

Edifícios do programa “minha casa minha vida”: Análise projetual do ponto de vista da ventilação natural

Buildings of the program “my house my life”: design analysis from the point of view of natural ventilation

Edificios incluidos en el programa “mi casa mi vida”: análisis proyectual desde el punto de vista de ventilación natural

MORAIS, Juliana Magna da Silva Costa

Pós-doutoranda Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, UFCG, jumagnacosta@hotmail.com

LABAKI, Lucila Chebel

Professora Pós graduação em Arquitetura Tecnologia e Cidade, UNICAMP, lucila@fec.unicamp.br

RESUMO

A ventilação natural é uma estratégia projetual que deve ser usada sempre que possível em países de clima quente como o Brasil, pois dentre suas vantagens está o conforto térmico e a economia de energia. O uso desta estratégia deve ser priorizado principalmente em projetos destinados à população de baixa renda como é o caso dos edifícios incluídos no “Programa Minha Casa Minha Vida”- PMCMV. O objetivo deste artigo é discutir a ventilação natural no interior de edifícios multifamiliares do PMCMV em três tipologias arquitetônicas diferentes localizadas na cidade de Campinas/SP, no intuito de alertar os projetistas em geral de como pequenas decisões de projeto podem influenciar no conforto térmico dos usuários. Adotou-se o uso de simulação computacional da ventilação natural por meio de CFD (Computer Fluid Dynamics) como ferramenta capaz de realizar esta análise variando o ângulo do vento incidente no edifício (0º, 90º e 135º). Foram obtidos resultados quantitativos (velocidade média do vento em cada ambiente interno) e qualitativos (imagens do fluxo de ar externo e interno). Nas três tipologias o vento incidente oblíquo ao edifício (incidência de 135º) apresentou melhores resultados de velocidades do ar médias internas do que ventos incidentes à 0º e 90º. Esta e outras recomendações projetuais são indicadas para incentivar novos projetos de futuros edifícios de habitação popular mais adequados do ponto de vista da ventilação natural.

PALAVRAS-CHAVE : Ventilação natural, simulação computacional, Habitação popular.

ABSTRACT

The natural ventilation is a project strategy that must be used always when possible, mainly in warm countries like Brazil, because among the advantages, it's the thermal comfort and energy economy. The use of such strategy must be prioritized mainly in projects that has objective to the low-incomes families, like the buildings included in the very know Brazilian social program “My House, My Life”- PMCMV. This paper aims the discussion of the natural ventilation into the multifamily buildings to PMCMV in three different architectonics typologies localized in Campinas city – SP, mainly to alert in general the projects makers, how the small project's decisions cans influence the thermal comfort of the people. It was adopted the use of computer simulation to the natural ventilation through CFD (Computer Fluid Dynamics), as the tool able to accomplishes such analysis. It were obtained quantitative results (average speed to the wind in each internal environment) and qualitative



PROJETAR - 2015

Originalidade, criatividade e inovação no projeto contemporâneo:
ensino, pesquisa e prática. Natal, 30 de setembro a 02 de outubro.

(internal and external air flow images). For the three typologies, the incident oblique wind to the building (incidence of 135°) showed better internal average air speed results than incidents winds of 0° e 90°. This and others projectual recommendations are indicated to aim more feasible public housing buildings in the future, with natural ventilation.

KEY-WORDS: natural ventilation, computer simulation, public housing.

RESUMEN

La ventilación natural es una estrategia proyectual que debe ser usada siempre que posible en países de clima cálido, como o Brasil, ya que entre sus ventajas está el confort térmico e el ahorro de energía. Debe darse prioridad a el uso de esta estrategia principalmente en los proyectos destinados a la población de bajos ingresos como es el caso de edificios incluidos en el programa “mi casa mi vida” – PMCMV. El objetivo de este artículo es discutir la ventilación natural dentro de edificios del PMCMV en tres tipologías diferentes situadas en la ciudad de Campinas/SP, con el fin de alertar diseñadores en general de la forma en que las pequeñas decisiones de diseño pueden influir en el confort térmico de los usuarios. Hemos adoptado la simulación computacional a través de CFD (Computer Fluid Dynamics) como una herramienta capaz de realizar este análisis mediante la variación del ángulo de incidencia del viento incidente en el edificio (0°, 90° e 135°). Se obtuvieron resultados cuantitativos (velocidad media del viento en cada ambiente) y cualitativos (imágenes de flujo del aire exterior e interna). El viento con incidencia oblicua al edificio (135°) presentó mejores resultados de velocidad de aire interno medio de vientos en las tres tipologías. Esta y otras recomendaciones proyectuales será indicado para fomentar nuevos proyectos de los futuros edificios de habitación popular más adecuados desde el punto de vista de ventilación natural.

PALABRAS-CLAVE: ventilación natural, simulación computacional, habitación popular.

1 INTRODUÇÃO

Desde que se confirmou a crise no cenário energético mundial, a arquitetura passou a desempenhar um papel ainda mais importante, pois pode através da correta utilização de recursos naturais, oferecer aos seus usuários não somente um edifício mais confortável e saudável, como também eficiente energeticamente. Assim, o uso de estratégias passivas de resfriamento deveria ser o ponto de partida quando se visa projetos adequados a climas quentes, como é o caso do Brasil. A ventilação natural é um recurso, ou ainda uma estratégia projetual, que se consolida como uma solução direta e de baixo custo, trazendo inúmeros benefícios dentre eles o conforto térmico e a eficiência energética, uma vez que os edifícios bem ventilados não necessitam de climatização artificial.

