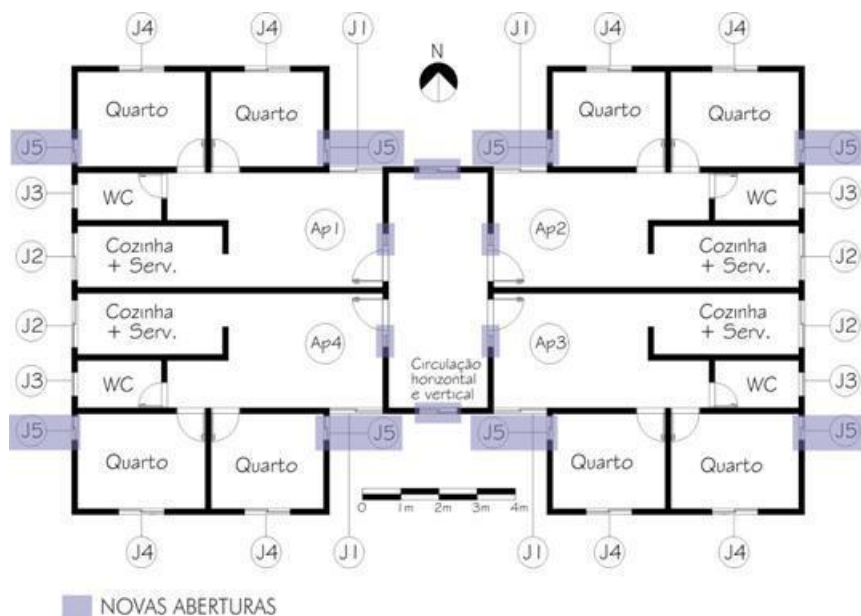


Figura 5 – Planta Baixa do Modelo 1 (novas aberturas)

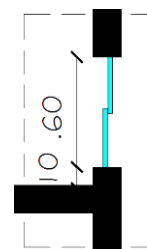


Figura 6: Detalhe ampliado da J5 em planta baixa

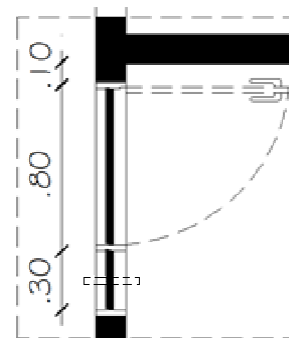


Figura 7: Detalhe ampliado da porta de entrada em planta baixa

Tanto o modelo base como o modelo 1 foram confeccionados tridimensionalmente no AutoCAD considerando todas as aberturas internas e externas com suas devidas áreas efetivas para passagem do vento, com exceção da porta de entrada do apartamento, que por questões de privacidade/segurança normalmente permanece fechada. Finalizados os modelos no CAD, decidiu-se pelas direções de simulação do vento.

3.4 Dados de entrada do vento para simulação

Morais (2013) apresenta a caracterização climática completa dos ventos na cidade de Campinas/SP. A caracterização de ventos é necessária para criar um cenário próximo à realidade da simulação computacional. Verificou-se que, em Campinas, a direção predominante é Sudeste com velocidade média representativa de 3,59m/s, seguida da direção Norte, com velocidade média de 2,64m/s. Os resultados de Morais (2013) apontaram para melhor desempenho do vento incidente Sudeste, no entanto este posicionamento exige maior espaço de implantação na gleba. Assim, neste trabalho simulou-se vento incidente Norte (0°).

3.5 Simulação computacional da ventilação natural (ANSYS/CFX)

Importados os modelos (modelo base e modelo1) construídos no AutoCAD, iniciou-se no módulo ANSYS ICEM a definição do domínio. Respeitou-se a taxa de 3% de obstrução ocasionada pelo modelo numa das faces do domínio, o que se convencionou chamar de efeito de blocagem (COST, 2004). Portanto utilizou-se um domínio que corresponde a 5 vezes a altura do objeto (edifício), e 10 vezes a altura para cada lado do edifício.

