

NBR 15220-3: UMA REFLEXÃO SOBRE OS PARÂMETROS DE PROJETO PARA VENTILAÇÃO NATURAL

Juliana Costa Morais (1); Lucila Chebel Labaki (2)

(1) Arquiteta, Pós-Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande-UFCG/ jumagnacosta@hotmail.com

(2) Prof. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura Tecnologia e Cidade, Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP//lucila@fec.unicamp.br

RESUMO

Os recentes aumentos da tarifa de energia elétrica no Brasil têm despertado a importância de projetos, sobretudo de habitação, que utilizem estratégias passivas de resfriamento, como é o caso da ventilação natural. Na NBR 15220-3 o uso de ventilação natural é uma estratégia projetual indicada para 7 das 8 zonas bioclimáticas. O quesito “tamanho de aberturas para ventilação” é o único que orienta o projetista sobre desempenho de ventilação natural. Segundo a norma, a variável a ser considerada é o percentual da área da abertura (A) em relação a área do piso do ambiente. O objetivo deste artigo é realizar uma análise de ventilação natural em edifício do programa minha casa minha vida-PMCMV dotado de aberturas com dimensões máximas indicadas pela NBR 15220-3 no intuito de refletir sobre os parâmetros indicados pela referida norma no que se refere à ventilação natural. Adotou-se a simulação computacional por meio de CFD (Computer Fluid Dynamics) como ferramenta capaz de realizar esta análise. Para tal, primeiramente definiu-se o empreendimento do PMCMV localizado na cidade de Campinas/SP (zona bioclimática 3) como objeto de estudo e procedeu-se com sua caracterização e consequente modelagem 3D considerando suas aberturas com dimensões correspondentes à 25% da área do piso. Posteriormente realizou-se caracterização climática dos ventos em Campinas, para obtenção dos dados de entrada no CFD. Por fim realizou-se a simulação computacional da ventilação natural no objeto de estudo escolhido para três diferentes ângulos de incidência do vento (0°, 90° e 135°). Os resultados mostraram que decisões projetuais como a correta disposição dos blocos e das aberturas frente ao vento dominante, bem como a disposição dos ambientes e o uso de reentrâncias nas fachadas, têm um impacto decisivo no desempenho da ventilação interna, ainda mais que o tamanho das aberturas. Assim, sugere-se que esse critério possa ser revisto na nova versão da NBR 15220-3. Palavras-chave: ventilação natural, simulação computacional, minha casa minha vida.

ABSTRACT

Recent increase in the Brazilian energy rates is calling the attention to new projects in the civil construction industry, which use cooling passive strategies, like natural ventilation. According to the NBR 15220-3 standard, the use of natural ventilation is a design strategy indicated to the 7 from 8 bioclimatic zones. The issue “sizes of ventilation opening” is the only one that guides designers on the natural ventilation performance. According to that standard, the variation to be considered is the opening area (A) percentage related to the room area. Aim of this article is carry out a natural ventilation analysis in the buildings of “Minha Casa Minha Vida” social program – PMCMV, with maximum opening suggested by the NBR 15220-3, in order to evaluate the parameters required by that standard concerning natural ventilation. A computer simulation by means of CFD (computer fluid dynamics) was adopted as the proper tool to accomplish that analysis. A PMCMV development located in Campinas was chosen as the study object, which was characterized and modeled in 3D, considering openings about 25% of the floor area. The local climate was described as for the winds to obtain the input data to the CFD. Finally the end, a computer simulation of natural ventilation at the study object was performed considering three different angles (0°, 90° and 135°) for the incident wind. results showed that design decisions like the correct block arrangement and front openings to the dominant winds, moreover the room arrangement and use of facade reentrances, have a decisive impact on internal ventilation performance, even more than opening areas. Therefore, authors suggest a review of that criterion according to the NBR 15220-3.

Palavras-chave: natural ventilation, computer simulation, calibration, “Programa Minha casa, minha vida”.

1. INTRODUÇÃO

Os recentes aumentos da tarifa de energia elétrica no Brasil têm despertado a importância de projetos, sobretudo de habitação, que utilizem estratégias passivas de resfriamento, como é o caso da ventilação natural, principalmente considerando o fato de sermos um país de clima predominantemente quente. Evitar o uso de equipamentos mecânicos de refrigeração, os quais consomem boa parte da energia elétrica de uma unidade habitacional, é o ponto de partida para quem quer economizar na conta de energia. No entanto, se o projeto não está preparado para o uso de ventilação natural de maneira eficiente, não será possível dispensar a ventilação mecânica. Um edifício bem ventilado traz consigo não somente um consumo de energia reduzido, mas, sobretudo uma boa qualidade/renovação do ar e conforto térmico para seus usuários.

Estas vantagens ganham realce principalmente quando são aplicáveis à população de baixa renda, a qual não pode pagar por erros cometidos em projeto. Portanto neste artigo tem-se por cenário edifícios incluídos no “Programa minha casa minha vida-PMCMV”. O PMCMV concluiu sua segunda fase (2011 a 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 ¹.

No Brasil a NBR 15220-3, vigente desde 2005, traz o zoneamento bioclimático e diretrizes construtivas para habitações de interesse social (onde se encaixam as habitações do PMCMV). Nesta parte da norma, realizou-se a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima. O uso de ventilação natural é indicado para 7 das oito zonas bioclimáticas (destas, em 4 é indicada a ventilação cruzada constantemente) e isto é uma grande conquista pois pela primeira vez alguma norma brasileira reconhece a importância dessa estratégia e apresenta algum parâmetro para utilização da mesma em projeto. No entanto é importante ressaltar a necessidade de se assegurar a ventilação natural cruzada de maneira eficiente, sobretudo para os projetistas.