Este artigo discute o uso da ventilação natural em habitações de interesse social, especificamente aquelas que estão inseridas no programa do governo federal denominado “Programa Minha Casa Minha Vida” - PMCMV.

Mesmo sabendo que cada região do Brasil faz parte de um mesoclima com especificidades que determinam características de projeto diferenciadas, o que ocorre na pratica é que os projetos deste tipo de habitação no país são repetidos em várias localidades. Isto acontece, sobretudo por parte das

empresas executoras que utilizam o mesmo projeto arquitetônico numa obra seja em Campinas/SP ou em Fortaleza/CE. Outra questão é que visando a maior obtenção de lucros por parte das empresas executoras, os blocos são implantados nos lotes quase que aleatoriamente, considerando apenas objetivo final de locar o máximo número possível de blocos por gleba. Com isso, são esquecidos requisitos tão importantes a exemplo da implantação mais eficiente do bloco frente ao vento dominante, o que confirma que a ventilação natural não é tratada como item de prioridade nestes edifícios.

Sendo assim, avaliar a qualidade destas construções torna-se importante, uma vez que a população a qual se destina estas construções é via de regra de “baixa renda” e não pode pagar por erros cometidos em projeto que elevem o consumo de energia destes edifícios. O PMCMV concluiu sua segunda fase (2011 à 2014) com cerca de 2 milhões de moradias entregues, segundo informações da Caixa Econômica Federal e, apesar das mudanças na economia, o programa continuará em vigor em 2015 com previsão de entrega de 1,6 milhões de moradias (www.pac.gov.br/noticias).

Supõe-se que se por um lado há uma grande pressão por parte do governo em sanar o déficit habitacional, há também outra pressão por parte dos construtores na obtenção de lucros. Sendo assim, parte-se da hipótese geral que a qualidade destas construções não é tratada como prioridade culminando num processo onde o usuário não é considerado como deveria.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar análise de ventilação natural por meio de simulação computacional em projetos de edifícios do programa “Minha Casa Minha Vida” no intuito de alertar os projetistas em geral sobre decisões de projeto que podem influenciar na ventilação interna e consequentemente no conforto térmico dos usuários.

3 METODOLOGIA

O método adotado neste artigo está dividido em três etapas principais:

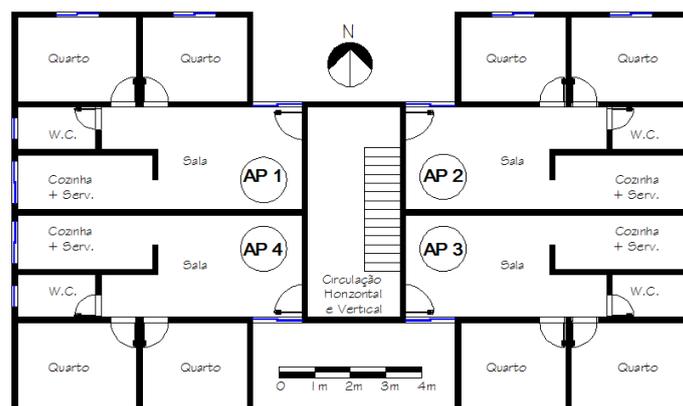
1. Seleção e caracterização dos estudos de caso
2. Caracterização dos ventos em Campinas/SP
3. Simulação computacional da ventilação natural usando CFD

3.1 Seleção e caracterização dos estudos de caso

O cenário escolhido para esta pesquisa foi a cidade de Campinas, no estado de São Paulo. Como outras cidades de grande porte brasileiras o panorama de construções aprovadas e construídas através do programa “minha casa minha vida” é considerado muito grande. O principal critério para seleção dos empreendimentos foi a abrangência social (por isso optou-se por edificações multifamiliares), sendo assim, foram selecionados empreendimentos que tivessem aproximadamente 2 mil unidades habitacionais e que estivessem na faixa salarial de 0 a 3 salários mínimos, a qual corresponde à população de baixa renda. Outro fato levado em consideração foi a escolha de empreendimentos que tivessem seus projetos já aprovados pela Prefeitura de Campinas, pelo simples fato de serem avaliados edifícios que já estão sendo usados pela população. Por fim foram selecionados edifícios com tipologias arquitetônicas diferentes, que resultam em plantas e volumetrias também distintas. Neste artigo serão comparados três estudos de caso, todos com cinco pavimentos (sendo o térreo o primeiro deles).

O estudo de caso 1 está localizado no conjunto residencial Parque São Bento, na macrorregião Sudoeste de Campinas e foi entregue à população no fim de 2011. Este empreendimento possui um total de 2.380 unidades habitacionais distribuídas em 119 blocos. Sua planta de pavimento tipo é do tipo “H” (Figura 1), tipologia bastante usada no país desde a época dos Institutos de Aposentadorias e Pensões- IAP’s (BRUNA,2010).

Figura 1: Planta baixa do pavimento tipo do estudo de caso 1

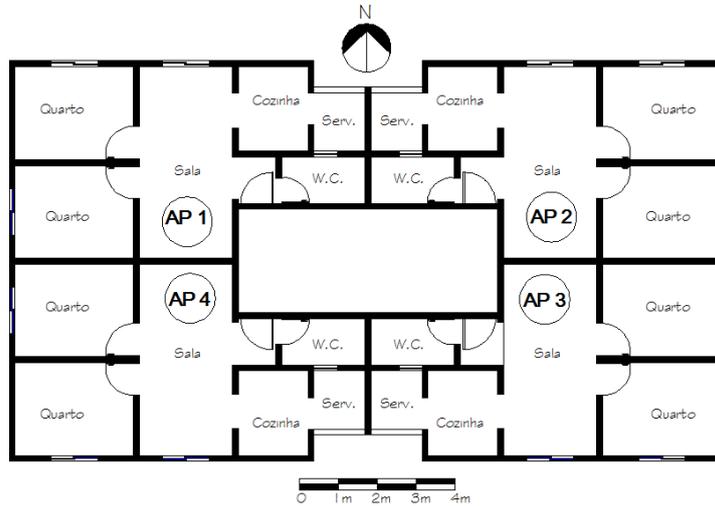


Fonte: Morais, 2013.

