

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP
REPOSITÓRIO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA E INTELECTUAL DA UNICAMP

Versão do arquivo anexado / Version of attached file:

Versão do Editor / Published Version

Mais informações no site da editora / Further information on publisher's website:

<https://www.scielo.br/j/ac/a/jQknMRzzZwV3rfgttSsFKmk>

DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000100133>

Direitos autorais / Publisher's copyright statement:

©2017 by Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC). All rights reserved.

DIRETORIA DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

Cidade Universitária Zeferino Vaz Barão Geraldo

CEP 13083-970 – Campinas SP

Fone: (19) 3521-6493

<http://www.repositorio.unicamp.br>

CFD como ferramenta para simular ventilação natural interna por ação dos ventos: estudos de caso em tipologias verticais do “Programa Minha Casa, Minha Vida”

CFD as a tool applied in simulation of indoor natural ventilation by wind forces: case study in vertical typologies adopted in the Social Housing Program “My house, My Life”

Juliana Magna da Silva Costa Moraes
Lucila Chebel Labaki

Resumo

A ventilação natural é uma estratégia projetual passiva que deve ser usada sempre que possível em países de clima quente como o Brasil. Entre os vários métodos para prever o comportamento da ventilação natural está o uso da dinâmica de fluidos computacional. O objetivo deste artigo é analisar a ventilação natural por ação dos ventos no interior de edifícios usando o método de simulação por CFD. A pesquisa toma como estudos de caso três edifícios multifamiliares do Programa Minha Casa, Minha Vida. Analisou-se o desempenho da ventilação para três ângulos de incidência do vento (0°, 90° e 135°). São apresentados resultados quantitativos (velocidade média do vento em cada ambiente interno) e qualitativos (imagens do fluxo de ar externo e interno). Os resultados indicaram melhor desempenho de ventilação na tipologia 1, com planta do tipo “H”, na qual a abertura localizada na grande reentrância representou papel determinante. Na tipologia 2, com volumetria próxima ao quadrado, a solução de ventilar banheiro e cozinha através da abertura da área de serviço mostrou-se ineficiente. O pior desempenho foi verificado na tipologia 3, caracterizada por maiores fachadas monolíticas (sem reentrâncias).

Palavras-chaves: Ventilação natural. Simulação por CFD. Ventilação por ação do vento.

Abstract

Natural ventilation is a passive architectural design strategy that should be used whenever possible in hot climate countries like Brazil. One of the several methods used to predict the behaviour of natural ventilation is computational fluid dynamics or CFD. The purpose of this paper is to analyse natural ventilation by wind action inside buildings by using the CFD simulation method. Three multifamily buildings from the Brazilian housing program Minha Casa, Minha Vida were taken as case studies. The performance of ventilation for three wind incidence angles (0°, 90° and 135°) is analysed. The study presents both quantitative results (average wind speed in each internal environment) and qualitative results (images of the external and internal air flow). The results indicate best ventilation performance in type 1, “H” type design, wherein the large opening in the indentation played a decisive role. In the type 2 design, a near square typology, the design solution to ventilate the bathroom and kitchen through the opening of the service area proved to be inefficient. The worst performance was seen in type 3, a building with large monolithic facades (no indentations).

Keywords: Natural ventilation. CFD Simulation. Wind driven ventilation.

Juliana Magna da Silva Costa Moraes
Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande - PB - Brasil

Lucila Chebel Labaki
Universidade Estadual de Campinas
Campinas - SP - Brasil

Recebido em 26/03/16
Aceito em 15/08/16

Introdução

Sabe-se que, sendo o Brasil um país de clima predominantemente quente, o uso do ar-condicionado em ambientes residenciais pode elevar não somente o consumo energético bem como causar danos ambientais. Evitar o uso de equipamentos mecânicos de refrigeração nas edificações deveria ser prioridade por parte de quem projeta e de quem executa edifícios, sobretudo os de interesse social. 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 boa qualidade/renovação do ar e, mesmo com temperaturas elevadas, propicia conforto térmico para seus usuários. Além disso, contribui para a redução do consumo energético para condicionamento. Pesquisas comprovam que a ventilação natural no interior dos ambientes em níveis adequados oferece proteção contra transmissão de agentes patogênicos transportados pelo ar (HOBDA; DANCER, 2013).

Givoni (1962) realizou importante trabalho que até hoje muito contribui para a temática da ventilação natural no ambiente interno. O autor apresentou um estudo sobre os efeitos da velocidade do ar externa sobre a velocidade média do ar no interior da edificação, utilizando para isso experimentos em um túnel de vento com um modelo reduzido de uma sala dotado de aberturas em paredes opostas simulando a ventilação cruzada. O autor considerou três direções de vento incidente na abertura e variou os tamanhos das aberturas, sempre obtendo como resultado o aproveitamento do vento (percentual de velocidade média obtido internamente em relação ao vento incidente na mesma altura).

Essa foi uma das primeiras publicações tendo como objetivo a predição da ventilação interna com base na ventilação externa, através de estudo experimental (neste caso em escala reduzida). A predição do desempenho da ventilação é uma ferramenta fundamental para o projeto eficiente, pois pode prever problemas e testar soluções.

Uma revisão nos métodos para predição de desempenho da ventilação em edifícios foi feita por Chen (2009). A performance da ventilação pode ser avaliada por modelos experimentais (de grande e pequena escala); modelos analíticos e empíricos; modelos de rede zonal e multizonal; e modelos da dinâmica de fluidos computacional (CFD). Escolher entre um método ou outro é uma decisão atrelada a muitos fatores, inclusive à disponibilidade de recursos humanos e materiais.

Segundo Chen (2009), apesar de algumas incertezas na modelagem, o que requer conhecimento suficiente de mecânica dos fluidos por parte do usuário e de demandar alta capacidade computacional, os modelos CFD estão se tornando mais e mais populares na predição da ventilação natural devido ao rápido aumento da capacidade computacional e ao desenvolvimento de interface amigável nos programas de CFD. Para o autor, esforços consideráveis foram e estão sendo feitos para buscar simulações cada vez mais confiáveis e precisas com CFD.

Para Ramponi e Blocken (2012), o uso de CFD apresenta vantagens claras quando comparadas com outras abordagens. Os autores destacam entre elas que o CFD fornece dados de parâmetros relevantes em todos os pontos do domínio computacional e evita algumas incompatibilidades em relação ao uso de modelos reduzidos, pois neles os modelos estão em escala real, além de trazer controle total sobre as condições de contorno. Alertam, porém, sobre o impacto dos parâmetros computacionais inseridos na simulação CFD, usando como estudo de caso para predição da ventilação natural um modelo genérico de edifício isolado (RAMPONI; BLOCKEN, 2012).

A fluidodinâmica computacional se baseia em equações de transporte solucionadas em todos os pontos de uma malha em duas ou três dimensões (SANTAMOURIS; WOUTERS, 2006). Shen, Zhang e Bierg (2012) acrescentam que os programas de CFD simulam o fluido numericamente com base em equações fundamentais dos fluidos (equações de Navier Stokes que descrevem conservação de massa, momento e energia no escoamento) e podem prever as características pormenorizadas do ar no interior e no entorno da construção.

No Brasil estudos relevantes foram desenvolvidos em importantes universidades nacionais que focalizam o estudo da ventilação por ação dos ventos tanto no ambiente urbano (COSTA, 2001; PRATA-SHIMOMURA, 2005; LEITE, 2010) como no ambiente interno, na busca de quantificação (CÓSTOLA, 2006) e de alternativas para sua melhoria (COSTA, 2009; LUKIANTCHUKI, 2015; ANDRADE, 2013). Portanto, a utilização de CFD como ferramenta de predição da ventilação natural tem-se mostrado eficiente.

Entre os muitos cenários que mereceriam atenção para estudos de ventilação natural no ambiente interno, neste trabalho foram escolhidos como estudos de caso edifícios multifamiliares de

interesse social com alta demanda populacional. Assim, nada melhor que avaliar edifícios inseridos no programa habitacional do governo federal intitulado “Programa Minha Casa, Minha Vida” (PMCMV), o qual concluiu sua segunda fase (2011 a 2014) com cerca de 2 milhões de moradias entregues¹.

Uma característica marcante desse programa é a reprodução dos projetos sem considerar questões climáticas inerentes aos locais de implantação. Em outras palavras, mesmo sabendo que cada região do Brasil faz parte de um mesoclima com especificidades que exigem características de projeto diferenciadas, o que ocorre na prática é que os projetos do PMCMV são repetidos em diferentes localidades, independentemente do clima.

Outra questão marcante nos edifícios verticais objeto de estudo deste artigo é que, provavelmente visando à maior obtenção de lucros por parte das empresas executoras, os blocos são implantados nos lotes de modo aleatório. Assim se desconsideram requisitos importantes, como a implantação mais eficiente para aproveitamento da insolação e da ventilação natural. Isso é preocupante porque não somente a salubridade como também o conforto térmico dos usuários podem ser comprometidos, além de um terceiro aspecto, hoje igualmente importante, o consumo de energia elétrica.