Voltando ao problema dos edifícios do 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 prática é que os projetos do PMCMV 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, independentemente da zona bioclimática a qual pertencem. 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 importantes, como a implantação mais eficiente do bloco frente ao vento dominante, confirmando que a ventilação natural não é tratada como prioridade nestes edifícios.

Sabe-se que para um bom desempenho de ventilação natural interna deve-se considerar importantes variáveis como posição de aberturas, dimensionamento, tipologia e configuração interna. Na NBR 15220-3 apresentam-se algumas recomendações de projeto para cada zona bioclimática e dentre elas o quesito “tamanho de aberturas para ventilação” aparece como único que orienta o projetista sobre desempenho de ventilação natural. Segundo a norma, a variável a ser considerada deverá ser a área da abertura (A) em relação ao percentual de área do piso do ambiente, como está exposto na Tabela 1.

Tabela 1– Aberturas para ventilação

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Pequenas	10 % < A < 15%
Médias	15% < A < 25%
Grandes	A > 40%

Em estudo anterior Morais (2013) diagnosticou problemas de ventilação natural em edifícios do PMCMV localizados na cidade de Campinas/SP (zona bioclimática 3) - para a qual indica-se aberturas médias- mesmo tendo sido obedecidos os requisitos de tamanho de aberturas. Na tese fica evidente que variáveis definidas pelo projetista como posicionamento do edifício frente ao vento dominante, o posicionamento de aberturas, a configuração interna dos ambientes, a especificação do tipo de portas internas e da porta de entrada, dentre outros, são fundamentais para o desempenho da ventilação interna.

Neste artigo retoma-se um dos edifícios estudados anteriormente que apresentou baixo desempenho de ventilação natural, investigando-se o desempenho final de ventilação do edifício, na suposição de que todas

¹ Disponível no site: www.pac.gov.br/noticias. Acessado em 01/04/2015.

as aberturas do edifício tivessem o percentual máximo de tamanho indicado para a zona bioclimática 3 (25% da área do piso). Como toda pesquisa apresenta recortes, neste estudo trata-se de simulação de ventilação natural por ação dos ventos apenas e como se queria entender o que ocorre no interior dos apartamentos, isolou-se o edifício para simulação da ventilação (RAMPONI & BLOCKEN, 2012).

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é realizar uma análise de ventilação natural em edifício do “programa minha casa minha vida” dotado de aberturas com dimensões máximas indicadas pela NBR 15220-3. A partir dos resultados obtidos, pretende-se iniciar uma reflexão sobre a eficácia dos parâmetros indicados pela referida norma quanto à ventilação natural.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em três etapas principais:

1. Seleção e caracterização do edifício estudo de caso
2. Caracterização climática dos ventos em Campinas/SP
3. Simulação computacional da ventilação natural (ANSYS-CFX)

3.1. Seleção e caracterização do estudo de caso

O PMCMV chegou a Campinas no ano de 2009. No ano seguinte, o panorama de construções aprovadas pelo programa nesta cidade já era considerado muito grande. No intuito de esclarecer o andamento do programa, a Prefeitura Municipal introduziu na sua página da internet todas as informações sobre o PMCMV, tais como terrenos disponíveis, projetos aprovados, data provável de entrega, dentre outras. Decidiu-se estabelecer critérios de escolha do empreendimento a ser estudado: possuir mais de 2 mil unidades habitacionais (abrangência social), estar na faixa de financiamento de 0 a 3 salários mínimos de renda familiar, ter projeto aprovado pela prefeitura e ter já sido construído, e apresentar tipologia arquitetônica interessante para o estudo de ventilação natural.

O estudo de caso escolhido constitui-se numa particularidade desde sua legalização: no site da Prefeitura encontra-se uma planta baixa (Figura 1) que não confere com a volumetria construída no local (Figura 2). Decidiu-se mesmo assim investigar o desempenho do projeto original, pois esse provavelmente será utilizado em novos empreendimentos, e também por apresentar uma particularidade interessante, que é o fato de iluminar e ventilar cozinha e banheiro através da abertura da área de serviço.

O conjunto está localizado no Bairro Residencial Cosmos, região Sudoeste de Campinas. Neste tipo de empreendimento a escolha dos terrenos pelas empresas é fator determinante para a taxa de retorno financeiro, portanto esta é uma grande gleba localizada em frente de expansão nos limites da malha urbana de Campinas, seguindo os padrões de ocupação do PMCMV nesta cidade (ROLNIK *et al.*, 2015). Esta planta foi obtida em imagens de folders deste empreendimento que constam na página eletrônica da Prefeitura. No canto de cada ambiente estavam informadas as cotas dos mesmos que originaram a planta em arquivo CAD.