O estudo de caso 2 constitui-se numa particularidade. Ele não foi realmente construído como consta no projeto apresentado pela prefeitura, no entanto, foi escolhido para este estudo porque a planta original apresenta ventilação/iluminação de cozinha e banheiro através da abertura da área de serviço (Figura 2) e esta é uma solução projetual bastante recorrente neste tipo de empreendimento.

O conjunto localiza-se na macrorregião Sudoeste de Campinas e apresenta 2700 unidades habitacionais distribuídas em 135 blocos.

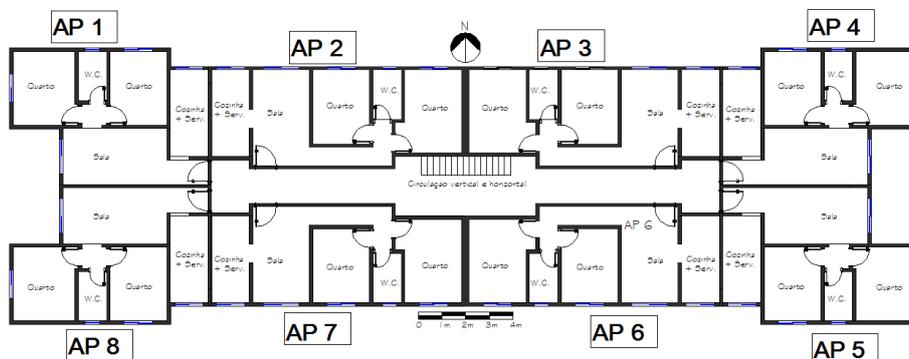
Figura 2: Planta baixa do pavimento tipo do estudo de caso 2



Fonte: Morais, 2013.

O estudo de caso 3 localiza-se na macrorregião Sul de Campinas, às margens da rodovia Anhanguera SP330. O empreendimento total apresenta 2120 unidades habitacionais distribuídas em 53 blocos, resultando em oito unidades habitacionais por pavimento. Esta construtora habitualmente constrói blocos conjugados dois a dois com parede geminada, o que é uma tendência atual deste mercado devido à vantagem de ganhar mais espaço na gleba para acomodar mais blocos. O resultado final é um edifício bastante alongado com duas fachadas maiores monolíticas (Figura 3).

Figura 3: Planta baixa do pavimento tipo do estudo de caso 3



Fonte: Morais, 2013.

3.2 Caracterização dos ventos

A caracterização de ventos se fez necessária, pois se precisava criar um cenário próximo à realidade nas simulações computacionais. Utilizou-se estação meteorológica localizada numa zona próxima a um dos empreendimentos estudados (estudo de caso 3) e com rugosidade similar a dos empreendimentos (região suburbana). Para tal caracterização foram enviados, pela estação, dados de velocidade do ar e direção do vento abrangendo um período de nove anos consecutivos (de 2001 à 2010). Sequencialmente procedeu-se a determinação das direções predominantes dos ventos (No caso de Campinas são Sudeste e Norte) e a conseqüente velocidade média representativa de cada direção.

Decidiu-se simular pelo menos três diferentes incidências de vento em relação à geometria dos edifícios (que são simétricos): vento incidente a 0° (direção Norte), 90° (direção Leste) e 135° (direção Sudeste). Assim o projetista pode prever o comportamento do fluxo de ar interno nas demais orientações, relacionando os resultados aqui obtidos com a situação por ele encontrada na gleba, mesmo sabendo que os valores de velocidade média dos ventos podem variar para mais ou menos, dependendo da região.

3.3 Simulação da ventilação natural usando CFD

Para a referida pesquisa utilizou-se software de fluidodinâmica computacional (CFD) mundialmente aceito na comunidade acadêmica, que é capaz de simular o comportamento da ventilação natural. No caso foi utilizado o CFX 13.0 produzido pela empresa ANSYS, o qual é devidamente licenciado no laboratório da Engenharia Química da UNICAMP.

Metodologicamente o primeiro passo foi a confecção dos modelos tridimensionais, o qual ocorreu no AutoCAD, considerando todas as suas aberturas efetivas para passagem de ar (nos quartos, salas e cozinhas as esquadrias eram corrediças o que indica passagem de ar apenas em 50% da área da abertura, já nos banheiros como foi usada basculante com abertura total, área de abertura= área de passagem de ar). Portanto, todas janelas e portas internas foram consideradas abertas nos modelos, com exceção da porta de entrada do apartamento, que por questões de privacidade/segurança normalmente permanecem fechadas. Isto somente foi possível devido a alta capacidade computacional que se dispunha, pois normalmente pesquisas na área de ventilação natural no interior dos edifícios conseguem vazar apenas o pavimento de interesse e não o edifício todo, como de fato corresponde a realidade.