Arelada a essa questão de implantação dos blocos, o que se verifica nos condomínios verticais do PMCMV é a predominância de edifícios com “core” central (espaço destinado à circulação horizontal e vertical), pois aglutina várias unidades habitacionais dentro de um mesmo “hall” e libera mais espaço no terreno. O problema é que, em sua maioria, esses espaços são desprovidos de aberturas, o que dificulta ainda mais a eficiência da ventilação natural cruzada (por ação dos ventos). Com a porta de entrada fechada (por privacidade e segurança), a ventilação fica condicionada à eficiência das aberturas externas.

O objetivo deste artigo é analisar a ventilação natural interna por ação dos ventos através de simulações com CFD. Como objeto de estudo foram selecionados edifícios multifamiliares do “Programa Minha Casa, Minha Vida”, em Campinas, SP, a fim de contribuir para a reflexão sobre a qualidade desses projetos no país.

Método

O método adotado para esta pesquisa está dividido em três etapas principais:

- (a) seleção e caracterização dos estudos de caso em Campinas;
- (b) caracterização dos ventos em Campinas; e
- (c) simulação da ventilação natural usando CFD.

Antes de detalhar as etapas metodológicas faz-se necessário indicar algumas hipóteses simplificadoras desta pesquisa.

Sabe-se que fisicamente três são os mecanismos de obtenção de ventilação natural: por ação dos ventos (diferença de pressão), por efeito chaminé (diferença de pressão proporcionada por diferença de temperatura entre os meios externo e interno) e pela ação combinada de ambos. A primeira simplificação está no fato de simular com CFD a ventilação natural por ação dos ventos apenas. Para fins de simulação muitas são as variáveis envolvidas apenas nessa escolha, portanto se considerou o problema suficientemente complexo para um primeiro estudo.

Em segundo lugar, como o objetivo da pesquisa é investigar a ventilação no interior das unidades habitacionais, assim como estudos de ventilação no meio urbano utilizam a simplificação de representar os edifícios fechados, neste estudo utilizou-se o edifício isolado para fins de simulação da ventilação interna (RAMPONI; BLOCKEN, 2012). É importante destacar que algumas pesquisas sobre ventilação no ambiente interno consideravam vazado apenas o pavimento de interesse de estudo (COSTA, 2009), incorrendo em mais uma simplificação. Nesta pesquisa foram considerados todos os pavimentos vazados, como ocorre na realidade. Novos estudos são necessários para avaliar a influência da topografia na ventilação natural das unidades habitacionais, além do impacto da inserção dos demais blocos no conjunto.

Seleção e caracterização dos estudos de caso em Campinas

O Programa Minha Casa, Minha Vida chegou a Campinas, SP, em 2009. No ano seguinte o panorama de construções aprovadas nessa cidade já era considerado grande. O principal critério para seleção dos empreendimentos foi a abrangência social. Sendo assim, foram selecionados aqueles que tivessem aproximadamente 2 mil unidades habitacionais (por isso se optou por edificações multifamiliares) e que se destinassem à faixa salarial de 0 a 3 salários mínimos, a qual

¹Disponível em: <www.pac.gov.br/noticias>. Acesso em: 1 abr. 2015.

corresponde à população de baixa renda. Além dos fatores acima mencionados, foram selecionados edifícios com tipologias arquitetônicas diferentes, ou seja, distribuições internas de ambientes que se diferenciam uma das outras e que resultam em plantas e volumetrias também distintas. Uma das características desse tipo de edifício atualmente é o uso do “core central”, ou seja, espaço destinado à circulação horizontal e vertical das unidades habitacionais localizado na parte central do edifício.

A intenção é avaliar o desempenho de cada tipologia quanto à ventilação natural para que o projetista, não só o de Campinas, possa compreender o impacto da solução formal-projetual e com isso rever algumas dessas soluções nos projetos dessa natureza. Foram selecionadas três tipologias para a realização deste estudo.

O edifício chamado tipologia 1 apresenta planta H (Figura 1) e está localizado no conjunto residencial Parque São Bento na macrorregião sudoeste de Campinas, SP. Esta é certamente uma das tipologias mais recorrentes em todo o país, sendo bastante conhecida desde a época dos institutos de aposentadorias e pensão (IAPs) (BRUNA, 2010). Como as demais, apresenta “core central” desprovido de aberturas. Esse empreendimento possui um total de 2.380 unidades habitacionais, distribuídas em 119 blocos. A obra foi concluída no fim de 2011. Cada bloco possui cinco pavimentos (sendo o térreo considerado o primeiro deles). A planta do edifício e as aberturas usadas pela construtora estão indicadas na Figura 1.

A tipologia 2 pertence ao conjunto localizado no Bairro Residencial Cosmos, também na região sudoeste de Campinas, com 2.700 unidades habitacionais, distribuídas em 135 blocos. Trata-se de uma tipologia com planta quase quadrada, uma vez que a reentrância central é bem suave (Figura 2). Essa reentrância, por sua vez, é bastante importante, pois nela se localiza a abertura responsável pela ventilação e iluminação do banheiro e da cozinha. Não raramente, esse tipo de solução arquitetônica é adotado pelos projetistas e precisa ser avaliada.

A tipologia 3 localiza-se na macrorregião sul da cidade de Campinas, às margens da rodovia Anhanguera SP-330, e apresenta 53 blocos com 8 unidades habitacionais por pavimento, perfazendo um total de 2.120 apartamentos (Figura 3). Essa construtora habitualmente aglutina oito unidades habitacionais por pavimento, assim consegue ampliar espaço livre no lote, bem como economiza nas circulações horizontais e verticais. É uma tendência que vem se consolidando cada vez mais nesse mercado, daí a necessidade de avaliar esse tipo de solução arquitetônica.

Quanto à distribuição interna, apresenta quatro unidades habitacionais de canto iguais entre si, e outras quatro unidades habitacionais na parte central do edifício, também iguais entre si (pior distribuição interna). Diferentemente dos demais empreendimentos estudados, este é o único que apresenta posicionamento do banheiro entre os quartos, e não ao lado da cozinha.

