



JULIANA MAGNA DA SILVA COSTA MORAIS

**VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFÍCIOS
MULTIFAMILIARES DO
“PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA”**

**CAMPINAS
2013**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

JULIANA MAGNA DA SILVA COSTA MORAIS

***VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFÍCIOS
MULTIFAMILIARES DO
“PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA”***

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do título de Doutora, na área de Arquitetura Tecnologia e Cidade.

Orientadora: Profa Dra. LUCILA CHEBEL LABAKI

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA PELA ALUNA JULIANA MAGNA DA SILVA COSTA MORAIS E ORIENTADA PELA PROF(A). DR(A). LUCILA CHEBEL LABAKI.

ASSINATURA DA ORIENTADORA

**CAMPINAS
2013**

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

M792v Morais, Juliana Magna da Silva Costa, 1978-
Ventilação natural em edifícios multifamiliares do "Programa Minha Casa
Minha Vida" / Juliana Magna da Silva Costa Morais. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Lucila Chebel Labaki.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Ventilação natural. 2. Simulação computacional. 3. Habitação popular. I.
Labaki, Lucila Chebel, 1943-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade
de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Evaluating natural ventilation in multi-storey social interest housing

Palavras-chave em inglês:

Natural ventilation

Computer simulation

Public housing

Área de concentração: Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Titulação: Doutora em Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Banca examinadora:

Lucila Chebel Labaki [Orientador]

Silvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina

Paulo Vatavuk

João Roberto Gomes de Faria

Virgínia Maria Dantas de Araújo

Data de defesa: 06-12-2013

Programa de Pós-Graduação: Arquitetura, Tecnologia e Cidade

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFÍCIOS MULTIFAMILIARES DO
PROGRAMA “MINHA CASA MINHA VIDA”**

Juliana Magna da Silva Costa Moraes

Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:


Profa. Dra. Lucila Chebel Labaki
Presidente e Orientadora/FEC-Unicamp


Profa. Dra. Sílvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina
FEC-Unicamp


Prof. Dr. Paulo Vatauk
FEC-Unicamp


Prof. Dr. João Roberto Gomes de Faria
UNESP


Profa. Dra. Virginia Maria Dantas de Araújo
UFERN

Campinas, 06 de Dezembro de 2013.

RESUMO

A ventilação natural é uma estratégia projetual que deve ser usada sempre que possível em países de clima quente como o Brasil, pois dentre suas vantagens está o conforto térmico e a economia de energia. O uso desta estratégia deve ser priorizado principalmente em projetos destinados à população de baixa renda como é o caso dos edifícios incluídos no “Programa Minha Casa Minha Vida”- PMCMV. O objetivo desta tese é discutir a ventilação natural no interior de edifícios multifamiliares do PMCMV em três tipologias arquitetônicas diferentes localizadas na cidade de Campinas/SP, no intuito de alertar os projetistas em geral de como pequenas decisões de projeto podem influenciar no conforto térmico dos usuários. Adotou-se o uso de simulação computacional da ventilação natural por meio de CFD (Computer Fluid Dynamics) como ferramenta capaz de realizar esta análise. Assim, primeiro realizou-se a seleção dos edifícios que serviram de estudo de caso e a consequente modelagem 3D destes, considerando suas aberturas. Posteriormente realizou-se caracterização climática dos ventos da cidade de Campinas/SP, para obtenção dos dados de entrada no CFD. Por fim, realizou-se a simulação computacional da ventilação natural nas três tipologias escolhidas como estudos de caso para três diferentes ângulos de incidência do vento (0° , 90° e 135°). Foram obtidos resultados quantitativos (velocidade média do vento em cada ambiente interno) e qualitativos (imagens do fluxo de ar externo e interno). Entre as três tipologias estudadas os resultados apontam para um melhor desempenho de ventilação interna no edifício da tipologia 1, com planta tipo “H”, no qual a abertura localizada na grande reentrância representou papel determinante para tal. Na tipologia 2, com planta quadrada, comprovou-se que a solução projetual de ventilar banheiro e cozinha por meio de abertura localizada na área de serviço não é eficiente, portanto deve ser evitada pelos projetistas. Porém o pior desempenho foi verificado na tipologia 3 com planta retangular o qual apresenta maior fachada monolítica (sem reentrâncias). Os apartamentos mais prejudicados foram aqueles localizados na parte central do edifício, onde praticamente inexistente ventilação cruzada (e sim unilateral). Nas três tipologias o vento incidente oblíquo ao edifício (incidência de 135°) apresentou melhores resultados de velocidades do ar médias internas do que ventos incidentes à 0° e 90° . Assim, recomendações projetuais são indicadas para incentivar novos projetos de futuros edifícios de habitação popular mais adequados do ponto de vista da ventilação natural.

Palavras-chave: Ventilação natural, simulação computacional, Habitação popular.

ABSTRACT

The natural ventilation is a project strategy that must be used always when possible, mainly in warm countries like Brazil, because among the advantages, it's the thermal comfort and energy economy. The use of such strategy must be prioritized mainly in projects that has objective to the low-incomes families, like the buildings included in the very know Brazilian social program "My House, My Life"– PMCMV. This thesis aims the discussion of the natural ventilation into the multifamily buildings to PMCMV in three different architectonics typologies localized in Campinas city – SP, mainly to alert in general the projects makers, how the small project's decisions cans influence the thermal comfort of the people. It was adopted the use of computer simulation to the natural ventilation through CFD (Computer Fluid Dynamics), as the tool able to accomplishes such analysis. So, methodologically and first of all it was made the selection of the undertaken that were the focus of this case's research, and the consequent 3D modeling of those buildings considering their openings. In a second step, it was made the wind's climate characterization in Campinas, looking to obtain starting data to CFD. At the end, it was done the computer simulation to the natural ventilation for the threes typologies chosen as the case's study to the three different incident angles of the wind (0° , 90° e 135°). It were obtained quantitative results (average speed to the wind in each internal environment) and qualitative (internal and external air flow images). Among the three typologies researched, the results points to the better performance for the internal ventilation in the building of the typology 1, with the plant kind "H", where the opening localized on the big reentrance showed important role to that. In the typology 2, it was concluded that the projectual solution to ventilate the bathroom and kitchen through the opening localized in the service area it wasn't efficient, therefore must be avoided by the architects. However, the worst performance was verified to the rectangular building with the bigger monolithic façade (without reentrances), mainly to the apartments localized in the central part of the building, where practically doesn't exist crossed ventilation (but unilateral). For the three typologies, the incident oblique wind to the building (incidence of 135°) showed better internal average air speed results than incidents winds of 0° e 90° . Therefore, the projectual recommendations are indicated to aim more feasible public housing buildings in the future, with natural ventilation.