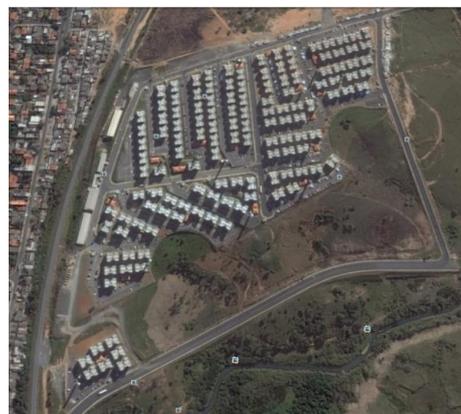
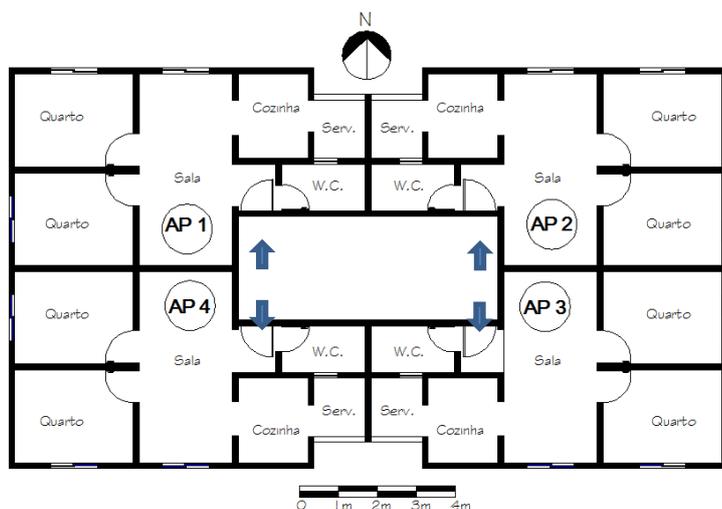


Figura 1 – Planta baixa do edifício estudo de caso

Figura 2 – Localização estudo de caso

Observando-se a distribuição interna das unidades habitacionais, verifica-se um claro problema de circulação, pois a porta de entrada, quando aberta, interrompe a passagem para o banheiro. Nesta tipologia, a sala dá acesso direto aos quartos, não havendo *hall* para essa ligação e seu formato é, portanto, bastante longilíneo, além da solução de iluminar e ventilar cozinha e banheiro através da abertura da área de serviço.

Cabe aqui um comentário acerca da implantação do bloco que, ao estar orientado para Norte (0°), permite que um dos quartos dos apartamentos opostos fique voltado para o Sul, o que para a latitude de Campinas (23° Sul) significa estar sem insolação na maior parte do ano. Porém reforça-se que as implantações são as mais variadas possíveis dentro da gleba, assim investiga-se nesta pesquisa três direções de vento incidente para que o projetista possa entender o que ocorre nas demais direções.

O conjunto possui 2600 unidades habitacionais distribuídas em 130 blocos com 5 pavimentos (térreo + 4 pavimentos). Portanto, trata-se de uma obra de grande porte onde vivem aproximadamente 10 mil pessoas na faixa salarial de 0 a 3 salários mínimos, e neste cenário qualquer redução do ponto de vista do consumo de energia impactará no orçamento familiar.

3.2. Caracterização climática dos ventos em Campinas/SP

A caracterização de ventos se fez necessária, pois se precisava criar um cenário próximo à realidade da simulação computacional. A estação utilizada pertence ao posto meteorológico do Instituto Agrônomo de Campinas- IAC, localizado na Fazenda Santa Elisa ((latitude de 22°53' S; longitude de 47°5' W; altitude de 664 m). Este posto apresenta características de rugosidade similar à do empreendimento escolhido (região suburbana), a qual corresponde a 0,5m, segundo software WASP usado por Prata (2012) para classificar rugosidade na malha urbana da cidade de Campinas.

Foram fornecidos dados de velocidade do ar a 2m de altura e a 5m de altura, além da direção do vento. Os dados são diários e horários, abrangendo um período de nove anos consecutivos (de 2001 a 2010). A fim de utilizar dados de vento à altura de 10m (altura padrão para este tipo de medição e necessária para as simulações), utilizou-se para corrigir os dados, a equação logarítmica de perfil do vento, dada na Equação 1.

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

Onde:

$V_{(z)}$ = velocidade na altura desejada;

z = altura desejada (no caso, 10m);

$V(Z_{ref})$ = velocidade na altura de referência (utilizou-se altura de 2m);

z_0 = Rugosidade da região (usou-se 0,5m para áreas de subúrbios).

Corrigidos os valores de velocidade do ar para 10m de altura, procedeu-se a determinação das direções predominantes dos ventos e a consequente velocidade média representativa de cada direção. A Figura 3 mostra os intervalos que foram considerados como sendo de cada direção no banco de dados. Em Campinas verificou-se que a direção predominante é Sudeste com velocidade média representativa de 3,59m/s seguida da direção Norte, com velocidade média de 2,64m/s.

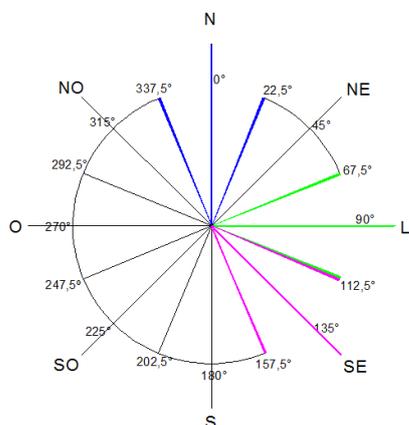


Figura 3: intervalos de valores de direção registrados pela estação IAC considerados no banco de dados

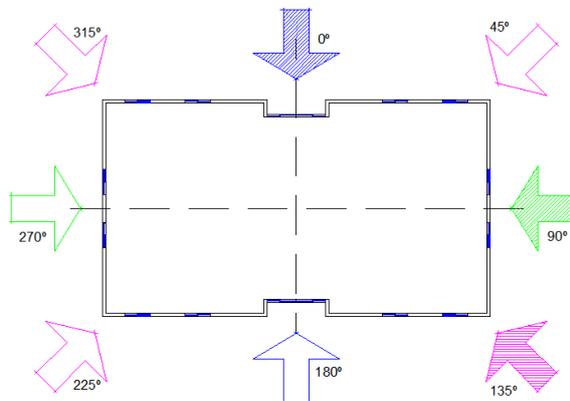


Figura 4: esquema gráfico indicativo da implantação do edifício diante dos ventos simulados de 0°, 90° e 135°.