Figura 1 - Planta baixa da tipologia 1

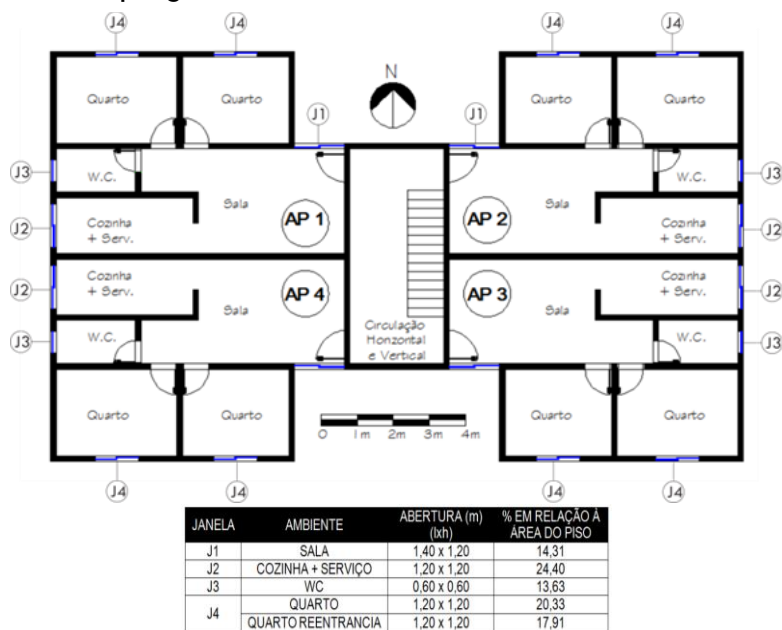


Figura 2 - Planta baixa da tipologia 2

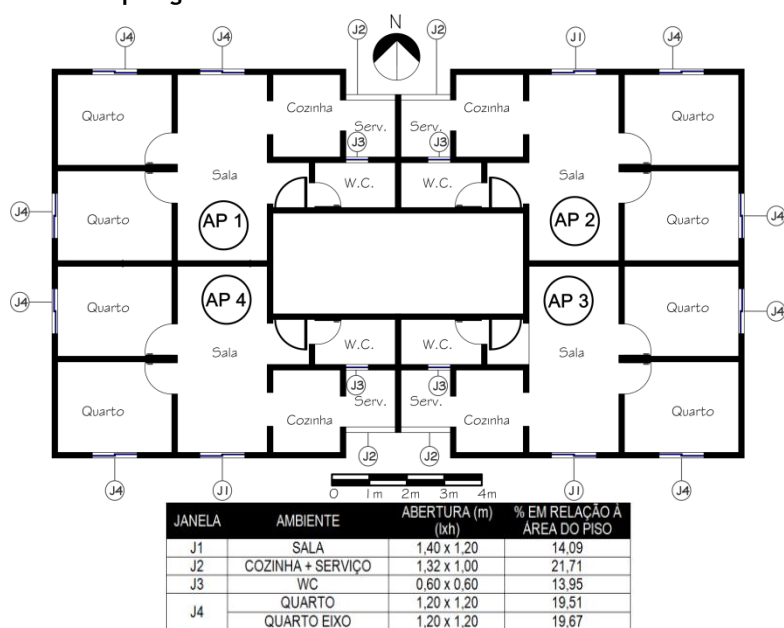
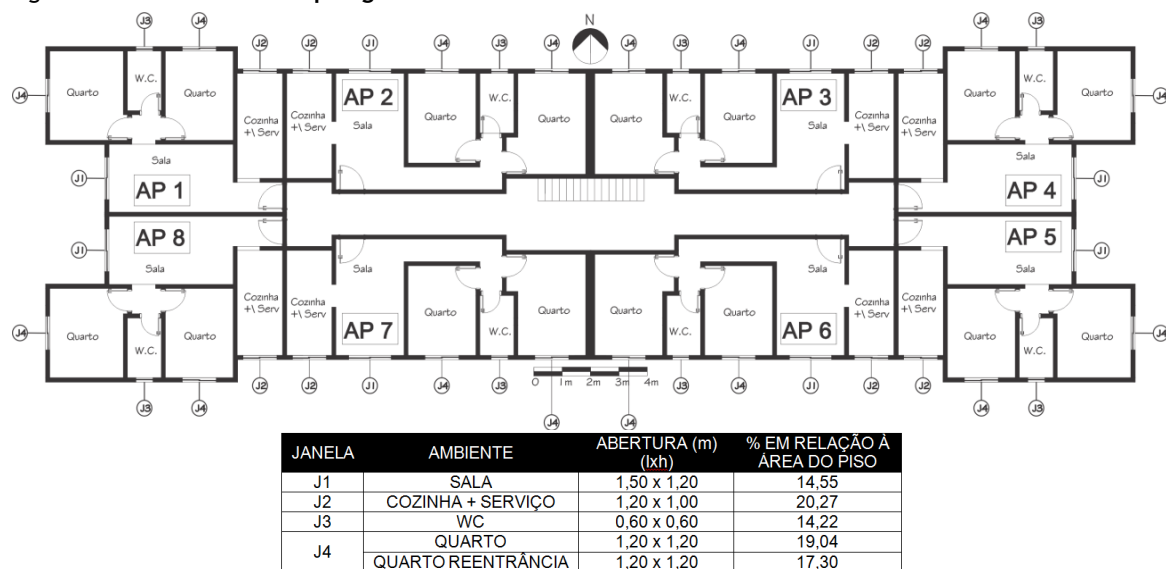


Figura 3 - Planta baixa da tipologia 3



Caracterização dos ventos em Campinas

Os dados climáticos de Campinas, SP, principalmente as informações sobre ventos, foram obtidos do posto meteorológico do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), localizado na Fazenda Santa Elisa (latitude 22° 53' S; longitude de 47° 5' W; altitude de 664 m). Esse posto localiza-se numa zona próxima a um dos empreendimentos estudados (Tipologia 3) e com características de rugosidade semelhante a eles (ou seja, localizada numa região suburbana). Esta corresponde a 0,5 m, segundo o software WAsP,

usado por Prata-Shimomura (2012), para classificar a rugosidade na malha urbana da cidade de Campinas. A estação do IAC tem também o mais longo período de dados disponível.

Foram trabalhados somente os dados de vento (velocidade e direção), uma vez que o objetivo é uma avaliação de ventilação natural por ação dos ventos. Utilizaram-se banco de dados diários e horários coletados num período de 9 anos consecutivos (de 2001 a 2010).

A fim de utilizar dados de vento a uma altura de 10 m (altura padrão para esse tipo de medição),

utilizou-se para corrigir os dados a equação logarítmica de perfil do vento, dada na Equação 1.

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

Onde:

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

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

$V_{(Z_{ref})}$ = velocidade na altura de referência (dados a 2 m fornecidos pela estação); e

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

Corrigidos os valores de velocidade do ar para 10 m de altura, procedeu-se à determinação das direções predominantes dos ventos e à consequente velocidade média representativa de cada direção. A Figura 4 mostra os intervalos considerados

como sendo de cada direção no banco de dados. Verificou-se que a direção predominante é sudeste (135°), com velocidade média representativa de 3,59 m/s, seguida da direção norte (0°), com velocidade média de 2,64 m/s. Como a intenção é mostrar três incidências principais de vento em relação à geometria dos edifícios (que são simétricos), decidiu-se simular também o vento leste (90°), o qual apresenta velocidade média de 2,17 m/s. Assim se descreve o que ocorre com vento incidente no eixo transversal, longitudinal e oblíquo do edifício, podendo-se rebater para as demais orientações, como mostra a Figura 5.

Sendo assim, os valores de velocidade média e direções foram usados nas simulações apenas para se tentar reproduzir um cenário de ventilação externa ao edifício, próximo a uma realidade existente. No entanto, as análises podem ser consideradas para outras localidades, desde que se entenda a posição do bloco em relação ao vento dominante local e se considerem os valores de velocidade média dele.

Figura 4 - Intervalos de valores de direção registrados pela estação IAC considerados no banco de dados

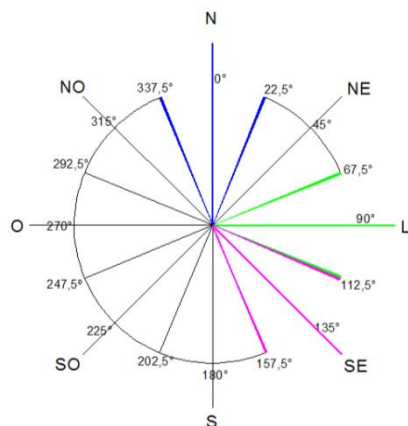
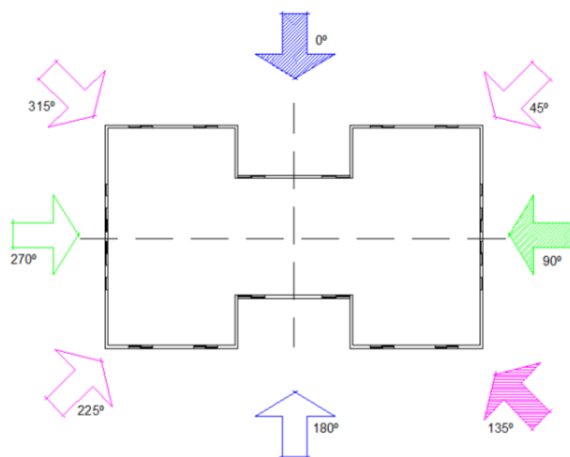


Figura 5 - Esquema gráfico indicativo da implantação do edifício diante dos ventos simulados de 0°, 90° e 135°



Simulação computacional da ventilação natural através de CFD

Nesta pesquisa utilizou-se o CFD produzido pela empresa Ansys, intitulado CFX (versão 13.0). Esse software encontra-se devidamente licenciado no Laboratório de Pesquisa em Processos Químicos e Gestão Empresarial (PQGe), que pertence ao Departamento de Tecnologia de Processos, vinculado à Faculdade de Engenharia Química (FEQ) da Unicamp. As simulações foram executadas por um *cluster* computacional com 90 nós de processamento de 3 GHz.

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 *pre-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 Icem CFD, um módulo separado do CFX, que serve para a parametrização e elaboração da malha (*mesh*) que definirá os pontos a serem calculados. Nesta pesquisa optou-se pela confecção dos modelos no Autocad, exportando-os posteriormente para o Icem. Em seguida, no *CFX-Pre*, definem-se o regime da simulação, as 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 por meio de imagens tridimensionais do modelo, gráficos ou tabelas no *CFX-Post*.

Confecção dos modelos

Julga-se importante esclarecer sobre a etapa da confecção dos modelos tridimensionais por ser a base para confecção da malha sem intercorrências. Para isso se utilizou o Autocad. Brandão (2009) recomenda que sejam utilizados os comandos *polyline*, *extrude*, *union* e *subtract*. Essa informação é relevante porque os objetos precisam ser compreendidos como sólidos no módulo responsável pela malha (Ansys Icem). Nos três modelos utilizou-se a altura de parede de 2,4 m, com laje de 10 cm – como os modelos tem 5 pavimentos (térreo +4), os volumes resultaram numa altura total de 12,5 m². Nesses modelos todas as janelas foram consideradas abertas, bem

como as portas internas, com exceção da porta de entrada do apartamento, que, por questões de privacidade/segurança, normalmente permanecem fechadas. As Figuras 6, 7 e 8 mostram os modelos tridimensionais das três tipologias estudadas.

Apenas aberturas efetivas para ventilação foram consideradas nas janelas, ou seja, nas cozinhas, quartos e salas, onde o tipo de esquadria utilizado é janela de correr, considerou-se apenas 50% do tamanho da esquadria centralizada no vão da abertura. Já nos banheiros o tipo de esquadria utilizada é basculante com abertura total, então a área efetiva de abertura é igual à área da janela. Isso serve para as três tipologias estudadas.