Key-words: natural ventilation, computer simulation, public housing.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. VENTILAÇÃO NATURAL	7
2.1. O VENTO NA ATMOSFERA.....	9
2.2. VENTILAÇÃO NO ENTORNO DO EDIFÍCIO	13
2.2.1. <i>Camada Limite atmosférica e rugosidade</i>	<i>13</i>
2.2.2. <i>Implantação, forma e orientação dos edifícios.....</i>	<i>17</i>
2.2.3. <i>Efeitos aerodinâmicos do vento ao redor dos edifícios</i>	<i>22</i>
2.3. VENTILAÇÃO NATURAL NO INTERIOR DO EDIFÍCIO	25
2.3.1. <i>Localização, dimensionamento e tipologia das aberturas.....</i>	<i>29</i>
2.3.2. <i>Configuração espacial interna.....</i>	<i>37</i>
2.3.3. <i>Ventilação para o conforto térmico</i>	<i>39</i>
2.3.4. <i>Normas sobre ventilação natural.....</i>	<i>43</i>
2.4. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ESTUDOS VENTILAÇÃO NATURAL	46
3. CONTEXTUALIZAÇÃO	53
3.1. HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NO BRASIL	53
3.2. PROGRAMA "MINHA CASA MINHA VIDA"	63
4. MÉTODOS	69
4.1. SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDO DE CASO- CAMPINAS/SP	70
4.1.1. <i>Tipologia 1</i>	<i>73</i>
4.1.2. <i>Tipologia 2</i>	<i>76</i>
4.1.2. <i>Tipologia 3</i>	<i>79</i>

4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS VENTOS EM CAMPINAS/SP.....	81
4.3. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM ANSYS-CFX.....	87
4.3.1. <i>Confeção dos modelos</i>	89
4.3.2. <i>ICEM: A construção da malha</i>	97
4.3.3. <i>CFX-Pre</i>	104
4.3.4. <i>CFX-Solver</i>	111
4.3.5. <i>CFX-Post</i>	113
4.3.6. <i>Escala cromática de velocidades médias aplicada ao conforto</i>	118
4.3.7. <i>Dificuldades encontradas</i>	119
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	121
5.1. TIPOLOGIA 1	122
5.1.1. Vento incidente a 0°(vento Norte)	122
5.1.2. Vento incidente a 90°(vento Leste).....	128
5.1.3. Vento incidente a 135°(vento Sudeste).....	135
5.2. TIPOLOGIA 2	147
5.2.1. Vento incidente a 0°(vento Norte)	147
5.2.2. Vento incidente a 90°(vento Leste).....	153
5.2.3. Vento incidente a 135°(vento Sudeste).....	158
5.3. TIPOLOGIA 3	167
5.3.1. Vento incidente a 0°(vento Norte)	167
5.3.2. Vento incidente a 90°(vento Leste).....	175
5.3.3. Vento incidente a 135°(vento Sudeste).....	182

5.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA COMPARATIVA ENTRE AS TRÊS TIPOLOGIAS	191
6. CONCLUSÃO	199
REFERÊNCIAS.....	205

DEDICATORIA

Primeiramente à Deus que me permitiu concluir esta etapa tão importante da minha vida com fé, saúde e muita perseverança.

Ao meu marido, Túlio, e filhos, Lara Maria e Túlio Filho, a quem ofereço todo meu amor. Vocês são minha constante fonte de inspiração e de superação. Com vocês me sinto completa.

À minha família, especialmente aos meus pais Almir e Lêda, que sempre me apoiaram e incentivaram a crescer como pessoa e profissional, me transmitindo valores que estão acima de qualquer ciência. A vocês minha eterna gratidão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- CAPES que me forneceu bolsa de doutorado, viabilizando esta pesquisa.

A todos que compõem o Programa de Pós- Graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade- ATC da UNICAMP, desde o pessoal da limpeza, secretaria, bem como aos queridos professores que sempre me trataram com todo carinho e respeito.

À minha amiga e orientadora Lucila Chebel Labaki que conseguiu compreender minha dinâmica particular de vida e sempre me apoiou, com incentivo e confiança.

Às minhas queridas amigas do Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada- LacaF , as quais destaco Alessandra Prata , Luciana Fernandes, Carla Matheus, Adriana Petito e Raquel Rancura. Agradeço a colaboração de cada uma de vocês para a realização desta pesquisa.

Aos que compõem o Laboratório de Pesquisa em Processos Químicos e Gestão Empresarial- PQGe, que pertence a Faculdade de Engenharia Química-FEQ da Unicamp, especialmente a pessoa do professor Milton Mori, que permitiu meu acesso ao laboratório supracitado, dando todo suporte técnico e computacional necessário para realização das simulações computacionais com ANSYS-CFX. Neste laboratório, destaco o querido amigo Leonardo Rosa, que me introduziu com entusiasmo no universo da fluidodinâmica computacional e foi de fundamental importância nesta pesquisa.

Enfim aos amigos queridos que conquistei na minha passagem pelo estado de São Paulo, e que não importa a distância, os levarei sempre em meu coração.

1 INTRODUÇÃO

O rápido crescimento das cidades, associado ao aumento do contingente populacional urbano e, com ele, a crescente demanda de energia têm sido os principais combustíveis da degradação ambiental que impacta diretamente no clima. O programa das Nações Unidas para assentamentos Humanos- ONU-HABITAT- divulgou em seu relatório publicado em 2012 que população urbana da América Latina chegará a 89% em 2050 (disponível em www.onuhabitat.org).

No cerne deste problema, uma mudança de paradigma parece apontar para um futuro melhor: o surgimento de um novo perfil de consumo de energia. Se outrora a oferta era maior que a demanda, atualmente nos deparamos com um cenário no qual a racionalização de energia é o mínimo que se pode fazer. Este fato atinge todas as esferas da sociedade e, no caso da arquitetura, projetar edifícios que ofereçam maior desempenho energético é atualmente uma necessidade e não um luxo.

A arquitetura, então, passa a ter um papel muito importante, pois pode através da correta utilização de recursos naturais, oferecer aos seus usuários não somente um edifício mais confortável e saudável, como também eficiente energeticamente. Assim, o uso de estratégias

passivas, principalmente de ventilação natural para climas quentes, é o ponto de partida quando se pensa em projetar visando desempenho energético.