Quanto à malha, os principais parâmetros seguiram padrões estabelecidos em outras simulações computacionais de ventilação natural no ambiente interno (MORAIS, 2013; ANDRADE, 2013; LUKIANTCHUKI, 2015). Utilizou-se a malha não-estruturada tetraédrica em função de sua menor complexidade computacional e tempo de simulação, além de que, se ajusta melhor a geometrias complexas.

Realizou-se um estudo de malha que apontou melhor desempenho quando houve a divisão da Part CHAO em duas regiões: BASE 1 localizada no entorno imediato da Part PREDIO (Figura 8) e BASE 2, localizada nas fronteiras laterais do domínio com malha de tamanho máximo de 20m (Figura 9). O refinamento da malha ocorreu então na Part BASE 1 e na part PREDIO, onde o tamanho máximo do tetraedro foi de 0,3m, como mostra a Figura 10. Isto resultou num total de elementos em torno de 1,4 milhões e tempo de simulação de 5 horas para o modelo base.

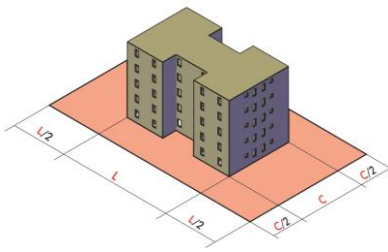


Figura 8– Imagem das proporções usadas para delimitar região de refinamento próximo ao edifício (base 1)

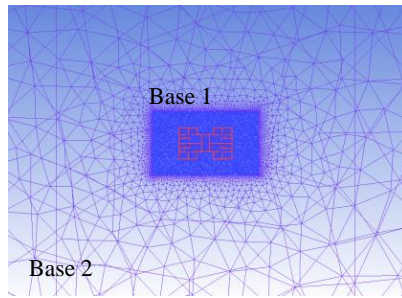


Figura 9 – Imagem das duas regiões de Refinamento da malha utilizada (base 2 maior e base 1 mais refinada)

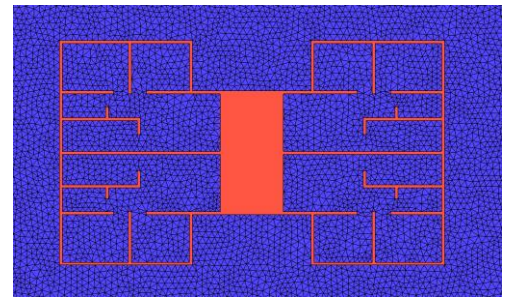


Figura 10 – Imagem ampliada da Base 1 onde o refinamento da malha é maior próximo ao edifício

No *CFX-Pre* as condições iniciais seguiram o padrão indicado pelo CFX para este tipo de simulação¹, apenas ressalta-se a escolha do modelo de turbulência. Utilizou-se o modelo de turbulência híbrido conhecido pela sigla SST que reúne dois tipos de modelos: o k-ε (k-Epsilon), mais usado para escoamentos externos e o k-ω (k-ômega), mais usado em escoamentos confinados ou junto às paredes (RAMPONI, BLOCKEN, 2012). Esta decisão deu-se em função do objetivo geral que visa a ventilação interna de cada modelo.

As condições de contorno descritas em Cost (2004), são um conjunto de parâmetros aplicados às *parts* do domínio, que interferem diretamente no escoamento. No domínio, uma das faces é definida como entrada de vento (INLET), onde se atribui uma velocidade que reproduz o vento a ser modelado. É importante que a variação da velocidade do vento com a altura seja considerada. De acordo com Morais (2013), adotou-se neste artigo como dado de entrada do vento a equação de perfil logarítmico (Equação 1):

$$V(z) = V_{(zref)} \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

V(z)= velocidade na altura desejada;

z= altura desejada;

V(Zref)= velocidade na altura de referência;

z₀= Rugosidade da região (usou-se 0,5m para áreas de subúrbios).