O próximo passo foi a definição do domínio, que, segundo Cóstola (2006), é o volume do espaço para o qual o escoamento será resolvido. A dimensão do domínio deve ser tal que não se faça sentir nas fronteiras a presença do edifício, por isso seu tamanho tem relação com o tamanho do objeto a ser simulado. Ramponi e Blocken (2012) testaram diferentes proporções de domínio e concluíram que num domínio muito pequeno há tendência de aumento da velocidade local. Como a intenção deste trabalho é avaliar a ventilação interna do edifício, utilizou-se um domínio cúbico com edifício localizado no centro dele. Essa decisão deu agilidade às simulações, uma vez que, mudando as coordenadas vetoriais do vento incidente (direção e velocidade de referência), foi possível fazer uma nova simulação utilizando a mesma malha e o mesmo modelo. A construção do domínio cúbico seguiu a proporção lado maior do edifício (x) repetido para cada lado, originando 3x em largura, 3x em profundidade, e 3x em altura. Isso ocasionou um efeito de bloqueio, ou seja, obstrução na seção do domínio causada por uma das seções do edifício de aproximadamente 7% para os estudos de caso 1 e 2 e de aproximadamente 3% para o estudo de caso 3. Apesar de Cost (2004) recomendar um efeito de bloqueio menor que 3%, levou-se em consideração que, sendo o objetivo final uma análise de ventilação interna, e não externa, essa é uma proporção adequada.

Confecção da malha tetraédrica (Ansys Icem)

Quando exportado para o módulo Ansys Icem, o primeiro passo realizado no modelo foi a criação de pontos em todas as suas arestas. Isso foi uma descoberta ocorrida durante a pesquisa que evitou má-formações nas aberturas quando da confecção da malha. Utilizou-se a malha não estruturada tetraédrica em função de sua menor complexidade computacional e tempo de simulação, além de que

²Essa informação foi obtida por meio do projeto completo, obtido na construtora de um dos três empreendimentos.

se ajusta melhor a geometrias complexas (PRATA-SHIMOMURA, 2005). Cost (2004) destaca a importância de refinar a malha nas áreas próximas a arestas vivas e outros pontos de descolamento da camada-limite. Assim, refinou-se o tamanho da malha próximo as “parts” CHÃO e PRÉDIO, que são as regiões de interesse deste estudo a fim de melhorar a visualização do fluxo de ar no espaço

interno e no entorno imediato ao edifício, onde se determinou o tamanho máximo do tetraedro de 0,30 m (duas vezes a espessura de uma parede de 0,15 m). As Figuras 9 e 10 mostram detalhes ampliados da malha com refinamento em planta baixa e em perspectiva da tipologia 1. Neste caso atingiu-se 1,1 milhão de elementos no total.

Figura 6 - Modelo tridimensional da tipologia 1

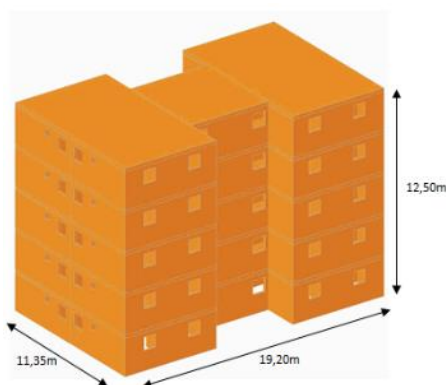


Figura 7 - Modelo tridimensional da tipologia 2

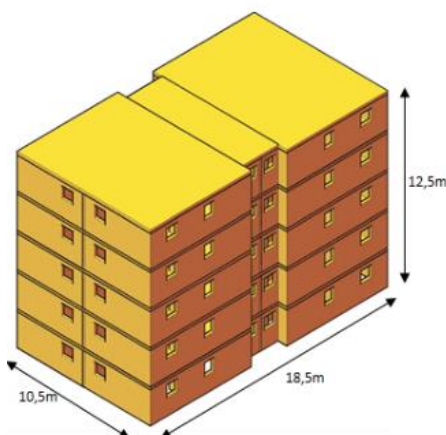


Figura 8 - Modelo tridimensional da tipologia 3

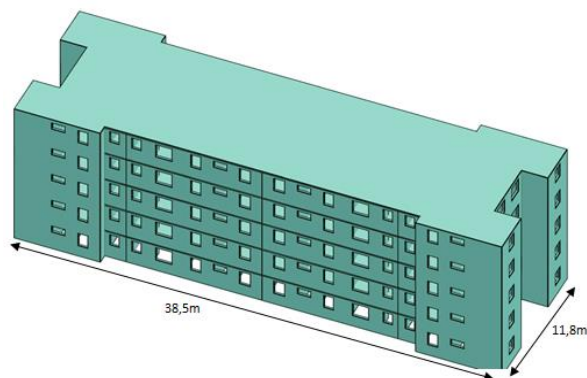


Figura 9 - Visualização da malha ampliada (em planta baixa)

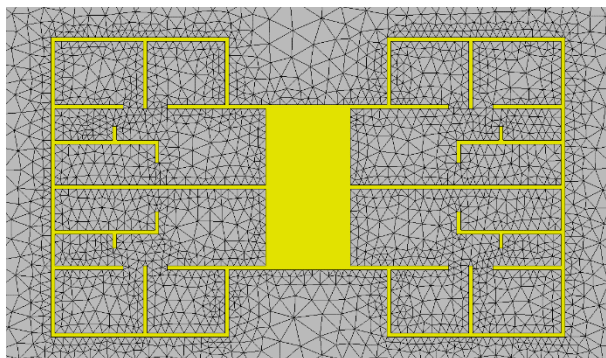
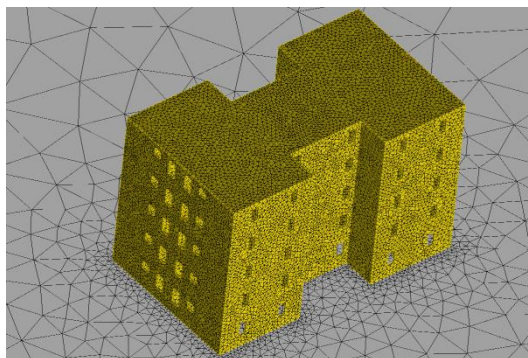


Figura 10 - Visualização da malha ampliada (em perspectiva)



Ansys CFX

No *CFX-Pre* as condições iniciais seguiram o padrão indicado pelo CFX para esse tipo de simulação (regime permanente, condição isotérmica do fluido a 25 °C). Apenas se ressalta 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), mais usado para escoamentos externos; e o $k-\omega$ (k -ômega), mais usado em escoamentos confinados ou nas paredes (RAMPONI; BLOCKEN, 2012). Essa 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, estão descritas em Cost (2004) e são divididas em dois grupos principais: paredes e aberturas. É chamada parede toda fronteira que não permite entrada e saída de fluidos no domínio. Assim foram consideradas paredes apenas as *parts* CHÃO e PRÉDIOS, e aberturas as *parts* correspondentes às faces laterais e o teto do domínio. Destaca-se que o teto e as faces laterais do domínio podem ser paredes quando se quer reproduzir condições de túnel de vento, o que não foi o caso desta pesquisa.

Quanto às *parts* que foram consideradas PAREDES, estas podem ser classificadas como “sem escorregamento (*no slip*)” e “com escorregamento (*free slip*)”. Essa classificação permite dar tratamento diferenciado às paredes reais (como as *parts* CHÃO e PRÉDIO do modelo classificadas como sem escorregamento) e às paredes “para fins de simulação” (como o teto e as laterais do domínio que são com escorregamento), conforme descreve Cóstola (2006). Segundo o autor, em paredes reais vale a condição sem escorregamento (*no slip wall*), que estabelece que as partículas fluidas aderem à fronteira sólida, sendo criada uma camada-limite devido ao arrasto provocado pela presença dessa fronteira e assim a velocidade do fluido nesse ponto é igual a zero. Nas demais fronteiras o fluido não adere ao sólido e não há formação de camada-limite.

Nas *parts* classificadas como “sem escorregamento (*no slip*)” é necessário definir sua rugosidade. A parede pode então ser definida como lisa (*smooth*) e rugosa (*rough*). Cost (2004) recomenda que sejam classificados como lisos as partes correspondentes ao piso e o corpo do edifício simulado. Assim foi feito nesta pesquisa. As fronteiras pelas quais o fluido irá entrar e deixar o domínio podem ser configuradas em entradas (INLET), saídas (OUTLET) e aberturas (OPENINGS). Na face definida como entrada de

vento (INLET) foi atribuída equação de perfil logarítmico do vento (Equação 1), em que se considera variação de velocidade com altura. As demais faces foram atribuídas como aberturas (OPENINGS).

No *CFX-Solver* configurou-se intensidade média ao modelo de turbulência (5%) e utilizaram-se parâmetros de resolução para controle de convergência de no máximo 5.000 iterações e nível de convergência de 10^{-4} , padrões adotados para esse tipo de simulação.

No *CFX-Post* foram gerados três planos horizontais, Planos 1, 2 e 3, localizados respectivamente a 1,5 m, 6,5 m e 11,5 m do solo. Essas alturas foram escolhidas por corresponderem à altura de zona de respiração humana (em média 1,5 m 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 a 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 (velocidade do ar, temperatura, pressão) tendo por base cálculos realizados nos nós da malha tetraédrica localizados naquele local. Essa ferramenta possibilitou a obtenção dos valores de velocidade média do ar em cada recinto, permitindo uma análise quantitativa, assim como fez Givoni (1962).

Resultados e discussão

A seguir são apresentados os resultados obtidos para as três direções de vento incidente:

- (a) 0° (vento norte);
- (b) 90° (vento leste); e
- (c) incidência de vento oblíqua a 135° (vento sudeste).