Assim, decidiu-se simular as direções 0° (usou-se banco de dados direção Norte), 135° (banco de dados da direção Sudeste) e 90° (usou-se banco de dados do vento Leste velocidades médias de 2,17 m/s), pois a intenção é mostrar aos projetistas o comportamento da ventilação interna em pelo menos três diferentes incidências de vento em relação à geometria do edifício (que é simétrico). Assim o projetista pode entender o que ocorre nas demais orientações, como mostra a Figura 4. A análise pode ser considerada para outras localidades do país, desde que se entenda a posição do bloco em relação ao vento dominante local e que se considerem os valores de velocidade média do mesmo.

3.3. Simulação computacional com ANSYS/CFX

O software utilizado para as simulações foi CFX 13.0, produzido pela empresa ANSYS. As simulações foram executadas por um “cluster” computacional com 90 nós de processamento de 3GHz .

O ANSYS-CFX compõe-se de quatro módulos nos quais podem ser executadas etapas da simulação que vão desde a confecção do modelo até o tratamento dos resultados. Segundo Leite (2010) inicialmente no *pré-processing*, desenvolve-se o modelo a partir da construção da geometria (*geometry*) e determinação do domínio, dando origem ao modelo a ser adaptado no ANSYS ICFM CFD, um módulo do CFX vendido separadamente que é fundamental, pois serve para a parametrização e elaboração da malha (*mesh*) que definirá os nós nos quais ocorrerão os cálculos. Em seguida, no *CFX-Pre*, acontece a definição do regime da simulação, equações a serem utilizadas para cálculo, as condições iniciais, as condições de contorno (*initial e boundary conditions*) e o modelo de turbulência (*turbulence model*). A simulação propriamente dita é calculada no *CFX-Solver* e os resultados são visualizados através de imagens tridimensionais do modelo, gráficos ou tabelas no *CFX-Post*.

3.3.1. Confecção do modelo

Para a etapa da confecção do modelo tridimensional, utilizou-se o AutoCAD. Brandão (2009) recomenda que sejam utilizados os comandos *extrude*, *union*, *subtract* para confeccionar o modelo tridimensional no CAD. Esta informação é importante, pois os objetos precisam ser compreendidos como sólidos no ICFM CFD. No modelo utilizou-se a altura de parede de 2,4m com laje de 10cm, resultando numa altura total do edifício de 12,5m (Figura 5). O mesmo modelo foi usado para as três incidências de vento. A Figura 6 mostra a disposição das aberturas em planta baixa no apartamento tipo. Para a simulação da ventilação todas as janelas foram consideradas abertas assim como as portas internas, com exceção da porta de entrada do apartamento, que por questões de privacidade/segurança normalmente permanecem fechadas.

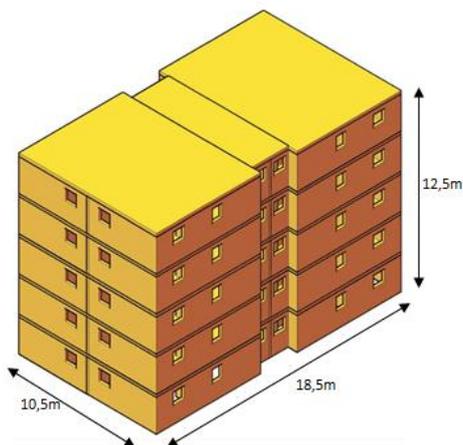


Figura 5: Visualização do modelo tridimensional



Figura 6: Localização das aberturas em planta, inclusive da porta entrada, a qual foi fechada para simulação (seta azul)

As dimensões das aberturas foram ajustadas para corresponderem a 25% da área do piso de cada ambiente, como mostra a Tabela 2. É importante lembrar que dependendo do tipo de esquadria, foi obtida a área efetiva de abertura. Nos quartos e sala as esquadrias são corrediças, então área efetiva corresponde a 50% da área da abertura. No banheiro a esquadria é basculante com abertura total, ou seja, área efetiva igual à área de abertura. Na área de serviço a abertura não possui esquadria (área efetiva= área abertura).

Tabela 2– Aberturas usadas no modelo

Aberturas efetivas máximas (25% da área do piso)					
Ambiente	Area piso (m ²)	Código planta	Largura (m)	Altura (m)	Area (m ²)
Sala	11,92	J1	1,24	1,2	1,49
Serviço + Coz.	6,08	A	1,32	1,15	1,52
WC	2,58	J2	1,075	0,6	0,645
Quarto cantos	7,38	J3	0,77	1,2	0,924
Quarto eixo	7,32	J3	0,762	1,2	0,915

O próximo passo foi a definição do domínio. Como o objetivo final é avaliar a ventilação interna do edifício, utilizou-se um domínio cúbico. Esta decisão deu agilidade às simulações uma vez que mudando as coordenadas vetoriais do vento incidente (direção e velocidade de referência), é possível fazer uma nova simulação utilizando a mesma malha e o mesmo modelo. Em simulações para análise do escoamento externo, ou seja, no entorno dos edifícios, normalmente usa-se um domínio em que a região a sotavento corresponde de 10-15 vezes a altura do objeto a ser estudado. Mas como o objetivo era verificar o comportamento do fluido no interior do edifício e este encontrava-se isolado, sem obstáculos externos que pudessem interferir no escoamento, não havia necessidade de um domínio tão extenso, o que somente demandaria mais capacidade computacional.