Diante disso, a ventilação natural é um recurso, ou ainda uma estratégia projetual, que se consolida como uma solução direta e de baixo custo, trazendo inúmeros benefícios não somente para os usuários, mas também para o meio ambiente. Das oito zonas bioclimáticas brasileiras, esta estratégia é indicada para sete delas, segundo aponta a NBR 15220-3. Pode-se elencar como principais vantagens da ventilação natural nas habitações a qualidade do ar interior, o conforto térmico e a eficiência energética, uma vez que os edifícios bem ventilados não necessitam obrigatoriamente de climatização artificial.

Estudiosos buscam entender melhor toda a complexidade que cerca o processo de ventilação natural (MELARAGNO, 1982; AWBI, 1995; GIVONI, 1962, 1998; BROWN & DEKAY, 2004; BITTENCOURT; CANDIDO, 2005). Os estudos acadêmicos brasileiros centram-se ora na atuação da ventilação natural no meio urbano (SILVA, 1999; PRATA, 2005; LEITE, 2010) ora no interior do edifício (FIGUEIREDO, 2007; NEVES, 2006; COSTA, 2009), trazendo muitas contribuições para essa temática.

Entendendo que o projeto do edifício é o elo mais forte entre o projetista e o usuário, nesta tese realizou-se análise isolada de alguns edifícios multifamiliares do ponto de vista da ventilação interna, para uma reflexão sobre como decisões projetuais podem interferir na qualidade do ambiente interno. Esta análise contemplou diferentes ângulos de incidência do vento, no intuito de contribuir para reflexão do projetista sobre a correta implantação, ou seja, posicionamento do edifício no lote frente ao vento dominante do local onde o edifício está inserido.

O contexto no qual se desenvolveu esta pesquisa são as Habitações de Interesse Social-HIS, especificamente aquelas que estão inseridas no programa do governo federal denominado “Programa Minha Casa Minha Vida” - PMCMV.

Para entender melhor esta escolha, quando se estuda a história da Habitação de Interesse Social no Brasil, constata-se que o déficit habitacional do nosso país sempre foi muito grande, e que desde a era do governo Vargas, o Estado tem tentado suprir este déficit através de programas de auxílio à moradia para a população mais carente. Assim foi com o extinto Banco Nacional da Habitação- BNH e tantos outros. Porém, em 2009, o então presidente Luís Inácio Lula da Silva, lançou o PMCMV que tem uma grande abrangência social, oferecendo subsídios para famílias de baixa renda - 0 à 3 e 3 à 6 salários mínimos- bem como famílias de renda mais elevada- 6 à 10 salários mínimos- para aquisição da tão sonhada “casa própria”.

Quanto aos projetos, estes estão enquadrados em duas tipologias arquitetônicas: casas térreas e edifícios multifamiliares. Dentre os requisitos mínimos para aprovação do projeto, destacam-se as “áreas mínimas”: 35 m² para casas térreas e 42m² para apartamentos. Sabe-se que para disposição dos ambientes necessários (sala, 2 quartos, cozinha, banheiro e área de serviço) esta área deve ser usada como ponto de partida do projeto, no entanto, na maioria das vezes é seguida à risca pelos executores.

A problemática deste tipo de projeto se inicia quando, mesmo sabendo que cada região do Brasil possui um mesoclima com especificidades que determinam características de projeto diferenciadas, na prática esses projetos 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, localizada na região Sudeste, ou em Fortaleza/CE, localizada na região Nordeste. Este é um fator que certamente compromete a qualidade final destas construções. Esta é uma das hipóteses desta tese e por tal motivo checar a qualidade destas habitações se faz tão importante.

Outra questão é que visando a maior obtenção de lucros por parte das empresas executoras, os blocos (dos edifícios multifamiliares) são implantados nos lotes quase que aleatoriamente, considerando apenas o objetivo final de locar o máximo número possível de blocos por gleba. Com isso, são desconsiderados requisitos tão importantes como a implantação

mais eficiente do bloco, seja visando melhor ventilação ou mesmo melhor desempenho térmico e de insolação. Assim, mostrar as implicações deste descuido por parte do projetista e/ou executor faz-se muito importante, pois denuncia condições definitivas de habitabilidade que são dadas ao edifício através da falta de um estudo adequado de implantação de cada bloco dentro da gleba.

Sendo assim, avaliar a qualidade destas construções torna-se importante, uma vez que a população a qual se destina estas construções é via de regra de “baixa renda” e não pode pagar por erros cometidos em projeto que elevem o consumo de energia destes edifícios. O PMCMV encontra-se em sua segunda fase (2010 à 2014) , anunciada pela presidente Dilma Roussef, com nova meta de construção de 2,4 milhões de moradias em todo o país.

Esta grande demanda coloca em pauta a qualidade destas habitações. Supõe-se que se por um lado há uma grande pressão por parte do governo em sanar o déficit habitacional, há também outra pressão por parte dos construtores na obtenção de lucros. Sendo assim, parte-se da hipótese geral que a qualidade destas construções não é tratada como prioridade por parte de quem executa e planeja a construção como também não é cobrada corretamente por parte dos órgãos de financiamento e fiscalização, culminando num processo onde o usuário não é considerado como deveria.

Desta forma, o objetivo geral desta tese é analisar a ventilação natural de edificações multifamiliares do “Programa Minha Casa Minha Vida”, em Campinas/SP, a fim de contribuir para a elaboração de futuros projetos de Habitação de Interesse Social- HIS de melhor qualidade no nosso país. Os objetivos específicos são:

- Reforçar a importância de priorizar o uso de estratégias passivas de resfriamento visando eficiência energética, sobretudo neste tipo de habitação (HIS);

- Identificar qual das três tipologias arquitetônicas do PMCMV, tomadas como estudo de caso, apresenta melhor desempenho para uso da ventilação natural;

- Identificar qual ângulo de incidência do vento é mais eficiente para cada tipologia e assim poder contribuir para apontar qual a implantação mais eficiente do edifício frente ao vento dominante local;

- Identificar possíveis pontos de fragilidade nos projetos dessas tipologias quanto ao uso ventilação natural para que futuramente alguns erros possam ser corrigidos;

- Sugerir uma metodologia de análise de ventilação natural partindo do projeto arquitetônico e usando a simulação computacional por meio de CFD (Computational Fluid Dynamics) como ferramenta-base que pode auxiliar na identificação de problemas e a buscar soluções;

- Por fim, alertar a população, projetistas e executores sobre a qualidade dessas habitações para que juntos possamos refletir sobre melhorias nas mesmas.

Metodologicamente esta pesquisa centra-se em dados de simulação computacional da ventilação natural usando CFD em edifícios do PMCMV criteriosamente selecionados. Para tal, além de pesquisa bibliográfica e documental, foram realizadas as referidas simulações seguidas de análises e discussões.