No *CFX-Post*, foram gerados três planos horizontais: Plano 1, 2 e 3, localizados respectivamente a 1,5m, a 6,5m e a 11,5m do solo, correspondentes à altura de zona de respiração humana (em média 1,5m acima do piso) do primeiro, terceiro e quinto pavimentos. Além de recursos de análise qualitativa do fluxo de ar interno, como é o caso de visualização por meio de vetores, utilizou-se ferramenta denominada *Isoclips*, que corresponde a um corte na simulação segundo parâmetros do domínio (distâncias nos eixos x e y) fornecidos pelo usuário que está operando o software. Criada a *Isoclip* pode-se obter informações sobre diversas variáveis do fluxo de ar (como velocidade do ar, temperatura, pressão) tendo por base cálculos realizados nos nós da malha tetraédrica localizados naquele local. Esta ferramenta foi muito importante, pois permitiu a obtenção dos valores de **velocidade média do ar** em cada ambiente nos três planos em questão, de acordo com Givoni (1962), quando propôs estudo de investigação da ventilação interna em relação ao vento incidente, testando diferentes angulações num estudo experimental através de modelos físicos e túnel de vento.

¹ Condições iniciais: regime permanente (uma vez que as condições de contorno se mantêm constantes em toda a simulação), domínio tipo fluido, com pressão atmosférica local de 1 atm, e temperatura constante de 25°C (regime isotérmico no qual desprezam-se as variações de temperatura, considerando que as forças mecânicas promovem uma mistura efetiva do ar).

4 RESULTADOS

A análise qualitativa do modelo base já foi amplamente discutida em Moraes (2013) e Moraes e Labaki (2017). Aqui se apresentam os resultados do modelo1, e realizam-se comparações quantitativas com o modelo base. As figuras 11, 12, 13 e 14 mostram o comportamento do fluxo de ar no modelo 1, em imagens de contorno de velocidade, no primeiro, terceiro e quinto pavimentos. As figuras 15, 16, 17 e 18 trazem informações quantitativas da média das velocidades médias atingidas nos dois modelos (modelo base e modelo 1) por apartamento e por ambiente, permitindo assim a comparação entre ambos. Salienta-se que como os apartamentos ap1, ap2, ap3 e ap4 estão dispostos em planta baixa no sentido horário (como mostra Figura 11), faz-se necessário observar atentamente as legendas dos gráficos dos apartamentos 3 e 4 (Figuras 17 e 18 respectivamente) para não confundi-los.

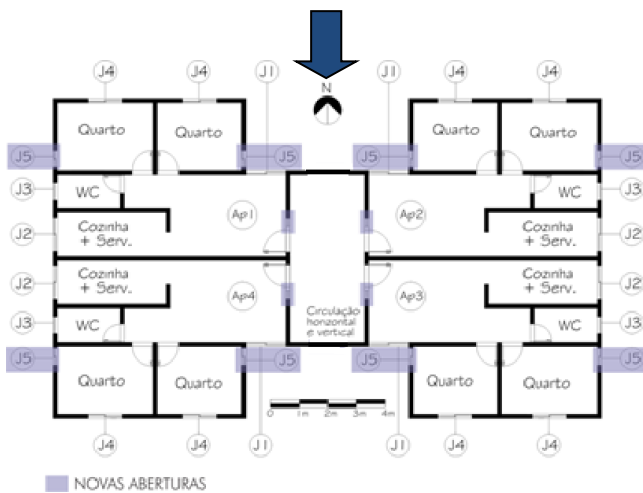


Figura 11: Planta baixa Modelo 1 -vento incidente 0° (norte)

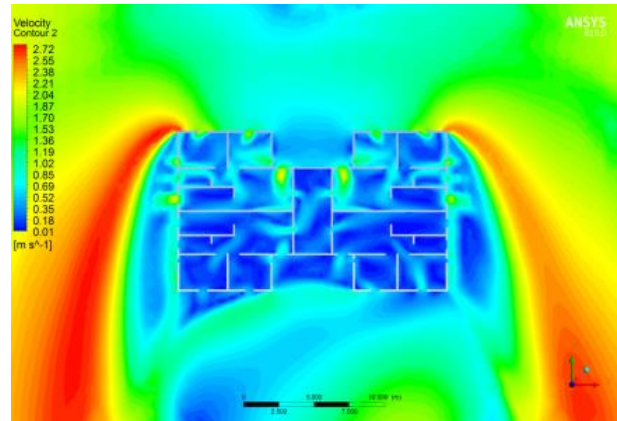


Figura 12: Imagem do fluxo de ar no 1º pavimento (contorno)