Quanto à malha, os principais parâmetros seguiram padrões estabelecidos em outras simulações computacionais de ventilação natural (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.

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- ϵ (k-Epsilon), que é mais usado para escoamentos externos e o k- ω (k-ômega), o qual é mais usado em escoamentos confinados ou junto às paredes (RAMPONI, BLOCKEN, 2012). Esta decisão deu-se em função do objetivo geral que visa à ventilação interna do edifício.

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.

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. 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, assim como foi proposto por Givoni (1962) só que usando medidas de túnel de vento.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos para 3 direções de vento incidente: 0° (vento Norte), 90° (vento Leste), incidência de vento oblíqua a 135° (vento Sudeste). Como há simetria formal no edifício, 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 7). Esta escala foi desenvolvida com base no trabalho de Cândido *et al* (2010).

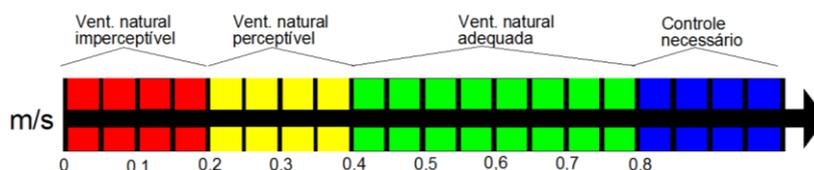


Figura 7: escala quantitativa cromática de velocidades médias do ar encontradas nos cômodos

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 Vento incidente 0° (norte)

As figuras que seguem (Figuras 8, 9, 10) dão suporte à análise qualitativa e mostram o comportamento do fluxo de ar interno, em vetores, no primeiro, terceiro e quinto pavimentos respectivamente. A Figura 11 apresenta o diagrama representativo dos resultados quantitativos de velocidades médias nos ambientes.

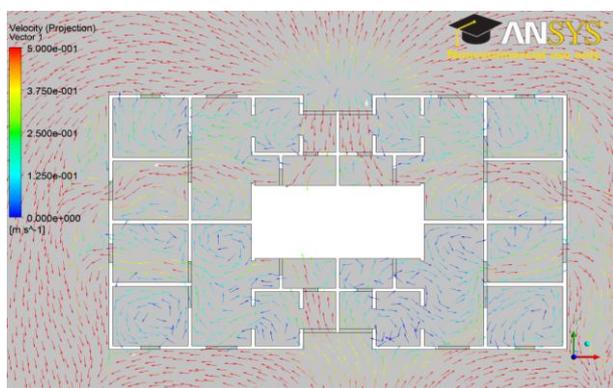


Figura 8: Fluxo de vento no primeiro pavimento (vetores)

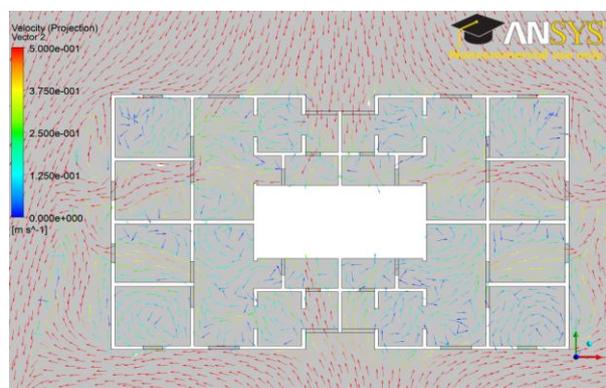


Figura 9: Fluxo de vento no terceiro pavimento (vetores)

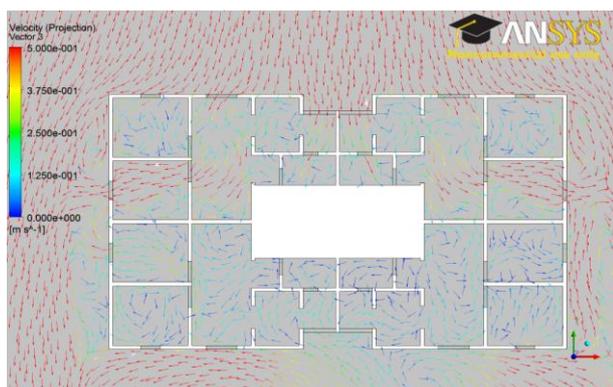


Figura 10: Fluxo de vento no quinto pavimento (vetores)