A tese encontra-se organizada em seis capítulos. O capítulo 2 refere-se a toda fundamentação teórica realizada por meio de pesquisa bibliográfica sobre o tema Ventilação Natural. Este está subdividido em quatro seções, a saber: O vento na atmosfera; Ventilação no entorno do edifício; Ventilação Natural no interior da edificação e Uso de simulação computacional para análises de ventilação natural, que discutirá a principal ferramenta usada na metodologia para análise do fenômeno em questão.

O capítulo 3 apresenta todo o contexto e o universo do qual participa esta pesquisa. Para tal, inicia-se com a conceituação e um breve histórico sobre Habitação de Interesse Social no Brasil. Dentro deste contexto, apresenta-se o PMCMV e sua atuação especificamente em Campinas/SP.

O capítulo 4 apresenta o método da pesquisa com todas as etapas realizadas para se atingir o objetivo final. Inicia-se o capítulo com a escolha e caracterização dos empreendimentos que serviram de estudo de caso. Posteriormente descreve-se a caracterização de ventos de Campinas/SP, a qual forneceu dados de entrada para a simulação computacional. Finalmente detalha-se toda a simulação computacional da ventilação natural nos estudos de caso com o ANSYS CFX. Explica-se todo o processo envolvido na simulação.

O capítulo 5 apresenta todos os resultados das simulações e os discutem. Neste capítulo, serão analisados e discutidos os resultados de ventilação natural das três tipologias escolhidas em três ângulos de incidência do vento (0° , 90° e 135°) e sua correlação com o conforto térmico. Por fim realizou-se análise estatística comparativa entre as três tipologias.

Posteriormente, no capítulo 6, são apresentadas as conclusões desta pesquisa bem como apontamento de futuras pesquisas que podem dar continuidade a este trabalho.

2 VENTILAÇÃO NATURAL

Antes de qualquer consideração teórica acerca da ventilação natural, é importante entender a importância de realizar tal estudo sobre esta temática. A Ventilação natural na arquitetura acontece quando o vento, por meio de processos naturais, permeia as edificações no ambiente urbano, ou seja, no entorno das mesmas, e consegue atravessá-las, passando por seu interior, através das aberturas, promovendo inúmeros benefícios aos usuários dos edifícios e cidades.

Conforme Hough (1995), de todas as influências da cidade sobre o clima, a presença ou ausência do vento constitui o maior impacto no conforto e clima local. O autor explica que o vento influencia a sensação térmica, evaporação, taxa de perda de umidade e transpiração da vegetação, aspectos particularmente importantes às condições microclimáticas.

Sendo assim a ventilação natural se faz importante para o conforto térmico, podendo diminuir as temperaturas e o calor interno, aumentando a satisfação do usuário. Além disso, um aproveitamento apropriado das correntes de ar naturais pode reduzir o consumo de energia dos edifícios, por se tratar de um sistema passivo de condicionamento, uma vez que edifícios bem ventilados não necessitam de climatização artificial. Por outro lado a ventilação também

influencia na qualidade do ar interior, possibilitando uma atmosfera interna mais saudável aos usuários através da renovação do ar e retirada de ar parado ou estagnado.

A ventilação é apontada como a estratégia bioclimática mais eficiente para obtenção do conforto térmico em espaços urbanos e arquitetônicos. Além disso, o alcance social desta estratégia é indiscutível (BITTENCOURT ; CANDIDO ,2005).

Para Givoni (1998) o aumento da velocidade de circulação de ventos na escala da cidade diminui a tendência da temperatura nela verificada ser maior do que em seus arredores, aspecto importante para ambientes urbanos quanto ao estresse térmico. De acordo com Santamouris (2006), a ventilação natural é um instrumento efetivo para obtenção de qualidade do ar no interior de edificações em ambientes urbanos, proteção da saúde, conforto térmico e redução do consumo de energia, uma vez que a extrema urbanização ao longo dos últimos anos resultou em importantes problemas econômicos, sociais, ambientais e de consumo energético.

No Brasil, Corbella (1997) afirma que a preservação de condições para ventilar os edifícios em centros urbanos tem se convertido em um problema. Tal aspecto deve-se ao adensamento construtivo e verticalização, que prejudicam o acesso do vento à habitação. É necessário, portanto, introduzir, nas prescrições de uso e ocupação do solo urbano, normas que garantam a ventilação natural através de fachadas.

Por estes e outros motivos a ventilação é uma poderosa ferramenta para o projetista e precisa ser compreendida para sua utilização eficiente. Um dos problemas é que normalmente, talvez devido a falhas na formação acadêmica, o projetista é inserido no mercado de trabalho com uma noção muito superficial de como funcionam os mecanismos de ventilação natural, com isso agrava-se a concepção de edifícios bem ventilados de fato.

O presente trabalho tem como um de seus objetivos específicos, aproximar esta temática de vida cotidiana do projetista ao mostrar consequências diretas de decisões projetuais na ventilação interna de edifícios de interesse social.

A compreensão teórica da ventilação natural passa, necessariamente, pelo entendimento de fenômenos físicos que dão origem ao vento em diferentes escalas, noções acerca do comportamento do vento quando se depara com obstáculos e para culminar no processo de ventilação no interior dos edifícios.

2.1 O vento na atmosfera

Inicialmente deve-se entender, numa escala mais global, como se originam os ventos na nossa atmosfera. Segundo Frota e Schiffer (2003), a distribuição da radiação solar varia segundo a latitude e características de absorção da superfície terrestre, aquecendo-a de forma diferente. Desta forma, são originadas variações na temperatura do ar. Uma vez que a pressão do ar é função direta da sua temperatura, as alterações geram zonas de baixa pressão, chamadas depressões ou ciclones, e zonas de alta pressão, chamadas anticiclones. O ar, por encontrar-se em estado gasoso, segue a dinâmica dos fluidos. Assim, em áreas com pressões diferentes, o ar mais denso fluirá da área de maior pressão em direção à área de menor pressão até que ocorra um equilíbrio barométrico entre estas. Esse movimento de massas de ar na camada mais baixa da troposfera é denominado advecção, produzindo o vento.

O vento constitui, portanto, o movimento de massas de ar devido à desigual distribuição da energia solar sobre a Terra. Sobre cada hemisfério há cinturões de alta e baixa pressão, sendo estes permanentes ou cíclicos. O cinturão equatorial é a principal região de baixa pressão, sendo mantido durante todo o ano. Isto ocorre porque a quantidade de calor que chega à região

equatorial é maior do que a que atinge os pólos. Desta forma, o ar mais aquecido sobre zona equatorial se expande, tornando-se menos denso e sobe, criando zonas de baixa pressão por meio deste movimento vertical. O ar nas regiões subtropicais imediatamente próximas converge para estas zonas, configurando a circulação horizontal. O ar aquecido eleva-se até certa altura, resfriando-se novamente e retornando à área subtropical (BITTENCOURT ; CÂNDIDO, 2005). Este sistema de fluxos é diretamente influenciado pelo movimento de rotação da Terra.