Em seguida os arquivos dos edifícios foram exportados para o ICEM CFD (módulo onde foram definidos parâmetros para criação da malha que viabilizou a simulação). Quanto à malha, os principais parâmetros seguiram padrões estabelecidos em outras simulações computacionais de ventilação natural (PRATA, 2005; FIGUEIREDO, 2007; LEITE, 2010). Utilizou-se a malha estruturada tetraédrica em função de sua menor complexidade computacional e tempo de simulação, além de que, se ajusta melhor a geometrias complexas. Houve refinamento nas Parts CHAO e PREDIO onde o tamanho máximo do tetraedro foi de 0,3m.

Posteriormente os arquivos de malhas foram exportados para o CFX propriamente dito, foram definidas as condições iniciais e de contorno dos modelos e finalmente ocorreram as simulações.

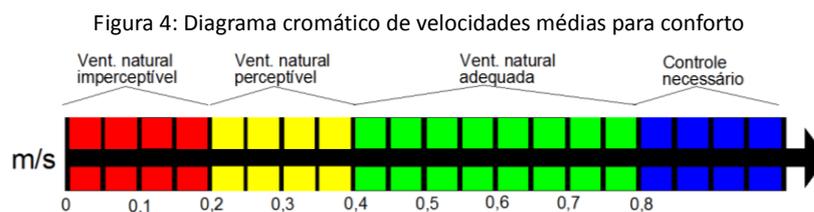
No *CFX-Pre* as condições iniciais seguiram o padrão indicado pelo CFX para este tipo de simulação, apenas ressalta-se a escolha do modelo de turbulência. Utilizou-se o modelo de turbulência híbrido conhecido pela sigla SST que reúne dois tipos de modelos: o $k-\epsilon$ (k-Epsilon), que é mais usado para escoamentos externos e o $k-\omega$ (k-ômega), o qual é mais usado em escoamentos confinados ou junto às paredes. Esta decisão deu-se em função do objetivo geral que visa à ventilação interna dos edifícios escolhidos como estudos de caso.

As condições de contorno são um conjunto de parâmetros aplicados às *parts* do domínio, que interferem diretamente no escoamento. Estas condições estão descritas em Cost, 2004. 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. Neste artigo utilizou-se a equação de perfil logarítmico do vento.

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. Essas alturas foram escolhidas por corresponderem 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. Criada a *Isoclip*, o usuário pode obter informações sobre diversas variáveis (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 se aproximando assim da metodologia proposta por Givoni (1962).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados obtidos para as três direções de vento incidente: 0° (vento Norte), 90° (vento Leste), incidência de vento oblíqua a 135° (vento Sudeste). Como há simetria formal nos edifícios, estas três incidências de vento fornecem uma ideia muito clara do que ocorre nas orientações opostas, dando ao projetista um panorama geral de quando ele posiciona a edificação de oito maneiras em relação ao vento incidente (0°,45°,90°,135°,180°, 225°,270°,315°). Os resultados referem-se a análises qualitativas obtidas em imagens vetoriais do fluxo de ar e quantitativas baseadas nas velocidades médias encontradas em cada cômodo registradas nas *Isoclips*. Para estas análises de velocidades médias estabeleceu-se uma escala de valores relacionados ao conforto térmico dos moradores (Figura 4). Esta escala foi desenvolvida com base no trabalho de Cândido et al (2010).



Fonte: Morais, 2013.

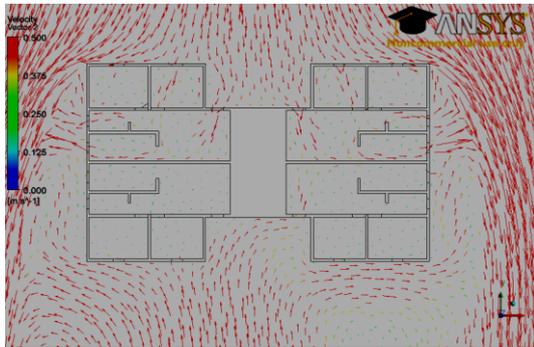
Os resultados quantitativos foram obtidos da seguinte maneira: realizou-se classificação cromática das velocidades médias de cada ambiente para as três alturas de pavimento estudadas (primeiro, terceiro e quinto pavimentos). Em seguida foram obtidos os diagramas finais, sempre representando dois dos três resultados encontrados. Ou seja, se na sala no primeiro pavimento, a velocidade média encontrada ficou na categoria amarela, e no terceiro e quinto ficou verde, neste diagrama representou-se a cor verde para sala. Assim é possível dar um panorama geral do desempenho da tipologia por direção de vento incidente.

4.1 Tipologia 1

Com vento incidente a 0° (Figura 5) o fluxo de ar que percorre os apartamentos a barlavento (ap1 e ap2) entra pela abertura da sala –posicionada na grande reentrância- e usa as aberturas da cozinha e banheiro como saída. Este sentido de percurso, onde o ar entra por uma zona seca e sai por zonas de áreas molhadas, responsáveis pela grande produção de odores, é considerado correto e deve ser buscado sempre que possível pelos projetistas. Porém nos demais apartamentos, ap3 e ap4 - os

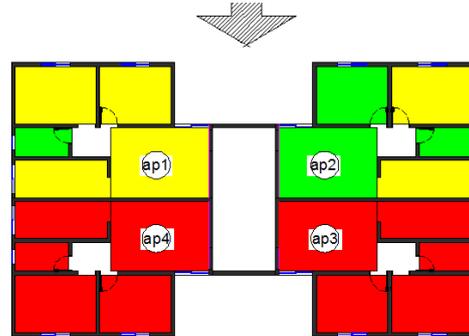
quais se localizam à sotavento- apesar do mesmo sentido do fluxo, os valores de velocidades médias são baixíssimos como mostra a Figura 6.

Figura 5: Fluxo do vento no terceiro pavimento. Vento a 0º.