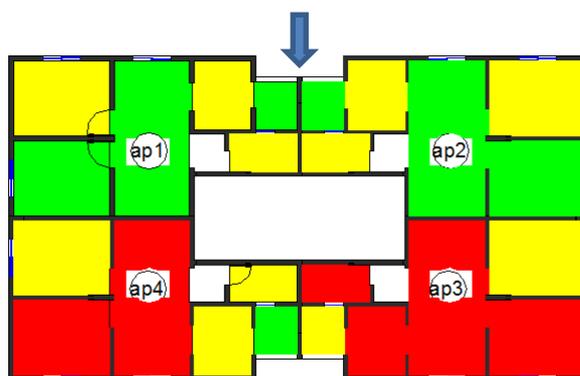


Figura 11: Diagrama cromático de velocidades medias com vento incidente a 0°

Nos três pavimentos a análise qualitativa é a mesma variando apenas a força do vento incidente advinda da diferença de altura e, no caso do primeiro pavimento, observa-se a influência da proximidade com o piso, gerando vórtices próximos a abertura da área de serviço. Nos apartamentos à barlavento (ap1 e ap2) a abertura da área de serviço, localizada na pequena reentrância, serviu como grande entrada do vento, que percorreu o banheiro saindo pela abertura da porta do mesmo, atravessou transversalmente a sala e saiu pela abertura do quarto do eixo do edifício. Este circuito permitiu ventilação cruzada com eficiência e nesses ambientes onde foram atingidas velocidades médias satisfatórias para o conforto térmico. Deve-se observar

que o sentido do fluxo é invertido, partindo de zonas molhadas (passando inclusive por banheiro) para zonas secas como sala e quarto, daí deve-se observar questões de qualidade do ar nestes apartamentos. Apesar da abertura do quarto do canto estar voltada para o vento dominante não há abertura de saída (zona de pressão negativa), portanto há somente recirculação de ar neste ambiente. Nos apartamentos a sotavento (ap3 e ap4) o sentido do fluxo é o mesmo porém estando todas as aberturas em zona de pressão negativa obtém-se velocidades medias muito baixas. Isto é um forte indício que os usuários desses apartamentos certamente procurarão sistemas de resfriamento mecânicos para suprir a deficiência de ventilação natural, elevando o consumo de energia nessas unidades habitacionais.

4.2 Vento incidente 90° (leste)

As figuras que seguem (Figura 12, 13, 14) dão suporte a análise qualitativa e mostram o comportamento do fluxo de ar interno, em vetores, no primeiro, terceiro e quinto pavimentos respectivamente. A Figura 15 apresenta o diagrama representativo dos resultados quantitativos de velocidades medias nos ambientes.

Para esta incidência de vento os apartamentos à barlavento são ap2 e ap3. Neles, o vento realiza um circuito usando a abertura do quarto do eixo do edifício como entrada, passando pela sala, cozinha e saindo pela área de serviço. O sentido do fluxo de ar é desejável (pois parte de zonas secas em direção a zonas molhadas), no entanto, as velocidades médias mostram que há deficiência nessa ventilação do ponto de vista de conforto na grande maioria dos ambientes. Nos apartamentos a sotavento (ap1 e ap4) o fluxo repete o mesmo caminho, porém as velocidades médias são ainda menores pois todas as aberturas estão na zona de pressão negativa. Resumidamente para vento incidente a 90°, tanto nos apartamentos à barlavento como a sotavento o desempenho de ventilação natural é baixo indicando um possível uso de sistemas mecânicos para obtenção de conforto térmico, culminando no aumento do consumo de energia elétrica nestes apartamentos.

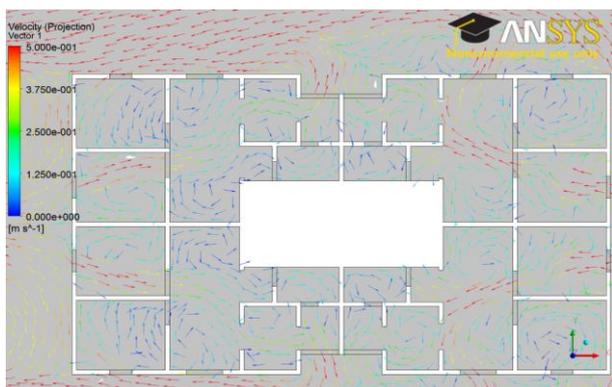


Figura 12: Fluxo de vento no primeiro pavimento (vetores)

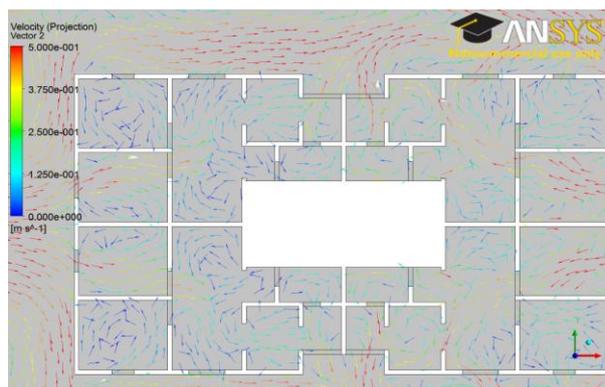


Figura 13: Fluxo de vento no terceiro pavimento (vetores)

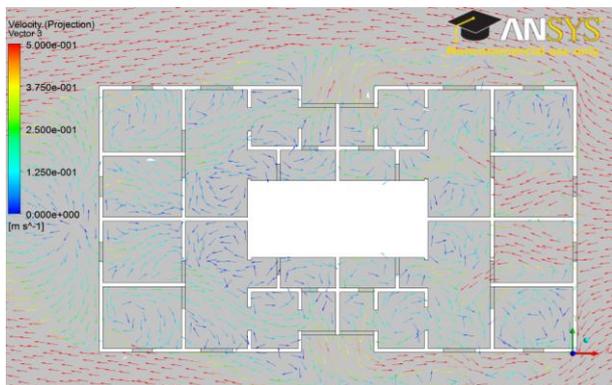


Figura 14: Fluxo de vento no quinto pavimento (vetores)