Como os edifícios estudados são simétricos, esses resultados podem ser espelhados e assim se ter uma noção do que ocorre nas oito direções de vento incidente.

Os resultados referem-se a análises qualitativas obtidas em imagens vetoriais do fluxo de ar (exibidas aqui as do terceiro pavimento) e quantitativas baseadas nas velocidades médias encontradas em cada cômodo, registradas nas *Isoclips*. Para essas análises de velocidades médias estabeleceu-se uma escala cromática de ventilação natural (Figura 11) desenvolvida com base no trabalho de Cândido *et al.* (2010).

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. Dessa forma, se na sala no primeiro pavimento a velocidade média encontrada ficou na categoria amarela, e no terceiro e quinto ficou verde, nesse diagrama representou-se a cor verde para sala. Nos ambientes nos quais se obtiveram três cores distintas para cada pavimento, respeitou-se o valor da média dos três, e assim a cor correspondente àquela média. No entanto, faz-se necessário afirmar que em torno de 2% dos resultados se enquadraram nesse tipo de situação. Assim é possível obter um panorama geral da tipologia por vento incidente.

Por fim calculou-se o aproveitamento interno da ventilação, conceito este proposto por Givoni (1962), definido pelo valor médio da velocidade do ar no ambiente interno dividido pelo valor do vento incidente na mesma altura. Neste trabalho mostra-se o aproveitamento do terceiro pavimento (V_{ref} está numa altura a 6,5 m do solo).

Tipologia 1

Com vento incidente a 0° (Figura 12) 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. Esse 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. Nos apartamentos a barlavento, onde esse percurso é marcante, as velocidades médias atingem valores satisfatórios, como mostra a Figura 13; no entanto, nos demais apartamentos, ap3 e ap4 – os quais se localizam a sotavento –, apesar do mesmo sentido do fluxo, os valores de velocidades médias são baixíssimos, indicando que possivelmente haverá acionamento de ventilação mecânica. É interessante observar que na sala do ap3 há um pequeno incremento de ventilação, que, apesar da simetria formal do edifício, não se repete no ap4. Isso se deve à existência da turbulência, a qual origina vórtice na região a sotavento do edifício, que oscila de um lado para outro, atingindo ora a região do ap3, ora do ap4. Essa observação é válida para os demais resultados.

Para incidência a 90° (Figura 14) a eficiência da ventilação fica totalmente concentrada nos ambientes que possuem abertura direta para essa

posição (cozinhas e banheiros), funcionando como entrada de ar (zona de pressão positiva) e saindo pela abertura da sala, por ter abertura que funciona como saída de ar (localiza-se numa zona de pressão negativa). Assim, nesses apartamentos o vento vai da cozinha e banheiros para a sala, estando os quartos sem ventilação, como mostra a Figura 15. A simples adoção de outra abertura ou mesmo do deslocamento da abertura de um dos

quartos para a fachada de vento incidente mudaria esse resultado. Os apartamentos a sotavento (ap1 e ap4) praticamente ficam sem ventilação. Verifica-se que o sentido do fluxo é o mesmo, adentrando pela cozinha, por ser região de confluência dos vórtices gerados pela geometria do edifício, no entanto as velocidades médias atingidas são muito baixas.

Figura 11 - Escala cromática de velocidades médias (m/s)

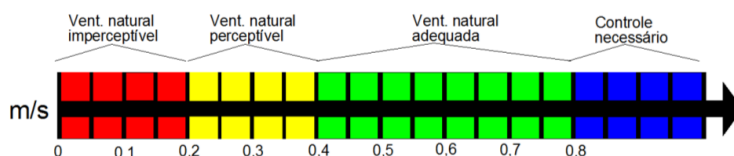


Figura 12 - Imagem de vetores localizada no 3º pavimento - tipologia 1 - vento 0°

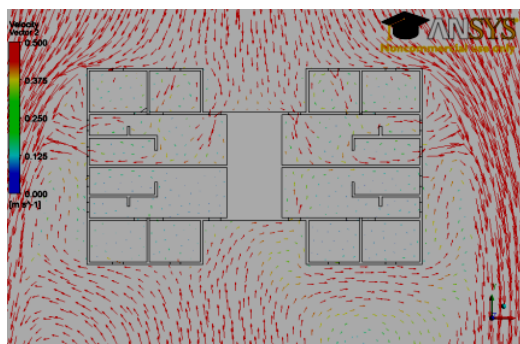


Figura 13 - Escala cromática de velocidades médias - tipologia 1 - Vento 0°

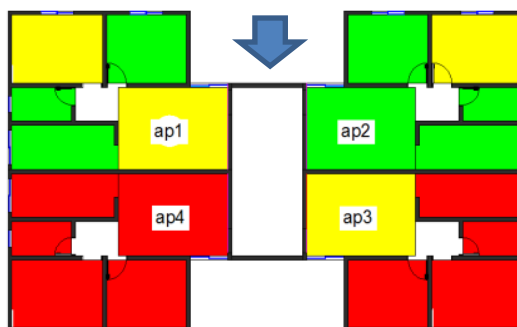


Figura 14- Imagem de vetores localizada no 3º pavimento - tipo 1 - vento 90°

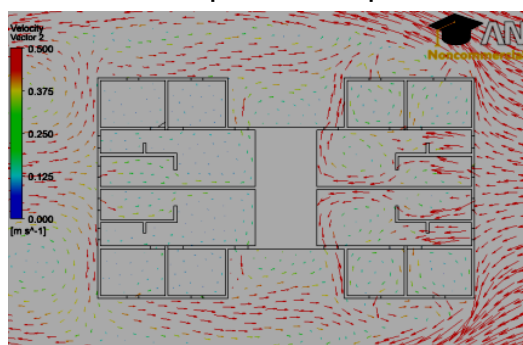
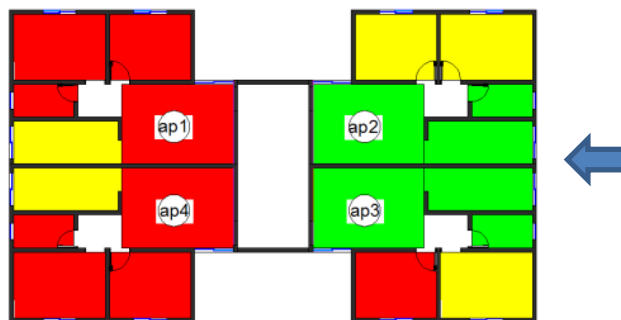


Figura 15 - Escala cromática de velocidades médias - tipo 1 - vento 90°



Já na incidência a 135° (Figura 16) identifica-se maior incremento da ventilação nos apartamentos 2 e 4 e deficiência nos apartamentos 1 e 3 (Figura 17). No ap4, além de serem atingidos valores satisfatórios de velocidade média para conforto, a ventilação ocorre no sentido correto (de áreas secas para áreas molhadas), contrariamente ao que ocorreu no ap2. Isso pode ser explicado devido ao pequeno turbilhão gerado na reentrância a barlavento (onde está localizada a abertura da sala do ap4), que ampliou o diferencial de pressão nessa fachada.

No ap1, apesar de se encontrar numa situação de sombra de vento e, consequentemente, de ter uma ventilação mais deficiente, a diferença de pressão entre as aberturas da cozinha e da sala promoveu um claro fluxo de ar. No ap3 a grande exposição de suas aberturas na zona de pressão positiva não gera diferença de pressão suficiente para proporcionar ventilação cruzada; verificou-se, portanto, alguma movimentação de ar, mas não há ventilação eficiente.

Tipologia 2

O comportamento do fluxo de ar mostrado na Figura 18 demonstra, para os apartamentos a barlavento (ap1 e ap2), pequena captação através das aberturas da sala e maior captação pela abertura da área de serviço, realizando exaustão pela abertura do quarto situado no eixo longitudinal do edifício (sentido de ventilação não

desejável, pois parte de zonas molhadas para secas). Os resultados da Figura 19 mostraram que apenas nestes ambientes (captação e exaustão) foram obtidos valores de velocidades médias adequados ao conforto. Novamente se destaca o papel da localização da abertura na reentrância, originando diferencial de pressão, inclusive num dos apartamentos a sotavento (ap3), onde o vórtice gerado pela geometria do edifício consegue penetrar.

No entanto, na cozinha, ambiente lateral à área de serviço, os resultados de velocidades médias não foram expressivos, indicando ventilação natural deficiente em todos os apartamentos. O mesmo ocorreu com os banheiros. Portanto, afirma-se que para essa incidência de vento a solução projetual de ventilar cozinhas e banheiros pela área de serviço, como foi adotado na tipologia 2, não é eficiente. Os quartos também não apresentaram bons resultados de ventilação natural, com exceção dos quartos localizados no eixo longitudinal do edifício dos apartamentos a barlavento (ap1 e ap2). Nesses locais específicos, as aberturas, localizadas em zona de pressão negativa, funcionaram eficientemente como saídas de ar. O ponto negativo disso é que à noite, com a porta do quarto fechada, essa ventilação cruzada dos apartamentos 1 e 2 fica comprometida. Os apartamentos a sotavento apresentaram valores muito baixos de velocidades médias, indicando que a ventilação natural apresenta-se deficiente e que deverá ser acionada ventilação mecânica.