Fonte: Morais, 2013.

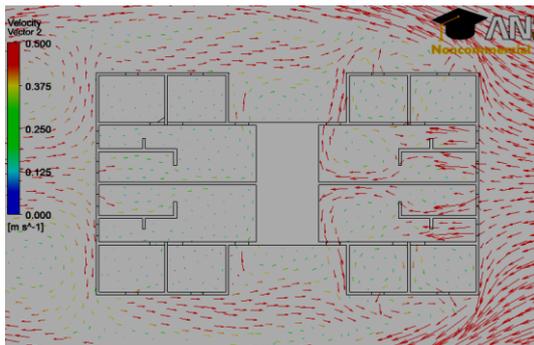
Figura 6: Diagrama cromático de vel. médias para 0º.



Fonte: Morais, 2013.

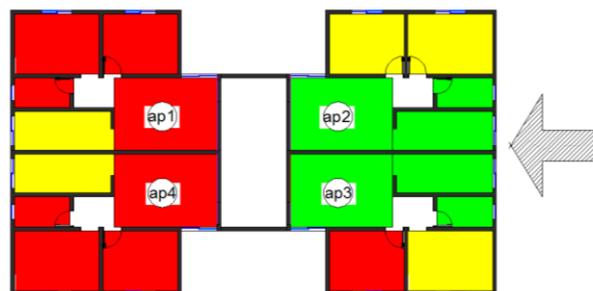
Para incidência à 90º (Figura 7), a eficiência da ventilação fica totalmente concentrada nos ambientes que possuem abertura direta para esta posição (cozinhas e banheiros), funcionando como entrada de ar (pressão positiva) e na sala por ter abertura que funciona como saída de ar (pressão negativa). Nestes apartamentos o vento vai da cozinha para a sala estando os quartos sem ventilação, como mostra a Figura 8. A simples adoção de outra abertura ou deslocamento da abertura de um dos quartos para a fachada de vento incidente mudaria este resultado.

Figura 7: Fluxo do vento no terceiro pavimento. Vento 90º.



Fonte: Morais, 2013.

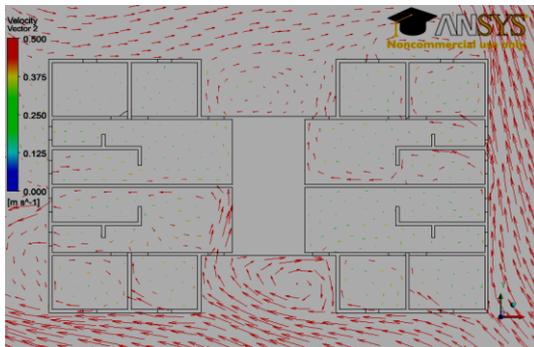
Figura 8: Diagrama cromático de vel. médias para 90º.



Fonte: Morais, 2013.

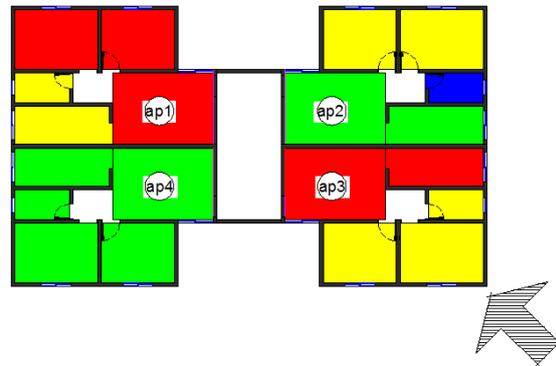
Já na incidência à 135º (Figura 9) identifica-se um maior incremento da ventilação nos apartamentos 2 e 4 e deficiência nos apartamentos 1 e 3 (Figura 10). No apartamento 4 além de ser ótima a ventilação em todos os ambientes, ela ocorre no sentido correto, contrariamente ao apartamento 2.

Figura 9: Fluxo do vento no terceiro pavimento. Vento 135º.



Fonte: Morais, 2013.

Figura 10: Diagrama cromático de veloc. médias para 135º.

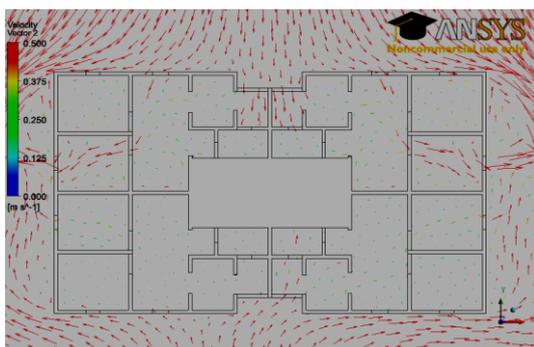


Fonte: Morais, 2013.

4.2 Tipologia 2

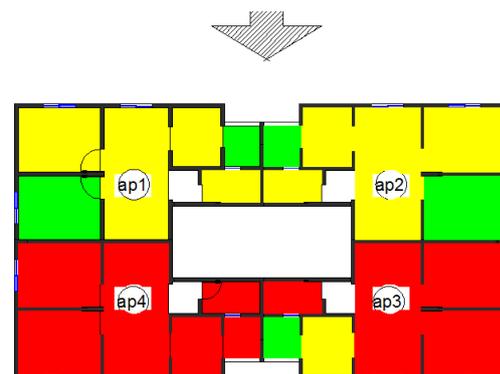
Nesta tipologia, com incidência de vento 0º (Norte), de uma maneira geral, nem os apartamentos à barlavento apresentaram valores de velocidades médias adequados ao conforto (Figura 11). É importante ressaltar ainda que devido ao vórtice originado pela geometria do edifício, a área de serviço e cozinha do apartamento 3, localizado à sotavento, apresentaram resultado de ventilação igual aos apartamentos à barlavento (Figura 12). Lembra-se que este vórtice, devido à turbulência, oscila de posição no edifício caindo ora para o apartamento 3 (como foi registrado), ora para o apartamento 4. Registrada esta exceção, os demais ambientes dos apartamentos à sotavento praticamente não apresentaram ventilação natural.