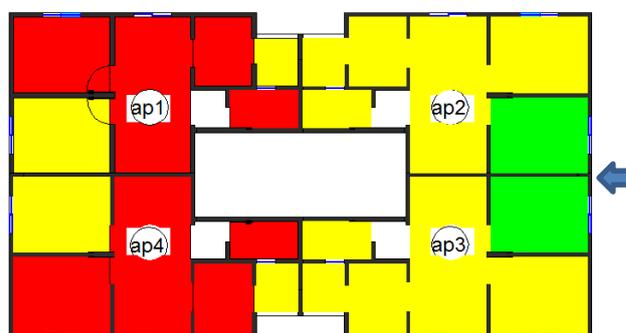


Figura 15: Diagrama cromático de velocidades medias com vento incidente a 90°

4.3 Vento incidente 135° (sudeste)

As figuras que seguem (Figura 16, 17, 18) dão suporte à análise qualitativa e mostram o comportamento do fluxo de ar interno, em vetores, no primeiro, terceiro e quinto pavimentos respectivamente. A Figura 19

apresenta o diagrama representativo dos resultados quantitativos de velocidades medias nos ambientes.

Para esta direção de vento (135°), os apartamentos à barlavento são ap2, ap3 e ap4. De uma maneira geral, observou-se que as unidades mais bem ventiladas foram ap2 e ap4, devido à diferença de pressão em suas aberturas. No ap2, o posicionamento da abertura do quarto do eixo permitiu que esta funcionasse como entrada de ar saindo ora pela abertura da sala, ora passando pelo banheiro e saindo pela abertura da área de serviço. Este circuito permitiu velocidades médias satisfatórias nesses ambientes e com sentido do fluxo correto. O quarto do canto novamente não obteve ventilação eficiente.

No ap 4 observou-se o inverso: abertura da área de serviço (localizada na pequena reentrância) funcionou como captadora de ar e a abertura do quarto do eixo funcionou como extratora, pois estava localizada na zona de pressão negativa. Este posicionamento permitiu um apartamento bem ventilado como um todo, no entanto com sentido de fluxo invertido (zonas molhadas para secas).

No ap 1, único a sotavento, o fluxo de ar entrou pela abertura do quarto do eixo e saiu pela sala e pela área de serviço, passando pelo banheiro onde conseguiu valores de velocidade media satisfatórios. No ap 3 todas as aberturas estão voltadas para zona de pressão positiva do vento, no entanto, a pequena reentrância gerou diferença de pressão na abertura da área de serviço (sucção), permitindo que o fluxo de ar entrasse no apartamento pela abertura do quarto do canto e da sala (passando pela cozinha) para então sair por essa abertura da área de serviço. Isto incrementou um pouco o movimento de ar neste apartamento.

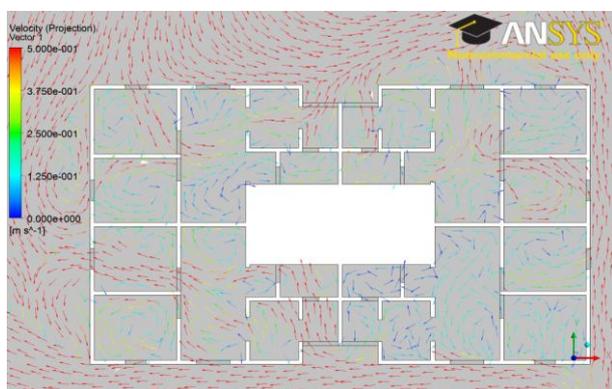


Figura 16: Fluxo de vento no primeiro pavimento (vetores)

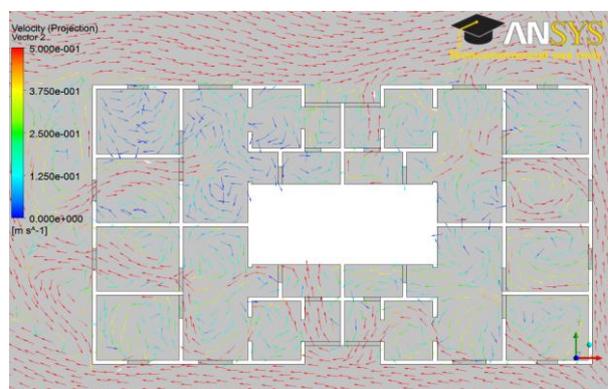


Figura 17: Fluxo de vento no terceiro pavimento (vetores)

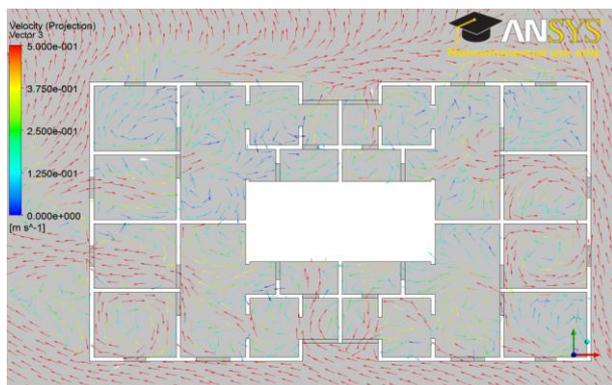


Figura 18: Fluxo de vento no quinto pavimento (vetores)