Ao girar sobre si mesma, a Terra desvia a massa de ar que se move dos pólos para o equador no sentido oposto à rotação da Terra como mostra a Figura 1. Isto se deve ao princípio de conservação de momento angular, que gera o fenômeno conhecido como força de Coriolis (FROTA ; SCHIFFER, 2003).

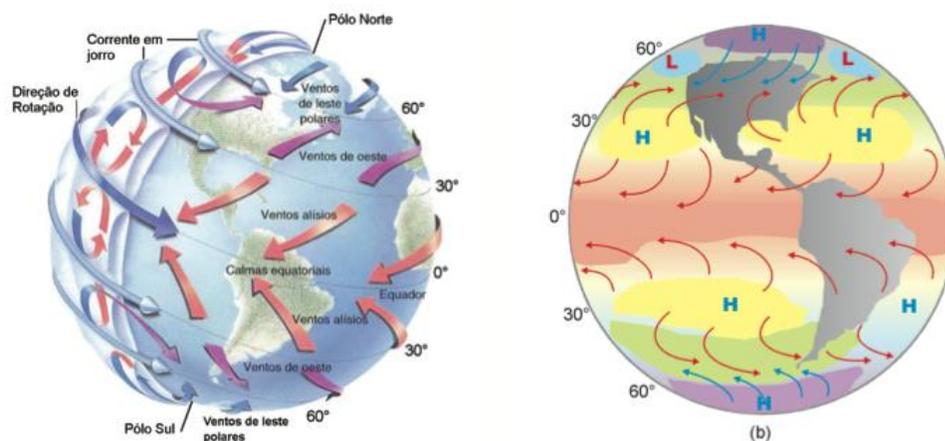


Figura 1- Movimento vertical e horizontal das massas de ar no planeta
Fonte: PUCRS, 2011.

Ainda segundo Frota e Schiffer (2003) são possíveis distinguir três principais grupos de ventos em cada hemisfério:

- Os ventos alísios, que têm sua origem nas regiões subtropicais de alta pressão situadas a baixas latitudes nos dois hemisférios (30° N e 30° S);
- Os ventos de oeste, também procedentes das áreas subtropicais, em latitudes mais altas (entre 30° e 60°, em cada hemisfério) atravessam as áreas subárticas de baixa pressão;
- Os ventos polares, constituídos pelas massas de ar originárias das regiões dos pólos terrestres, áreas de alta pressão situadas junto a latitudes mais altas (acima dos 60° nos dois hemisférios).

Carvalho (2003) explica que, no Brasil, predominam os ventos alísios. Estes são constituídos por movimentos de massas de ar provenientes dos dois hemisférios deslocando-se em direção à zona equatorial de baixa pressão, onde se localiza a Zona de Convergência Intertropical, e sendo defletidos no sentido oposto ao movimento de rotação da Terra devido à força de Coriolis. No hemisfério Sul, os ventos alísios sobre o mar são de direção Sudeste.

Características geográficas, por sua vez, podem originar os ventos locais. Por exemplo, em regiões litorâneas, o movimento do ar ocorre no sentido do mar para a terra, configurando a chamada brisa oceânica. Isto ocorre porque durante o dia o continente aquece mais rapidamente que o oceano adjacente devido à capacidade que cada superfície tem de absorver e liberar calor, propriedade conhecida como **calor específico**. Como o oceano demora mais a aquecer ele se torna relativamente mais frio do que o continente. Desta maneira origina-se sobre o continente um centro relativo de baixa pressão, comparado com o oceano onde se forma um centro relativo de alta pressão. A diferença espacial de pressão estabelecida entre o oceano e o continente origina uma circulação do ar, próxima à superfície, em direção ao litoral. Esta circulação diurna é denominada **brisa marítima ou oceânica**, mostrada na Figura 2.

À noite o resfriamento do continente é mais intenso do que o do oceano, estabelecendo assim um centro relativo de alta pressão sobre o continente e um de baixa pressão sobre o oceano. Por isso a chamada **brisa terrestre** (Figura 3) ocorre à noite e é resultante da inversão na posição dos centros de pressão em direção ao oceano.

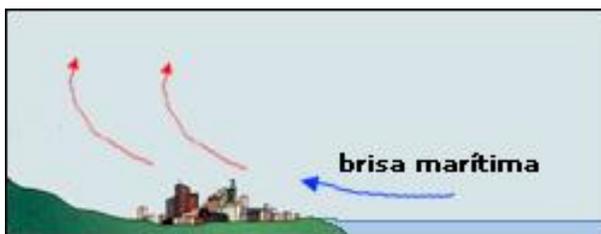


Figura 2: brisa oceânica durante o dia
Fonte: QUALAR, 2013

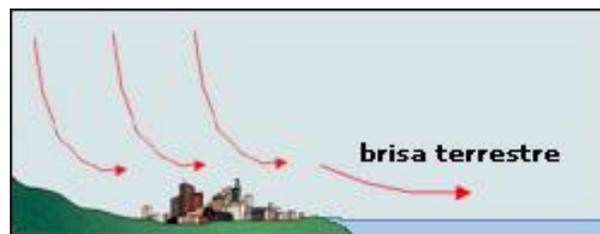


Figura 3: brisa terrestre durante à noite
Fonte: QUALAR, 2013

A mesma explicação serve para a circulação do ar em regiões de vales e montanhas, sendo que a topografia neste caso influencia diretamente na diferença de temperatura e consequentemente diferença de pressão que origina as brisas diurnas e noturnas.

O vento constitui uma grandeza vetorial que inclui velocidade e direção. A direção e o sentido do vento são definidos com relação ao norte geográfico. Assim quando o anemômetro registra ventos de nordeste, isto significa que o vento escoa na **direção** nordeste-sudoeste, originando-se do **sentido** nordeste. A velocidade do vento é comumente expressa na unidade **m/s** e é controlada pelo gradiente de pressão estabelecido entre áreas de diferentes pressões barométricas, resultado da diferença de pressão do ar entre duas superfícies adjacentes. Quanto maior for a gradiente, mais veloz será o deslocamento do ar.

A velocidade do vento, sendo baixa ou alta, proporciona sensações e impactos diferentes. Beaufort estudou as classes de velocidades do vento e seus efeitos na vida cotidiana, como mostra a Tabela 1. Costuma-se adotar a altura 10m acima do solo como altura de obtenção da velocidade de referência.