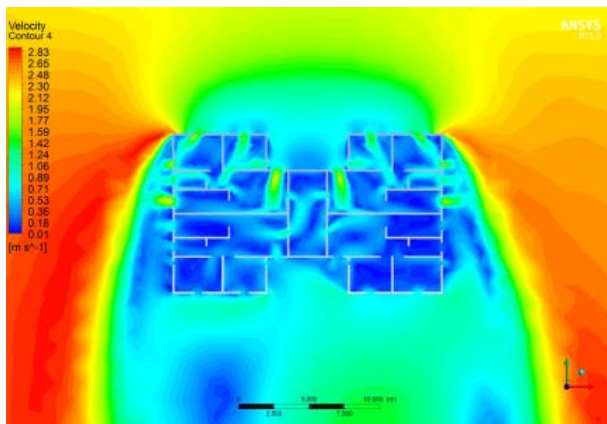


Figura 13: Imagem do fluxo de ar no 3º pavimento (contorno)

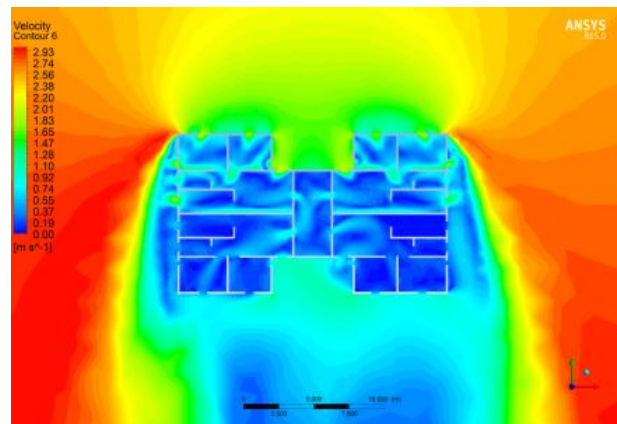


Figura 14: Imagem do fluxo de ar no 5º pavimento (contorno)

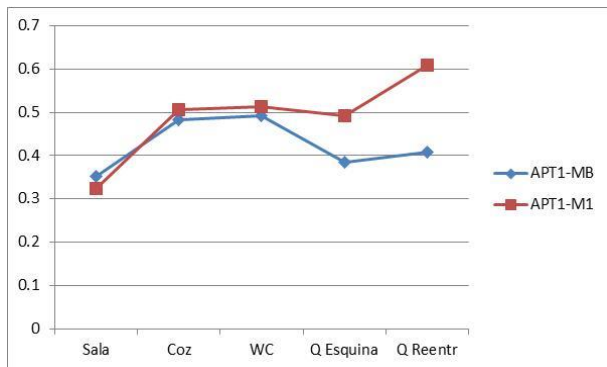


Figura 15: Gráfico das médias das velocidades médias (m/s) registradas por ambiente no ap 1 no modelo base e modelo 1

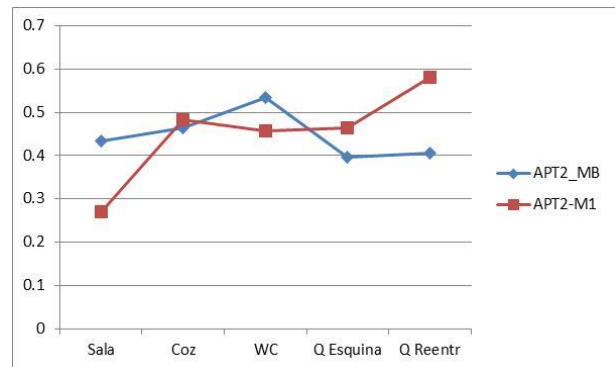


Figura 16: Gráfico das médias das velocidades médias (m/s) registradas por ambiente no ap 2 no modelo base e modelo 1