Figura 11: Fluxo vento no terceiro pavimento. Vento 0º.



Fonte: Morais, 2013.

Figura 12: Diagrama cromático de veloc. médias para 0º.

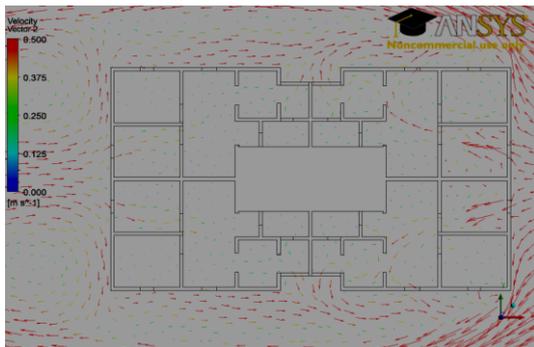


Fonte: Morais, 2013.

Com incidência de vento à 90º (Leste), somente os quartos com aberturas localizadas à barlavento (quartos do eixo dos apartamentos 2 e 3) apresentaram resultados satisfatórios do ponto de vista de ventilação natural para conforto térmico (Figura 13). Nos demais ambientes, mesmo à barlavento, os resultados foram ruins o que indica claramente que os usuários desses ambientes precisam recorrer

a sistemas mecânicos de ventilação, sobretudo nos meses mais quentes, o que elevará certamente o consumo energético nessas unidades habitacionais. Assim, o desempenho desta tipologia para incidência de vento à 90º é considerado muito baixo (Figura 14).

Figura 13: Fluxo vento no terceiro pavimento. Vento 90º.



Fonte: Morais, 2013.

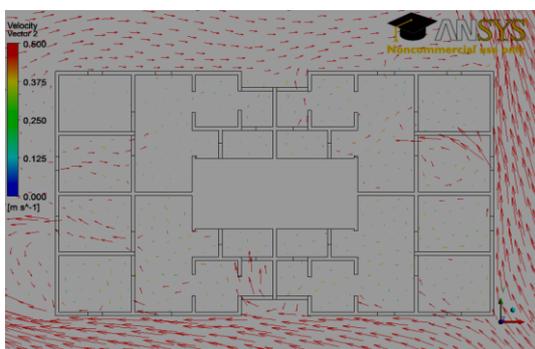
Figura 14: Diagrama cromático de veloc. médias para 90º.



Fonte: Morais, 2013.

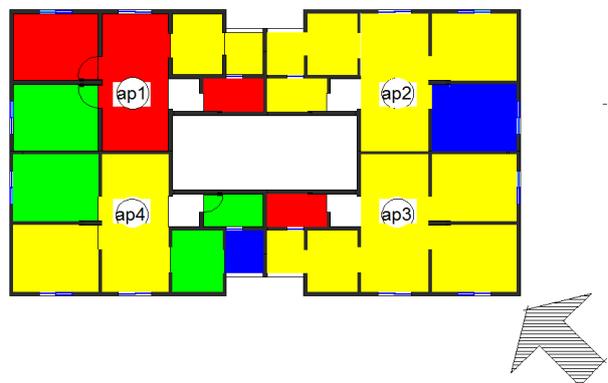
O apartamento mais bem ventilado nesta tipologia para vento incidente à 135º foi o apartamento 4 (Figura 15), ainda assim com alguns ambientes deficientes. O apartamento 2 apresentou o quarto do eixo com extrema ventilação, tendo inclusive que ser controlada de alguma maneira pelo usuário, no entanto, devido ao posicionamento de aberturas e configuração interna, esta ventilação não foi transferida aos demais ambientes. O apartamento 3 por ter a maior parte das aberturas sob pressão positiva, não apresentou boa ventilação e o apartamento 1, como já era esperado por localizar-se à sotavento, também não obteve bons resultados (Figura 16).

Figura 15: Fluxo vento terceiro pavimento. Vento 135º.



Fonte: Morais, 2013.

Figura 16: Diagrama cromático de veloc. médias para 135º

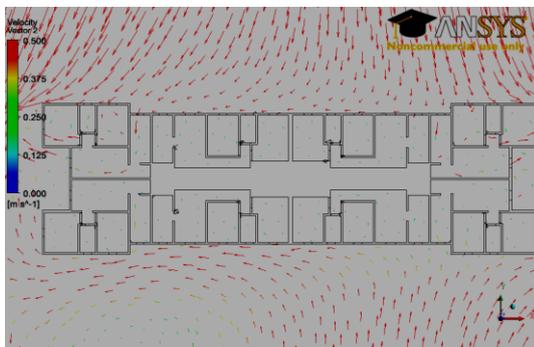


Fonte: Morais, 2013.