Tabela 1: Escala de Beaufort

Escala Beaufort de Força de Vento						
Escala	Velocidade média		Velocidades limites		Nomenclatura	
	ms ⁻¹	nós (knots)	ms ⁻¹	nós (knots)	português	inglês
0	0	0	<1	<1	Calmaria	Calm
1	1	2	1 – 2	1 – 3	Bafagem	Light Air
2	3	5	2 – 4	4 – 6	Aragem	Light Breeze
3	5	9	4 – 6	7 – 10	Fraco	Gentle Breeze
4	7	13	6 – 9	11 – 16	Moderado	Moderate Breeze
5	10	19	9 – 11	17 – 21	Fresco	Fresh Breeze
6	12	24	11 – 14	22 – 27	Muito Fresco	Strong Breeze
7	15	30	14 – 17	28 – 33	Forte	Near Gale
8	19	37	17 – 21	34 – 40	Muito Forte	Gale
9	23	44	21 – 25	41 – 47	Duro	Severe Gale
10	27	52	25 – 29	48 – 55	Muito Duro	Storm
11	31	60	29 – 33	56 – 63	Tempestuoso	Violent Storm
12	-	-	33 +	64 +	Furacão	Hurricane

Fonte: CPTEC, 2013.

2.2 Ventilação no entorno do edifício

2.2.1 Camada limite atmosférica e rugosidade

A heterogeneidade da cobertura da superfície terrestre, associada aos seus aspectos geomorfológicos, tende à frenagem do ar em movimento. Com base nesse fenômeno, Bittencourt e Cândido (2005) explicam que o aumento da velocidade do vento ao longo de um eixo vertical varia: seu valor é nulo junto à superfície e atinge intensidade máxima igual ao seu fluxo em uma área livre de obstruções, gerando o que se convencionou chamar de gradiente da velocidade do vento (Figura 4).

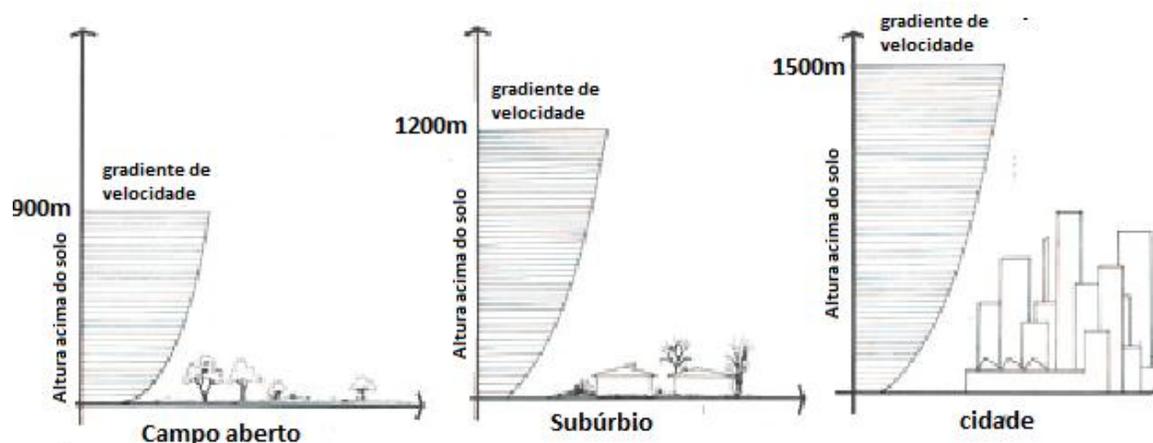


Figura 4: Infográfico do Gradiente de velocidade do vento
Fonte: adaptado de Melaragno (1982)

Segundo Silva (1999), a região onde o escoamento do vento caracteriza-se pela existência deste gradiente vertical de velocidade denomina-se camada limite atmosférica- CLA. A espessura da CLA é definida como sendo altura logo acima da superfície terrestre onde a velocidade atinge 99% da velocidade do escoamento não perturbado (PRATA, 2005).

Uma corrente de ar pode apresentar um fluxo laminar ou turbulento. O escoamento turbulento compreende a reunião de vórtices de diversos tamanhos imbricados uns aos outros, manifestando-se como flutuações quase aleatórias na velocidade do ar (STULL, 1988 apud LEITE, 2010). Próximo à superfície, o fluxo de vento apresenta-se turbulento, pois são intensos os processos mecânicos e térmicos. De acordo com Allard e Ghiaus (2006), o fluxo turbulento é um dos problemas insolúveis da física clássica. Mesmo diante do desenvolvimento de pesquisas sobre a questão, inexistente um completo entendimento do seu comportamento. A turbulência deforma o fluxo, determinando-lhe grande complexidade (LEITE,2010).

Com o aumento da altitude, a tendência é a diminuição da perturbação da distribuição até que o vento atinja uma zona livre da influência do atrito com a superfície, chamada de altura do

gradiente. Este nível é função da rugosidade do meio, ou seja, da forma e dimensão dos obstáculos naturais (topográficos) e artificiais (edifícios) encontrados no meio.

Segundo Prata (2005), a rugosidade é descrita por vários parâmetros aerodinâmicos que envolvem a complexa variedade de formas e padrões urbanos, por isso quando refere-se a cidades, adotam-se valores pré-definidos testados e publicados.

Gandemer e Guyot (1981) apud Prata (2005) apresentam 5 classes de rugosidade:

- Classe I: Oceano, grande lago;
- Classe II: Campo raso;
- Classe III: Arredores, subúrbios;
- Classe IV: Zona urbana;
- Classe V: Centro de grandes cidades.

Diante da variação da rugosidade segundo os diversos tipos de terrenos, para determinar a velocidade do ar a determinada altura a partir da transposição das medidas tomadas em estações meteorológicas pode-se aplicar uma equação do perfil do vento (Equação 1) definida pelo Building Research Establishment- BRE (1978)¹:

$$V = V_m \cdot k \cdot z^a \quad (1)$$

Onde:

V = velocidade média do vento à determinada altura (m/s);

V_m = velocidade média do vento na estação meteorológica registrada a 10 m (m/s);

z = altura determinada (m);

k, a = coeficientes segundo a rugosidade da superfície do terreno (Tabela 2).

¹ BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **Principles of natural ventilation**. BRE Digest n. 210. BRE, Garston, 1978, apud Bittencourt e Cândido (2005).

Tabela 2: Coeficientes de acordo com as características do terreno.