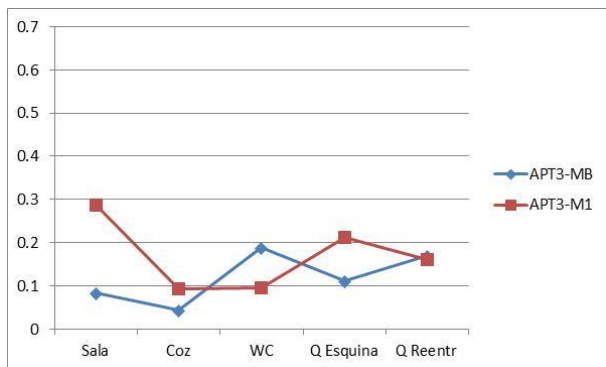


Figura 17: Gráfico das médias das velocidades médias (m/s) registradas por ambiente no ap 3 no modelo base e modelo 1

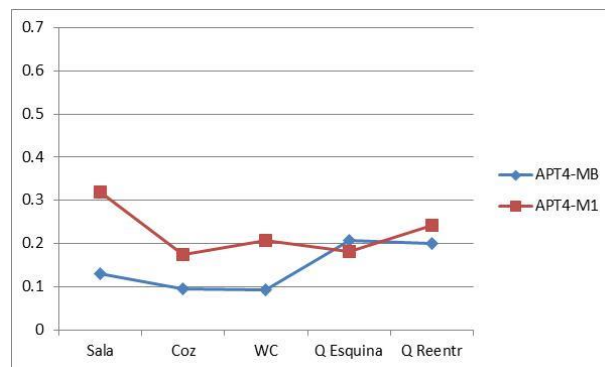


Figura 18: Gráfico das médias das velocidades médias (m/s) registradas por ambiente no ap 4 no modelo base e modelo 1

Observa-se nos apartamentos 1 e 2, localizados a barlavento, que a adição da abertura nos quartos (ambientes de longa permanência) permitiu uma ventilação melhor distribuída nos mesmos (Figuras 12, 13 e 14), minimizando zonas de baixas velocidades e elevando a velocidade média significativamente nestes ambientes (Figuras 15 e 16). No entanto nas salas destes apartamentos promoveu-se nova saída de ar pela abertura pivotante lateral da porta de entrada, o que provocou perda de energia e redução de velocidade neste ambiente (Figuras 15 e 16).

Há agora um movimento de circulação do ar no hall interno do edifício vindo dos apartamentos a barlavento (ap1 e ap2) para os apartamentos a sotavento (ap 3 e ap4) como mostram as imagens do fluxo de ar. Nestes últimos (ap3 e ap4) observa-se uma corrente de ar proveniente da abertura lateral criada na porta de entrada, a qual nestes apartamentos, funcionou como abertura de captação. Neste sentido as aberturas de saída passam a ser a abertura da sala e da cozinha, o que proporcionou ventilação cruzada destes ambientes, elevando a velocidade média nos mesmos (Figuras 17 e 18).

Nos quartos dos apartamentos a sotavento observa-se movimentação de ar ocasionada pela diferença de pressão entre as aberturas existentes e as novas, no entanto o ganho de ventilação é bem menos significativo do que nos quartos à barlavento.

Constata-se que, apesar do modelo 1 ter apresentado melhorias em quase todos os cômodos desta tipologia em relação ao modelo base, faz-se necessário testar outras soluções projetuais que promovam melhorias ainda mais efetivas nos apartamentos a sotavento, uma vez que correspondem a 50% das unidades habitacionais do edifício.

Sabe-se que cada alteração proposta no modelo 1 demanda um custo de execução (a ser verificado em trabalhos futuros) portanto a inserção das janelas nos quartos a sotavento, por exemplo, precisaria de um estudo mais aprofundado para verificação de soluções projetuais ainda melhores para estes ambientes. Já a inserção de janelas nos quartos a barlavento seriam alterações que, apesar do custo, é de simples execução e seria compensada em pouco tempo de uso. Portanto, muito ainda deve ser feito em continuidade a este estudo que, dá início a esta discussão.

5. CONCLUSÕES

O objetivo geral deste artigo foi comparar o desempenho da ventilação natural em tipologia vertical do PMCMV tendo como base de comparação parâmetros de aberturas (como posição, quantidade e tipologia). Utilizou-se para tal estudo a simulação da ventilação natural por meio de CFD.