Figura 16 - Imagem de vetores localizada no 3º pavimento - tipo 1 - vento 135°

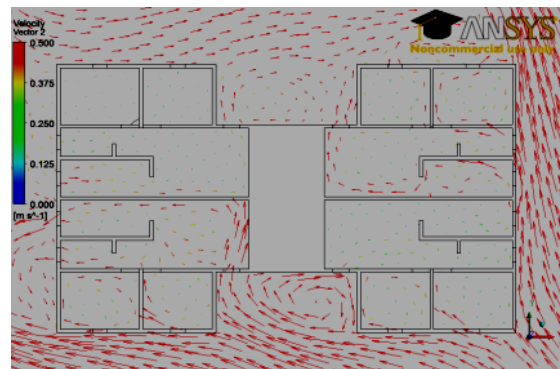


Figura 17 - Escala cromática de velocidades médias - tipo 1 - vento 135°

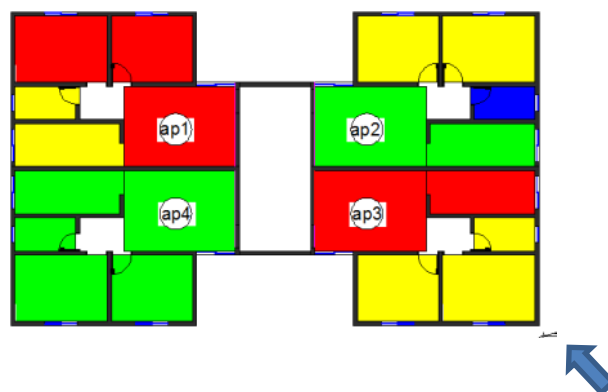


Figura 18 - Imagem de vetores localizada no 3º pavimento - tipologia 2 - vento 0°

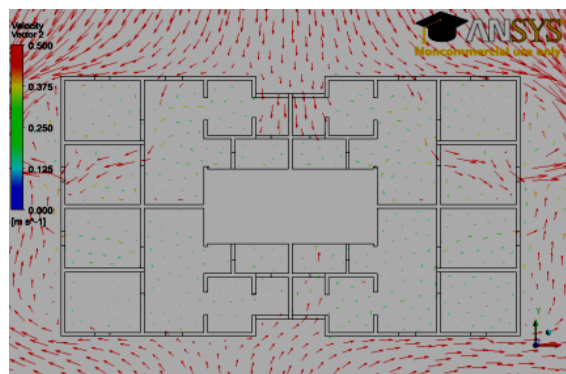
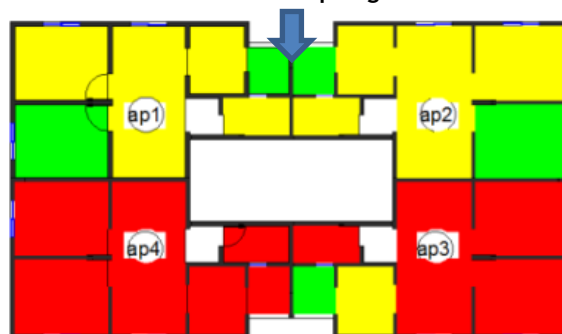


Figura 19 - Escala cromática de velocidades médias - tipologia 2 - vento 0°



A Figura 20 traz imagem sobre o fluxo de ar nos apartamentos para vento incidente a 90°. Nos apartamentos 2 e 3 (localizados a barlavento) a abertura do quarto localizado no eixo longitudinal do edifício funcionou como captadora, e as aberturas da sala e da área de serviço funcionaram como saídas de ar. Os quartos localizados na esquina do edifício bem como os banheiros não fizeram parte desse circuito, portanto os valores registrados nesses ambientes foram muito baixos (Figura 21). Nos apartamentos 1 e 4 (localizados a sotavento) o vento desenvolveu o mesmo circuito que nos apartamentos a barlavento, pois a posição da abertura do quarto do eixo, apesar de estar em zona de pressão negativa como as demais, apresentou diferença de pressão tal que succionou o ar, originando o mesmo movimento. No entanto, a velocidade média nestes apartamentos a sotavento atingiu valores muito baixos.

Para incidência de vento a 135° observou-se que as unidades mais bem ventiladas foram os apartamentos 2 e 4, devido à diferença de pressão em suas aberturas (ventilação cruzada), como mostra Figura 22. No ap2 o posicionamento da abertura do quarto do eixo permitiu que esta

funcionasse como grande entrada de ar, atingindo velocidade média muito alta (indicando controle por parte do usuário), ao passo que as aberturas da sala e área de serviço funcionaram como saídas de ar (Figura 23). No ap4 observou-se o inverso: a abertura da área de serviço funcionou como captadora de ar, e a do quarto do eixo funcionou como extratora, pois estava localizada na zona de pressão negativa. Esse sentido não deve ser priorizado.

No ap1 o fluxo de ar entrou pela abertura do quarto do eixo e saiu pela sala e área de serviço, onde estavam as aberturas de saída mais próximas. No ap3 a pequena reentrância gerou diferença de pressão na abertura da área de serviço, o que incrementou um pouco o movimento de ar nesse apartamento.

Nesta tipologia, a posição dos quartos, com aberturas para fachadas diferentes, possibilitou o maior movimento do ar no quarto do eixo longitudinal. Por outro lado, o posicionamento da cozinha e do banheiro, ambos sem aberturas diretas para o exterior, prejudicou a ventilação desses ambientes.

Figura 20 - Imagem de vetores localizada no 3° pavimento - tipologia 2 - vento 90°

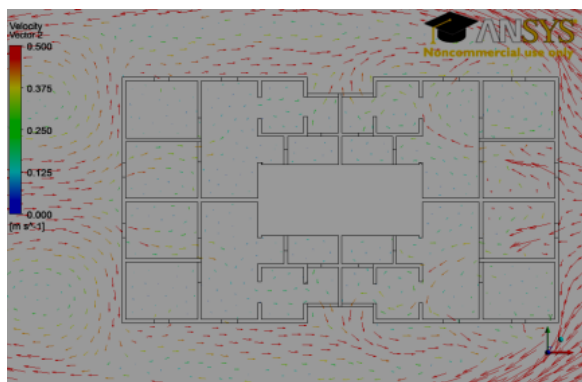


Figura 21 - Escala cromática de velocidades médias - tipo 2 - vento 90°



Figura 22 - Imagem de vetores localizada no 3º pavimento - tipologia 2 - vento 135°

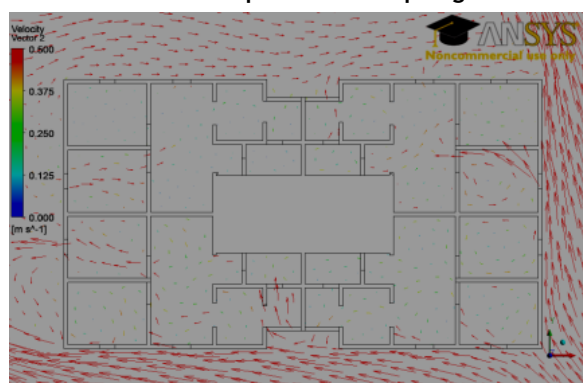
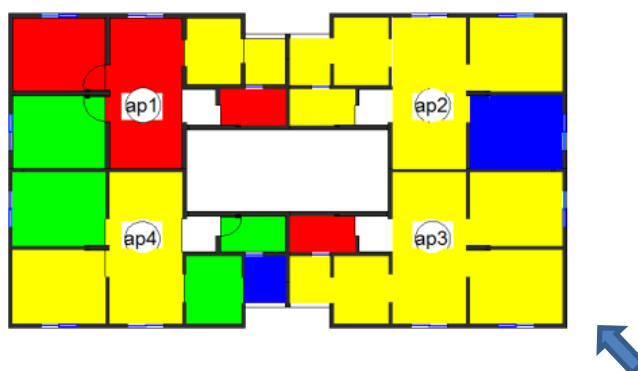


Figura 23 - Escala cromática de velocidades médias - tipo 2 - vento 135°



Tipologia 3

Para ventos a 0° (Figura 24) apenas os apartamentos de canto (ap1 e ap4) apresentaram 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 apresentarem aberturas todas voltadas para a mesma fachada, sob a mesma pressão do vento, não apresentam ventilação cruzada, e sim unilateral. Isso se confirma pelos baixos valores de velocidade média (Figura 25), uma demonstração de que, para uma ventilação eficiente, há de se ter

diferença de pressão nas aberturas. Nesse caso, a geometria do edifício contribuiu decisivamente para esses resultados, e, como se pode observar, apenas duas das oito unidades habitacionais apresentaram ventilação natural.

O mesmo pode ser observado para incidência a 90° (Figura 26). Para essa incidência, os apartamentos com aberturas voltadas para o vento dominante (ap4 e ap5) apresentaram ventilação natural cruzada, mesmo com valores mais baixos (Figura 27). Novamente dos oito apartamentos apenas dois apresentaram alguma ventilação.