Características do terreno	k	a
Área aberta plana	0,68	0,17
Campo com obstáculos espaçados	0,52	0,20
Área urbana	0,35	0,25
Centro de cidade	0,21	0,33

Fonte: BRE (1978)

Gasch (1996)² propõe que a velocidade do vento (v) em uma altura (h) qualquer pode ser dada a partir da equação (2):

$$V(h) = V_{ref} \frac{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_{ref}}{z_0}\right)} \quad (2)$$

Onde:

h_{ref} = altura de referência de medição da velocidade do vento (10 m em geral)

v_{ref} = velocidade do vento medida nesta altura de referência (m/s)

z_0 = comprimento de rugosidade ou simplesmente rugosidade (Tabela 3). Esta variável, em metros, informa a altura em que a velocidade do vento é zero.

Tabela 3: comprimento de rugosidade segundo o meio

Tipo de terreno	Z_0 (metros)
Lagos, mar aberto	0,0001
Superfície com areia (lisa)	0,0003
Superfície com neve (lisa)	0,001
Pradaria, campo	0,01
Vegetação rasteira	0,1
Muitas árvores e/ou arbustos	0,2
Subúrbios	0,5
Cidade, floresta	1,0

Fonte: Carvalho (2003)

²GASCH, R. Windkraftanlagen: Grundlagen und Entwurf. B. G. Teubner, (1996) apud LEITE (2010).

Nesta tese, utilizou-se a equação acima descrita como dado de entrada no CFD sobre o vento do local. Na equação se conhecia h_{ref} (10m), v_{ref} (velocidade média a 10m de altura obtida no banco de dados climáticos), z_0 (0,5m para áreas suburbanas) e h (altura de interesse $h=1,5m$). Assim o CFD calculou automaticamente $V(h)$, que é a velocidade na altura de interesse. Esta decisão deu mais realismo às simulações que consideraram o perfil logarítmico do vento. Este detalhe será descrito no capítulo 4.

2.2.2. Implantação, forma e orientação dos edifícios

As diferenças de pressão entre dois pontos distintos de um edifício é que determinam a direção e velocidades potenciais para ocorrência de ventilação (NEVES, 2006). Quando uma corrente de ar entra em contato com uma edificação, as faces expostas ao vento- chamadas de faces à barlavento- sofrem sobrepressões (região de incidência de pressão positiva) e as faces não expostas sofrem subpressões (regiões de pressão negativa), como mostra a Figura 5. A face à **barlavento** é a zona de fluxo livre de ar; a área na região de separação entre o fluxo livre e a região de recirculação de ar é chamada de **camada limite**, já a região oposta à corrente de ar é chamada de zona de sombra de vento ou região à **sotavento**, onde o ar forma turbilhões (OLGYAY, 1998). Estas nomenclaturas estão presentes no decorrer desta tese.

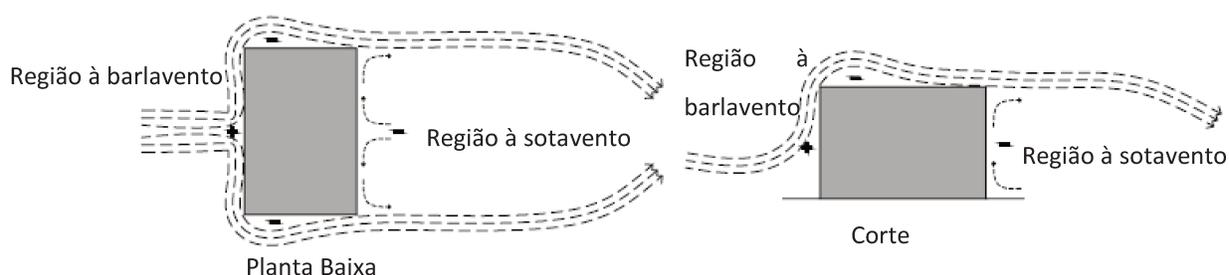


Figura 5: Esquema do vento ao redor de uma edificação em planta e em corte
Fonte: adaptado de Olgay (1998).

Quanto aos aspectos relacionados ao edifício, a ventilação natural depende dos seguintes fatores: a orientação, localização, forma e características construtivas. Os outros aspectos, que refletem diretamente na ventilação no interior do edifício, serão tratados posteriormente.

A orientação do edifício altera o movimento de ar natural e, portanto, afeta o padrão e a velocidade do ar. Ela não deve ser necessariamente perpendicular à direção do vento incidente para que resulte numa ventilação eficiente, no entanto, ela deve ser determinada em função dos ventos dominantes locais, a fim de criar zonas de alta e baixa pressão. Mascaró (1991) elaborou alguns esquemas que mostram desde a orientação do edifício perpendicular ao vento dominante como com inclinações diferentes e seu impacto no tamanho da esteira, ou zona de baixa pressão ou zona de sombra de vento, como mostra a Figura 6. As figuras mostram que edifícios alocados perpendicularmente à direção do vento, proporcionam uma zona de baixa pressão à sotavento maior que as implantações com ângulos menores.

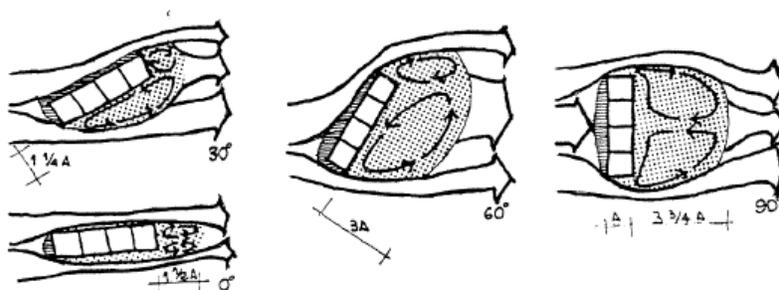


Figura 6: profundidade da zona de baixa pressão/ posicionamento das edificações frente ao vento dominante
Fonte: Mascaró (1991)

No caso de Campinas/SP, por exemplo, a direção predominante dos ventos é Sudeste em nove meses do ano, sendo os demais a Norte como será explicado no capítulo 4. Assim os projetistas devem considerar esta informação como ponto de partida quando quiserem utilizar a ventilação natural como estratégia de projeto ou quando o interesse é priorizar também as edificações vizinhas, evitando maior sombra de vento para as mesmas.

Um exemplo de projetista que reconhece essa importância é o arquiteto João Filgueiras Lima- o Lelé- que utiliza sempre em seus projetos a ventilação e a iluminação naturais como ponto de partida. Por isso a orientação é um dos fatores preponderantes em suas obras. Além disso, ele tira partido do uso de aberturas tipo *sheds*, que se localizam nas coberturas e funcionam como captadores de vento ou exaustores em função da direção dos ventos externos.