Os resultados indicaram que, de modo geral, o modelo 1 (modelo com aberturas alteradas) apresentou melhor desempenho que o modelo base, o que demonstra que repensar as aberturas quanto ao seu tamanho/quantidade, posição e tipologia é um caminho que pode conduzir a melhoria da qualidade ambiental de unidades habitacionais com ventilação natural deficiente. Quanto às alterações inseridas neste estudo de caso, os resultados indicaram que a inserção de novas aberturas nos quartos e a adoção de novo dispositivo de abertura na porta de entrada, associado ao seu deslocamento, permitiu incremento nas velocidades médias dos principais ambientes para vento incidente paralelo ao eixo transversal do edifício (vento 0°). Portanto, repensar posição e quantidade de aberturas em diferentes fachadas, sobretudo nos ambientes de longa permanência, demonstra ser interessante alternativa para incrementar ventilação nesses ambientes sem grandes reformas. Além disso, redesenhar a porta de entrada dotando-a de dispositivo de passagem de ar quando a mesma estiver fechada (o que é situação frequente) também surge como opção a ser usada em projetos com core desprovido de ventilação.

Neste estudo não se verificou a possibilidade de inserção de abertura diretamente no hall para captação de vento para apartamentos a sotavento. Esta poderia ser uma alternativa interessante que evitaria diminuição de velocidade do vento da sala nos apartamentos a barlavento (evitando o novo desenho da porta de entrada nestes apartamentos). Sugere-se então a continuidade do estudo neste sentido, visando minimizar custos de reformas bem como ampliar ventilação nos apartamentos mais prejudicados.

Neste sentido o uso de ferramentas de predição de ventilação, como software de fluidodinâmica computacional (CFD) torna-se um instrumento valioso para antever problemas e projetar alternativas que venham a favorecer o uso da ventilação natural e assim melhorar a qualidade ambiental dos edifícios.

Neste trabalho adotam-se algumas simplificações que precisam evoluir em próximos estudos, tais como a inserção de outras unidades habitacionais no entorno do edifício estudado e um cruzamento de dados de pesquisa de campo. São possibilidades de estudos futuros.

Por fim espera-se ter contribuído para não somente fomentar a discussão em relação à melhoria da qualidade ambiental de grande parte da habitação popular em massa que é produzida e entregue no país, mas também em relação ao desafio que se coloca para pesquisadores e projetistas, que além de usarem o conhecimento para projetar novas unidades habitacionais, sobretudo em HIS, devem partir para busca de soluções em edifícios já existentes (o que é ainda mais difícil).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- ANDRADE, N. C. **Estudo da Ventilação Natural em Edificações Com Captadores de Vento Multidirecionais Por Meio de Ensaios em Túnel de Vento e Simulações Computacionais**. Campinas, 2013. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.
- AWBI, H. B. **Ventilator of Buildings**. London: E & FN Spon, 1995.
- BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: EDUFAL, 2005.
- BRUNA, P. **Os primeiros arquitetos modernos: Habitação Social no Brasil 1930-1950**. São Paulo: EdUSP, 2010.
- CHEN, Q. Ventilation Performance Prediction for Buildings: a method overview and recent applications. **Building and Environment**, v. 44, n. 4, p. 848-858, 2009.
- COST. (2004). Cost Action 14: **Recommendations on the use of CFD in predicting Pedestrian Wind Environment**. Bruxelas: COST, 2004.
- GIVONI, B. **Basic Study of Ventilation Problems in Houses in Hot Countries**. Israel: Building Research Station of the Institute of Technology, 1962.
- LUKIANCHUKI, M. A. **Sheds Extratores e Captadores de Ar Para Indução da Ventilação Natural em Edificações**. São Carlos, 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- MORAIS, Juliana Magna da Silva Costa. **Ventilação natural em edifícios multifamiliares do “programa minha casa minha vida”**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2013.
- MORAIS, J. M. da S. C.; LABAKI, L. C. CFD como ferramenta para simular ventilação natural interna por ação dos ventos: estudos de caso em tipologias verticais do “Programa Minha Casa, Minha Vida”. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 223-244, jan./mar. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100133>
- RAMPONI, R.; BLOCKEN, Bert. CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: impact of computational parameters. **Building and Environment**, V. 53, p. 34-48, 2012.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES e ao CNPQ pelo apoio por meio de concessão de bolsa de doutorado, pós-doutorado e de pesquisa.