Figura 24 - Imagem de vetores localizada no 3º pavimento - tipologia 3 - vento 0°

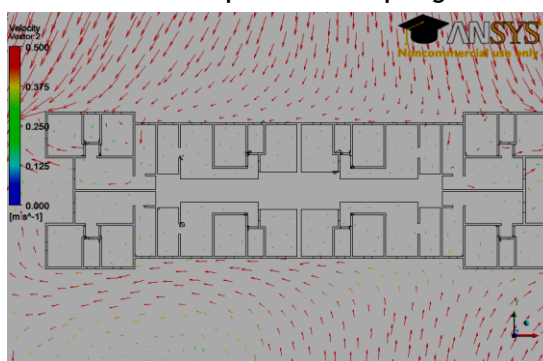


Figura 25 - Escala cromática de velocidades médias - tipo 3 - vento 0°

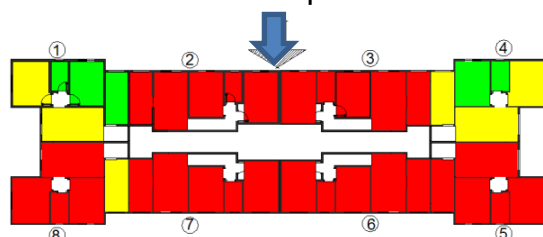


Figura 26 - Imagem de vetores localizada no 3º pavimento - tipologia 3 - vento 90°

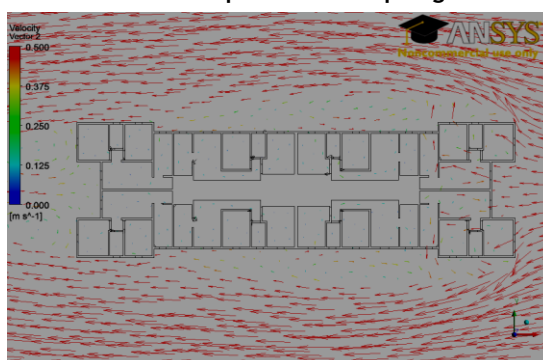


Figura 27 - Escala cromática de velocidades médias - tipo 3 - vento 90°



Com vento incidente a 135° a situação melhora um pouco para os apartamentos do centro a barlavento, pois há incremento de diferença de pressão nas aberturas, mas nada significativo para conforto térmico. Os melhores resultados são nos apartamentos de esquina, ap4 e ap8 (Figuras 28 e 29). No ap4 o sentido da ventilação acontece de forma desejável (da sala para quartos e cozinha), inclusive com valores de velocidade média

adequados ao conforto nos ambientes de longa permanência; já no ap8 ocorre no sentido indesejável (ventilação vinda da cozinha para a sala). Novamente se depara com situações de ambientes localizados na reentrância, que, quando expostos a ventos incidentes em angulação, ampliam as velocidades médias internas. Nos apartamentos a sotavento a ventilação é praticamente inexistente.

Aproveitamento interno de unidades habitacionais a barlavento

Utilizando-se o conceito de aproveitamento interno do vento proposto por Givoni (1962), foram analisados os resultados obtidos nos apartamentos a barlavento variando a direção do vento incidente. Os aproveitamentos internos são uma relação de proporção entre os valores registrados de velocidade média do vento no ambiente e a velocidade do vento na mesma altura, livre de qualquer obstrução (valores de referência obtidos na entrada de vento). Os valores de referência foram obtidos a partir da equação 1, em que se conheciam os valores de velocidade média nas três direções ($H=10$ m) e encontrou-se o valor de velocidade na altura a 1,5 m do piso do terceiro pavimento ($H=6,5$ m). Os aproveitamentos aqui apresentados são do terceiro pavimento e servem como balizadores para projetistas que querem ter um rápido panorama do desempenho de ventilação de cada ambiente em relação ao vento de entrada.

Na tipologia 1 as Figuras 30 a 32 mostram que os melhores aproveitamentos internos de ambientes de longa permanência (salas e quartos) foram obtidos com vento incidente na diagonal (135°), seguidos de vento perpendicular (90°) e depois paralelo (0°), confirmando resultados de Givoni. Nos três casos a simples inserção de uma pequena abertura nas fachadas adjacentes dos quartos poderia ter melhorado o aproveitamento da unidade habitacional, como se pode ver no quarto do eixo da tipologia 2 ou no quarto da esquina da tipologia 3. A abertura da sala posicionada na reentrância proporcionou bom aproveitamento interno, seja de entrada ou de saída de ar.

Na tipologia 2 o formato longitudinal da sala não resultou em bons aproveitamentos (Figuras 33 a 35) e, por ser o elemento central, quebrou o circuito interno do vento, resultando em cozinhas e banheiros com baixos aproveitamentos. O vento oblíquo (135°) proporcionou melhor aproveitamento no quarto do eixo do edifício.

Figura 28 - Imagem de vetores localizada no 3º pavimento - tipologia 3 - vento 135°

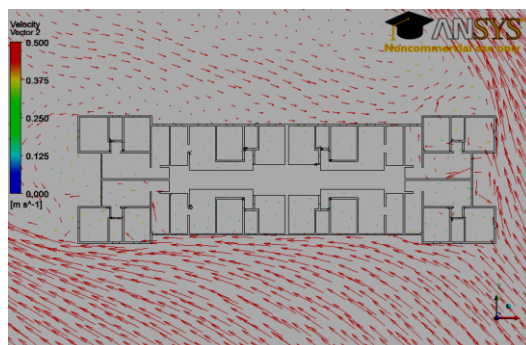


Figura 29 - escala cromática de velocidades médias - tipo 3 - vento 135°



Figura 30 - Vento 0°

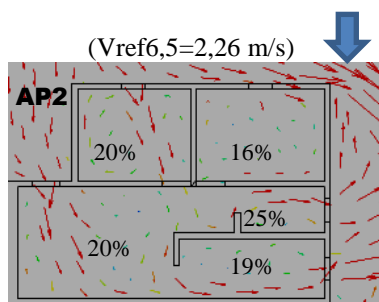


Figura 31 - Vento 90°

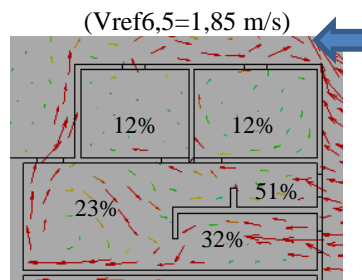


Figura 32 - Vento 135°

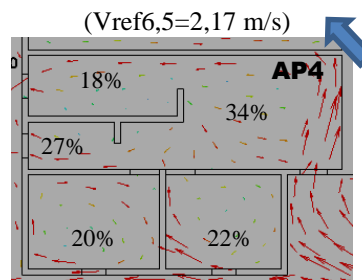


Figura 33 - Vento 0°

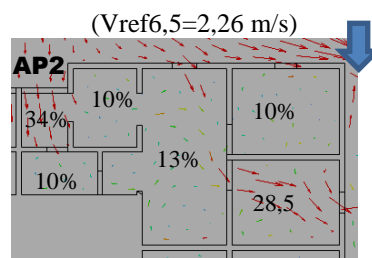


Figura 34 - Vento 90°

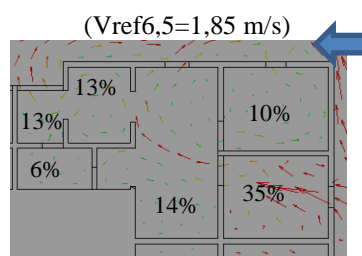
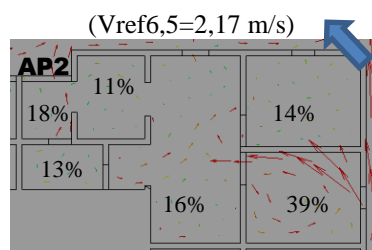


Figura 35 - Vento 135°



Na tipologia 3 (Figuras 36 a 38) o leiaute de banheiro entre quartos (aberturas para fachadas diferentes), com um pequeno hall interno, criou um circuito independente de ventilação, sobretudo

para vento perpendicular (0°) e paralelo (90°), elevando os aproveitamentos dos quartos. A integração da sala e cozinha não foi bem resolvida, o que dificulta o circuito interno do vento.

Comparação estatística entre as tipologias

Para comparar as três tipologias 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. Para comparação de médias foi utilizada a análise de variância ANOVA, a fim de obter evidências sobre quais diferenças foram estatisticamente significativas. Foram elaborados gráficos (Figuras 39 e 40) para demonstrar o “perfil das velocidades médias” considerando os fatores que foram diferentes estatisticamente.