4.3 Tipologia 3

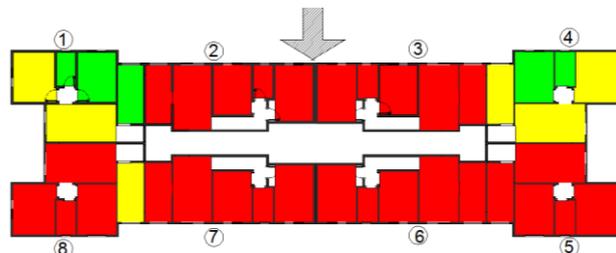
Para ventos a 0° (Figura 17), apenas os apartamentos de canto (ap1 e ap4), apresentam ventilação regular, pois as aberturas de cozinha e quartos servem de entrada e a abertura da sala posicionada na grande reentrância serve como saída de ar. Os demais apartamentos, por estarem suas aberturas todas voltadas para a mesma fachada, sob a mesma pressão do vento, não apresentam ventilação cruzada (Figura 18). Isto é uma demonstração de que, para uma ventilação eficiente, há que se ter diferença de pressão nas aberturas. Neste caso, a geometria do edifício contribuiu decisivamente para estes resultados. O mesmo pode ser observado para incidência à 90° (Figura 19), onde dos 8 apartamentos, apenas 2 apresentaram ventilação natural cruzada (Figura 20).

Figura 17: Fluxo vento 3º pavimento. Vento 0°.



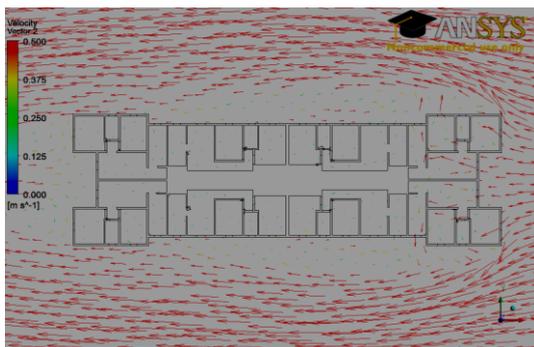
Fonte: Morais, 2013.

Figura 18: Diagrama cromático de vel. médias para 0°



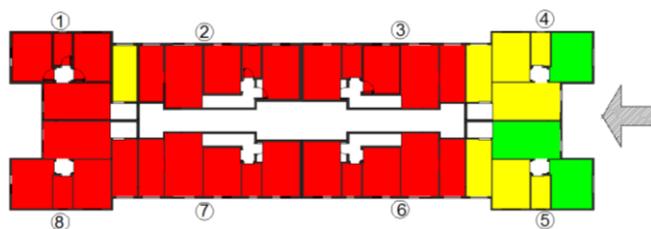
Fonte: Morais, 2013.

Figura 19: Fluxo vento 3º pavimento. Vento 90°.



Fonte: Morais, 2013.

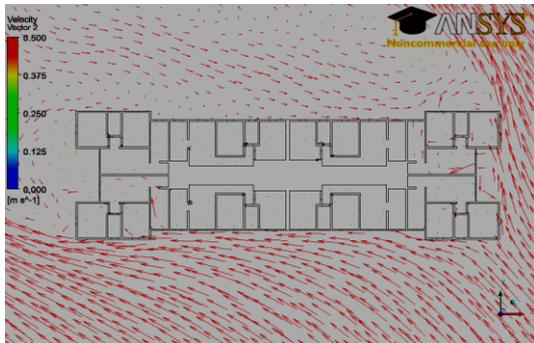
Figura 20: Diagrama cromático de vel. médias para 90°



Fonte: Morais, 2013.

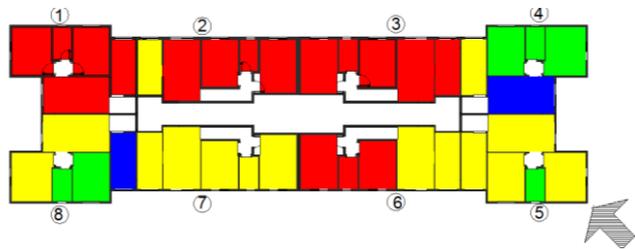
A 135° a situação melhora um pouco (Figura 21), para os apartamentos do centro à barlavento pois há incremento de diferença de pressão nas aberturas, mas nada significativo para conforto térmico. Os melhores resultados são nos apartamentos de esquina, 4 e 8. No apartamento 4 o sentido da ventilação acontece de forma desejável (da sala para quartos e cozinha), já no apartamento 8 ocorre sentido inverso, o que deve ser evitado pelo projetista (Figura 22).

Figura 21: Fluxo vento 3º pavimento. Vento 135º.



Fonte: Morais, 2013.

Figura 22: Diagrama cromático de veloc. médias para 135º



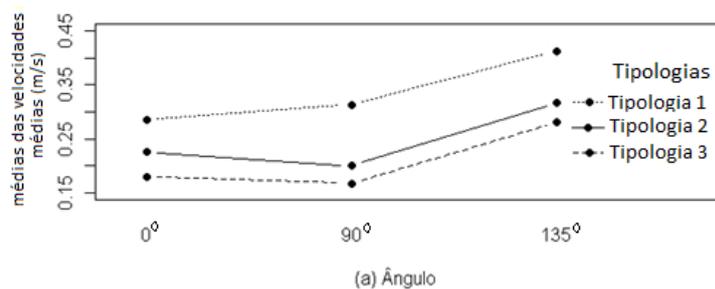
Fonte: Morais, 2013.

4.4 Comparação estatística dos estudos de caso

Para comparar os resultados dos estudos de caso realizou-se tratamento estatístico do banco de dados das velocidades médias em todos os ambientes nas três alturas de pavimento e nas três direções de vento dominante. A análise foi realizada com auxílio do software estatístico R (versão 12.2.0) e neste caso aplicou-se um procedimento estatístico de comparação de médias, denominado análise de variância- ANOVA- a fim de obter evidências sobre quais diferenças são estatisticamente significativas.