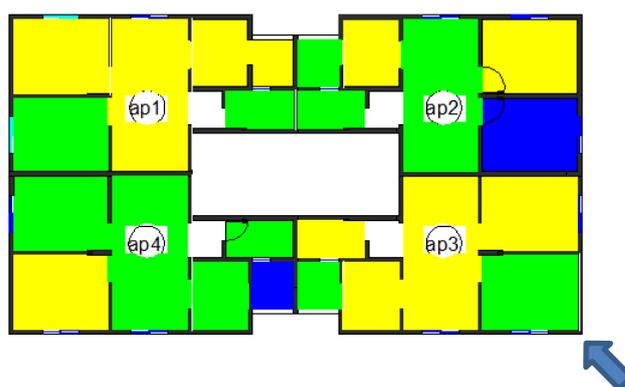


Figura 19: Diagrama cromático de velocidades médias com vento incidente a 135°

5. CONCLUSÕES

Neste artigo realizou-se análise de ventilação natural em projeto do PMCMV com aberturas máximas (25% da área do piso) indicadas pela NBR 15220-3 por meio de simulação computacional com CFD. Três posições de vento incidente (0°, 90°, 135°) foram testadas no edifício escolhido do PMCMV que teve todas as aberturas efetivas consideradas no modelo com exceção da porta de entrada do apartamento.

Quanto ao posicionamento do bloco frente ao vento dominante, observou-se que a posição oblíqua (vento a 135°) obteve melhores resultados, pois permitiu um número maior de ambientes mais bem ventilados. Verificou-se que o uso de reentrâncias nas fachadas incrementa a diferença de pressão.

A simetria formal comprometeu os resultados quando vento incidiu a 0° e 90°, impedindo que o bom desempenho fosse superior a 50% dos apartamentos. Se os apartamentos fossem pensados de modo mais independente no tocante à posição e quantidade de aberturas por ambiente, bem como configuração do ambiente interno, talvez pudessem ser atingidos melhores resultados.

Nesta tipologia a posição dos quartos, com aberturas para fachadas diferentes, possibilitou o maior movimento do ar no quarto do eixo do edifício. Por outro lado, o posicionamento da cozinha e do banheiro, ambos sem aberturas diretas para o exterior, prejudicou a ventilação destes ambientes. Portanto deve-se evitar usar aberturas de um ambiente para ventilar ambientes adjacentes, sobretudo se a incidência de vento dominante for perpendicular ou paralela à abertura de captação.

Nas simulações as portas internas foram consideradas abertas, no entanto esses resultados podem ser piorados quando as portas dos quartos tiverem que ser fechadas à noite por questões de privacidade. Consequentemente a previsão em projeto de portas internas com bandeiras facilitaria a ventilação noturna. Além disso, o simples desenho da porta de entrada com algum dispositivo móvel de ventilação (na parte superior, inferior ou mesmo na lateral) poderia permitir alguma passagem de ar entre os apartamentos e não deixar que somente as aberturas internas sejam responsáveis por esta ventilação.

Enfim os resultados mostram que questões como o posicionamento do bloco frente ao vento dominante, posicionamento das aberturas nos ambientes (incluindo portas) e da configuração interna dos mesmos exercem papel fundamental na eficiência da ventilação interna, ficando em segundo plano o quesito tamanho das aberturas, o qual permite apenas ampliar as velocidades médias internas, porém não muda o circuito do vento internamente. É importante lembrar que estas recomendações são advindas de simulações para blocos isolados, no entanto, quando inseridos no conjunto habitacional, alguns efeitos aerodinâmicos do vento podem melhorar ou piorar os resultados aqui discutidos.

Como continuidade deste trabalho, novas simulações serão realizadas, agora com alterações de projeto visando atingir níveis mais adequados de ventilação interna bem como simulações inserindo os demais blocos do conjunto edificado visando entender o impacto dos mesmos. Por fim, espera-se contribuir para reflexão sobre o uso de parâmetros que realmente possam influenciar na ventilação interna.

Assim, ao mesmo tempo que este artigo reconhece a importância de termos uma norma que traz o uso de ventilação natural como condicionante de projeto para maior parte do nosso território, questiona a existência de parâmetro único- dimensionamento de aberturas- adotado pela norma. Com isso espera-se contribuir para reflexão deste tema, e sugerir que como outras, a NBR 15220-3 possa ser revista neste quesito visando melhor qualidade ambiental interna nos edifícios, sobretudo os que se inserem no PMCMV.

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.
- BRANDÃO, R. S. **As Interações espaciais urbanas e o clima**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo: FAUUSP, 2009.
- 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. (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.
- 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.
- PRATA, A. R. **O uso do software was p - caracterização da rugosidade para a cidade de Campinas, SP/Brasil**. Artigo do Congresso Interamericano de Ingeniería del Viento- CLIV, 2012. Disponível em: <http://www.cliv2.ing.unlp.edu.ar/public/actas%20congreso/2.Prata-Shimomura.CLIV2.pdf>
- RAMPONI, R., BLOCKEN, B. **CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters**. **Building and Environment**, v. 53, p 34-48, 2012.
- RAMPONI, R., BLOCKEN, B. **CFD simulation of cross-ventilation flow for different isolated building configurations: validation with wind tunnel measurements and analysis of physical and numerical diffusion effects**. **Journal of wind engineering and industrial aerodynamics**, 104-106, p 408-418, 2012.
- ROLNIK *et al.* O programa Minha casa minha vida nas regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas: aspectos socioespaciais e segregação. **Caderno Metrôpoles**, São Paulo, v.17, n. 33, p. 127-154, 2015. Disp. <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2015-3306>

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.