Figura 36 - Vento 0°

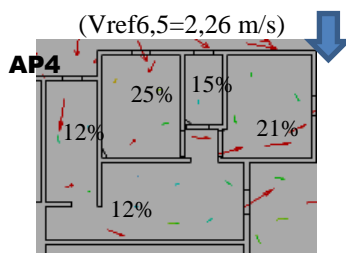


Figura 37 - Vento 90°

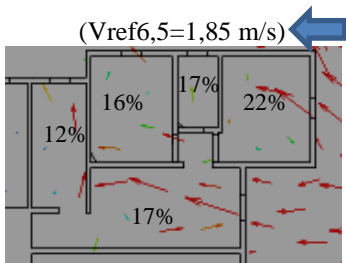


Figura 38 - Vento 135°

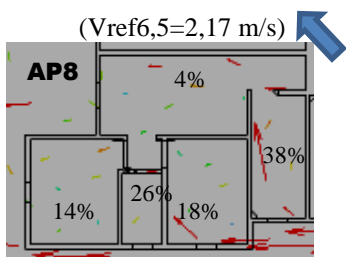


Figura 39 - Perfis de velocidades médias do ar por ângulo (a) para as três tipologias

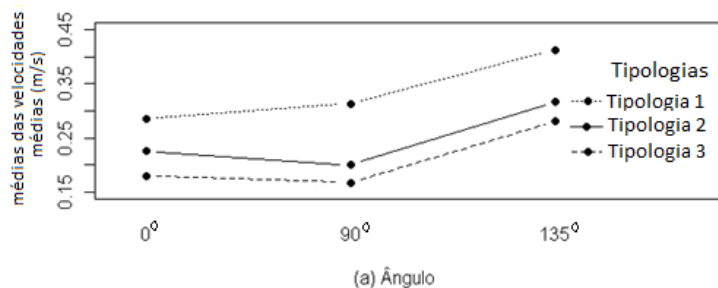
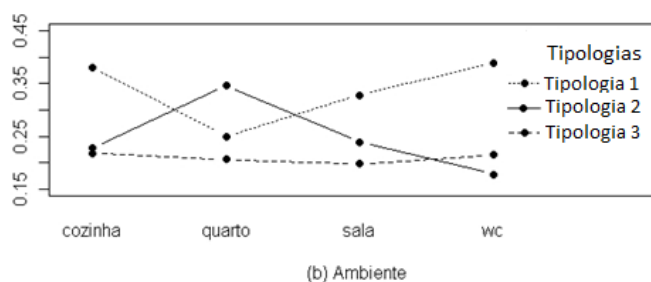


Figura 40 - Perfis de velocidades médias do ar por ambiente (b) para três tipologias



Resumidamente, a tipologia 1 apresentou melhor desempenho que as demais nos três ângulos de incidência. Além disso, nos três casos a incidência a 135° foi melhor que as demais. Quanto aos ambientes, o estudo de caso 1 apresentou maiores velocidades médias do ar em quase todos, exceto nos quartos, onde é superada pela tipologia 2. Esta, por sua vez, mostrou péssimo resultado no banheiro (WC) e na cozinha, os quais são ventilados pela área de serviço. Em relação à tipologia 3, é interessante notar que as médias de velocidades permanecem praticamente constantes em todos os ambientes, nos quais foram registrados valores baixíssimos.

Conclusões

Foi realizada análise de ventilação natural por meio de simulação CFD em três tipologias verticais do Programa Minha Casa, Minha Vida. Três ângulos de incidência foram investigados (0°, 90° e 135°), e todas as aberturas efetivas dos modelos foram consideradas, com exceção da porta de entrada do apartamento.

Neste trabalho considerou-se a ventilação natural por ação dos ventos e usou-se simulação com edifício isolado. Avançou-se em relação a trabalhos anteriores nacionais dessa natureza, pois todos os pavimentos foram considerados vazados na simulação e utilizou-se perfil logarítmico do vento. Por fim, velocidades médias internas foram obtidas como resultado quantitativo, além de imagens detalhadas do fluxo de ar interno.

No tocante à investigação por tipologia arquitetônica, primeiramente se alerta para a implantação do edifício no lote. Nesta pesquisa constatou-se que a posição de implantação oblíqua (ou diagonal) do edifício em relação ao vento dominante forneceu os melhores resultados de velocidades médias internas nas três tipologias estudadas.

Quanto à geometria dos edifícios, observou-se que o uso de reentrâncias nas fachadas incrementa a diferença de pressão nas aberturas ali contidas. A

tipologia 1, com grande reentrância central na fachada, apresentou os melhores resultados de ventilação nos apartamentos. Edifícios monolíticos e muito alongados com fachadas desprovidas de reentrâncias resultam em apartamentos centrais sem ventilação cruzada, como ocorreu na tipologia 3. Portanto, este tipo de solução formal/volumétrica precisa ser repensado. Uma alternativa seria promover captação de ventilação no hall central dos apartamentos (boa solução são elementos vazados) para aumentar a permeabilidade dessa fachada ao vento, e nos apartamentos promover o uso de aberturas altas, como bandeiras ou portas de entrada ventiladas.

A simetria formal comprometeu os resultados das três tipologias, prejudicando 50% das unidades habitacionais, no mínimo. Se os apartamentos fossem pensados de modo mais independente uns dos outros no tocante à posição e quantidade de aberturas, bem como à configuração do ambiente interno, provavelmente seriam atingidos melhores resultados. Estudos prévios do impacto da melhor distribuição interna para ventilação natural com uso de ferramentas de predição, como é o caso do CFD, poderiam antecipar novas soluções arquitetônicas.

A ventilação indireta proposta na tipologia 2 não foi eficiente para os ambientes de cozinha e banheiro. Deve-se evitar usar aberturas de um ambiente para ventilar ambientes adjacentes. Definitivamente essa solução de projeto não garante resultados satisfatórios de ventilação natural nos ambientes desprovidos de aberturas externas próprias, independentemente da altura do pavimento.

É importante lembrar que essas discussões são advindas de simulações para blocos isolados. No entanto, quando inseridos no conjunto habitacional, alguns efeitos aerodinâmicos do vento podem alterar os resultados aqui discutidos.

Espera-se que outros trabalhos possam explorar o uso da ferramenta de simulação CFD para predição da ventilação natural e que esse conhecimento seja

convertido em projetos mais eficientes e de maior qualidade em todo o país.

Referências

- 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.
- BRANDÃO, R. S. **As interações Espaciais Urbanas e o Clima**. São Paulo, 2009. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- BRUNA, P. **Os Primeiros Arquitetos Modernos: habitação social no Brasil 1930-1950**. São Paulo: EdUSP, 2010.
- CANDIDO, C. *et al.* Aplicabilidade dos Limites de Velocidade do Ar Para Efeito de Conforto Térmico em Climas Quentes e Úmidos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 59-68, out./dez. 2010.
- CHEN, Q. Ventilation Performance Prediction for Buildings: a method overview and recente applications. **Building and Environment**, v. 44, n. 4, p. 848-858, 2009.
- COST. **Cost Action 14: recommendations on the use of CFD in predicting Pedestrian Wind Environment**. Brussels: Cost, 2004.
- COSTA, F. J. de M. **Ventilação e Prescrições Urbanísticas: uma aplicação simulada no bairro de Petrópolis em Natal/RN**. Natal, 2001. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001.
- COSTA, L. C. do N. **Aproveitamento da Ventilação Natural nas Habitações: um estudo de caso na cidade de Aracaju – SE**. São Paulo, 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- CÓSTOLA, D. **Ventilação Por Ação do Vento no Edifício: procedimentos para quantificação**. São Paulo, 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- GIVONI, B. **Basic Study of Ventilation Problems in Houses in Hot Countries**. Israel: Building Research Station of the Institute of Technology, 1962.
- HOBDA, R. A.; DANCER, S. J. Roles of Sunlight and Natural Ventilation for Controlling Infection: historical and current perspectives. **Journal of Hospital Infection**, v. 84, p. 271-282, 2013.
- 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**. São Paulo, 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- LUKANTCHUKI, 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.
- PRATA-SHIMOMURA, A. R. **Impacto da Altura de Edifícios nas Condições de Ventilação Natural do Meio Urbano**. São Paulo, 2005. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- PRATA-SHIMOMURA, A. R. O Uso do Software Wasp: caracterização da rugosidade para a cidade de Campinas, SP/Brasil. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGINIERIA DEL VIENTO, 2., La Plata, 2012. **Proceedings...** La Plata, 2012.
- 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.
- SANTAMOURIS, M.; WOUTERS, P. **Building Ventilation: the state of the art**. London: Earthscan, 2006.
- SHEN, X.; ZHANG, G.; BIERG, B. Comparison of Different Methods for Estimating Ventilation Rates Through Wind Driven Ventilated Buildings. **Energy and Buildings**, v. 54, p. 297-306, 2012.

Agradecimentos

Às agências brasileiras de fomento à pesquisa CNPq e Capes. Ao Laboratório de Pesquisa em Processos Químicos e Gestão Empresarial (PQGe), da Unicamp.

Juliana Magna da Silva Costa Moraes

Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais | Universidade Federal de Campina Grande | Rua Aprígio Veloso, 882, Bloco BU, Bodocongó | Campina Grande - PB - Brasil | Caixa Postal 505 | CEP 58400-971 | Tel.: (83) 2101 1461 | E-mail: julianamcosta2013@gmail.com

Lucila Chebel Labaki

Departamento de Arquitetura e Construção | Universidade Estadual de Campinas | Cidade Universitária Zeferino Vaz | Caixa Postal 6021 | Barão Geraldo | Campinas - SP - Brasil | CEP 13084-971 | Tel.: (19) 3521-2384 | E-mail: llabaki@gmail.com

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro
Porto Alegre - RS - Brasil
CEP 90035-190
Telefone: +55 (51) 3308-4084
Fax: +55 (51) 3308-4054
www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido
E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br