Quando se comparam as tipologias (Figura 23) verifica-se que a tipologia do estudo de caso 1 é melhor que o estudo de caso 2 e 3 nos três diferentes ângulos de vento dominante.

Figura 23: Comparação estatística dos estudos de caso



Fonte: Morais, 2013.

A geometria do edifício associada ao posicionamento das aberturas concorreu decisivamente para este resultado. Edifícios muito longilíneos e com fachadas monolíticas (sem reentrâncias) apresentam ventilação interna deficiente, principalmente nos apartamentos centrais (ventilação unilateral).

Em relação ao posicionamento ou orientação do bloco frente ao vento dominante, destacam-se os resultados do vento a 135º. Este resultado foi ajudado pelo fato de ser o maior valor de velocidade

média. Entre os ventos a 0º e 90º não ficou comprovada diferença estatística significativa. Então para as tipologias apresentadas, indica-se implantação oblíqua em relação ao vento dominante.

5 CONCLUSÃO

Nos três edifícios estudados a simetria formal compromete a eficiência das unidades habitacionais. Por isso o arranjo das unidades habitacionais deve ser projetado e posicionado de acordo como sentido do vento dominante, o que não foi observado nestes exemplos.

O fato da porta de entrada permanecer fechada aliado à ausência de ventilação no hall comum do pavimento, condiciona a existência da ventilação cruzada apenas à posição das aberturas externas dos ambientes. Portanto a especificação de porta ventilada bem como de bandeiras nas portas internas deveria ser um recurso usado pelos projetistas para melhoria da ventilação interna.

Quanto à configuração interna, verificou-se que principalmente os quartos, quando posicionados lado a lado com aberturas para a mesma fachada, mostraram resultados piores que outros com aberturas posicionadas em fachadas diferentes. Isto pode facilmente ser resolvido pelo projetista.

O sentido do fluxo de ar deve partir sempre de zonas secas para zonas molhadas, como cozinhas e banheiros. Áreas molhadas devem ser posicionadas sempre que possível na zona de pressão negativa, ou saída de vento, para que não contaminem outros ambientes.

Do ponto de vista formal, as reentrâncias do edifício são benéficas, pois ajudam na promoção da diferença de pressão nas fachadas e promovem a ventilação cruzada. Por isso a planta “H” do estudo de caso1 apresentou melhores resultados que a planta retangular do estudo de caso 3. Assim deve-se evitar fachadas retas e monolíticas, sobretudo muito alongadas, pois promovem apenas ventilação unilateral nos apartamentos.

Nunca usar aberturas de um ambiente para ventilar ambientes adjacentes, como ocorreu com as cozinhas e banheiros da Tipologia 2. Definitivamente esta solução de projeto não garante resultados satisfatórios de ventilação natural nos ambientes desprovidos de aberturas, independentemente da altura do pavimento, principalmente se incidência de vento dominante for perpendicular ou paralela à abertura de captação.

Quanto à orientação, percebe-se que para ventos incidentes ortogonais (0º, 90º, 270º e 180º) o número de apartamentos beneficiados corretamente pela ventilação é menor que em incidência de ventos oblíquos. A orientação de 135º e suas variantes (45º, 225º e 315º) se mostraram melhores para as tipologias estudadas. Portanto, posicionar os blocos de maneira que recebam o vento

dominante em diagonal é uma maneira simples de melhorar a eficiência da ventilação interna no caso dos edifícios estudados.

Entende-se que a recomendação sobre tamanho de aberturas para ventilação indicada pela NBR 15220-3 é um avanço no sentido de tentar promover conforto térmico em nossos ambientes, no entanto, comprovou-se que outros fatores como posição de aberturas (e do edifício) face ao vento dominante e configuração interna, concorrem decisivamente para a qualidade desta ventilação. Sugere-se a revisão desta norma ressaltando a importância destes fatores.

Percebe-se que todas estas recomendações acima descritas podem ser facilmente atingidas ainda na fase de projeto. Portanto o uso da simulação computacional por meio de CFD para predição da ventilação natural comprovou-se eficaz. Estudos futuros se fazem importantes principalmente para verificar a influência da configuração do entorno na ventilação interna dos blocos.

6 AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem a Capes pela bolsa de estudo do doutorado .

7 REFERÊNCIAS

- BRUNA, P. *Os primeiros arquitetos modernos: Habitação Social no Brasil 1930-1950*. São Paulo: EdUSP, 2010.
- CANDIDO C, LAMBERTS R., BITTENCOURT L., DEAR R.. *Aplicabilidade dos limites de velocidade do ar para efeito de conforto térmico em climas quentes e úmidos*. Revista Ambiente construído. Porto Alegre, v.10, n.4, p.59-68, out/dez 2010.
- COST Action 14: *Recommendations on the use of CFD in predicting Pedestrian Wind Environment*. Bruxelas: COST, 2004.
- FIGUEIREDO, C.M. *Ventilação natural em edifícios de escritórios na cidade de SP: limites e possibilidades do conforto térmico*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo: FAUUSP, 2007.
- GIVONI, B. *Basic study of ventilation problems in houses in hot countries*. Israel: Building Research Station of the Institute of Technology, 1962.
- LEITE, R. V. *Fortaleza: terra do vento. A influência da mudança nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural em cidade de clima tropical úmido*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo: FAUUSP, 2010
- MORAIS, J.M.S.C. *Ventilação natural em edifícios multifamiliares do programa minha casa minha vida*. Tese (Doutorado em Arquitetura , Tecnologia e Cidade) Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2013.
- PRATA, A. R. *Impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano*. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.