Lukiantchuki (2010) estudou a fundo a evolução das estratégias de conforto térmico e ventilação natural na obra de Lelé, comparando o desempenho dos hospitais da Rede Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro, ambos projetados pelo arquiteto. A principal diferença entre os dois hospitais, comenta a autora, é a cobertura. No Sarah de Salvador, as aberturas dos *sheds* estão localizadas à sotavento (sudoeste) , favorecendo o efeito de sucção do ar, já no Rio de Janeiro, os *sheds* estão orientados à barlavento (leste) para captação dos ventos dominantes. A análise das obras se deu por meio de ensaios em túnel de vento para verificar a eficiência das soluções adotadas pelo arquiteto para captação/extração de vento bem como realizou medições *in loco* de temperatura, umidade, velocidade do ar e níveis de iluminância. O resultado da comparação das enfermarias de ambos os hospitais indicaram que o Sarah do Rio de Janeiro é 17 % mais bem ventilado que o Sarah de Salvador.

Quanto ao posicionamento de uma edificação em relação às outras, para uma ventilação satisfatória, os edifícios devem estar relativamente afastados uns dos outros, havendo assim uma boa circulação do vento ao redor deles, pois em regiões muito adensadas de edifícios geralmente criam-se zonas neutras ou zonas de “ar parado”. O espaçamento mínimo indicado depende da forma de implantação dos edifícios.

A localização também deve ser pensada em função da altura- ou gabarito- das edificações. Segundo Mascaró (1991), quanto mais alto o edifício, maior profundidade terá a zona de baixa pressão (Figura 7). Segundo Olgyay (1998), para construções dispostas em fileira o espaçamento ideal é de sete vezes a altura do mesmo, o que garante uma ventilação satisfatória aos demais edifícios vizinhos.

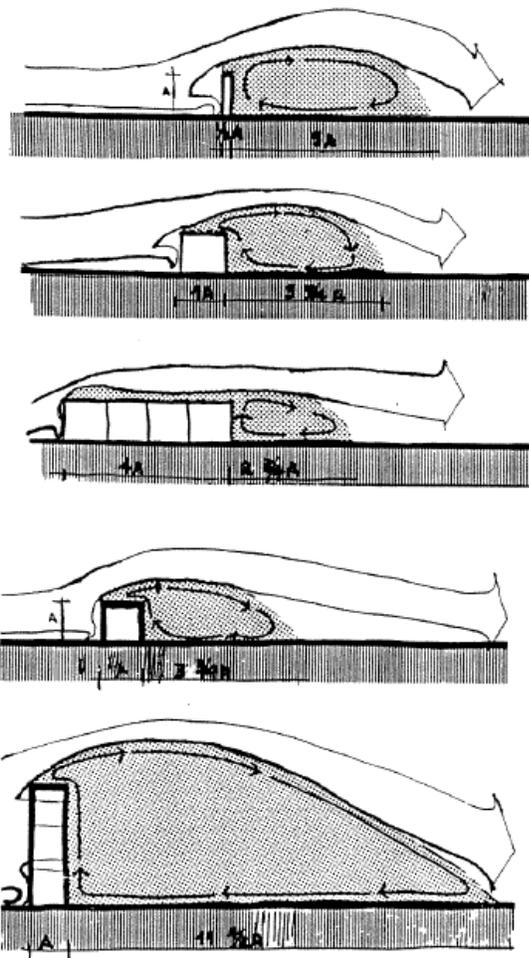


Figura 7: profundidade da zona de baixa pressão e função da altura da edificação
Fonte: Mascaró (1991)

Uma sequência de pesquisas nacionais de qualidade investigaram o efeito da alteração do gabarito das construções e seu rebatimento na ventilação local.

A partir de ensaios em túnel de vento, as influências das mudanças nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural de João Pessoa foram verificadas qualitativa e quantitativamente por Silva (1999). Costa (2001) analisou os três últimos planos diretores do desenvolvimento urbano de Natal, avaliando os resultados das prescrições edilícias permitidas

pelos códigos sobre o campo de vento em bairro situado no interior da cidade e suscetível à verticalização. Os diversos cenários confeccionados à luz da legislação urbana foram submetidos a um *software* de mecânica dos fluidos computacional – CFD (Computacional Fluid Dynamics) - para visualização dos resultados. A metodologia ainda foi revisitada pelo trabalho de Marques (2003), que avaliou os impactos de uma possível verticalização em trecho da orla da capital potiguar.

Prata (2005) combinou a realização de estudos em túnel de vento e simulação computacional com CFD para determinar os impactos da ocupação da orla da cidade de Santos, onde a especulação imobiliária verticalizou de tal forma este trecho da cidade, que instigou a autora a realizar análise sobre o conforto do pedestre e condições ambientais urbanas. Considerando que as condições de ventilação sofrem alteração segundo a altura e posição dos edifícios, a autora conclui que para a melhoria do clima urbano é imprescindível o aumento das distâncias entre edificações como forma de aumentar a permeabilidade do vento em meio urbano.

Todos estes trabalhos apresentados constituem ferramentas para o planejamento urbano das cidades que abordam. A metodologia descrita por estes, possibilita determinar previamente, os impactos da inserção de conjuntos de edifícios no escoamento do vento sobre a malha urbana.

Do ponto de vista da forma do edifício, há muitas maneiras de se favorecer uma boa ventilação. A forma mais favorável é aquela na qual se pode obter a máxima diferença de pressão nas fachadas para daí proporcionar, através das aberturas, a ventilação cruzada.

Em edificações que não necessitam de um “core” central para circulação, o processo de ventilação cruzada acontece de maneira muito mais simples, devido ao fácil posicionamento de aberturas em faces de pressão opostas. O problema maior em edificações multifamiliares, principalmente de habitação de interesse social, é que além da existência das circulações centrais muitas vezes elas não possuem aberturas e quando o usuário fecha a porta principal da unidade

habitacional por uma questão de privacidade, a eficiência da ventilação interna fica a cargo da disposição de aberturas e configuração interna.

Outro problema é que muitas vezes a geometria que os projetistas determinam para este tipo de edifício, talvez por questões de economia, de fácil execução ou mesmo de falta de conhecimento acerca da ventilação natural, são formas retas com fachadas monolíticas, o que associado ao core central sem aberturas, compromete ainda mais a ventilação natural nas unidades habitacionais.

Além disso, as características da construção, que estão associadas ainda a forma do edifício, também podem influenciar diretamente na ventilação do mesmo. O uso de pilotis pode melhorar a eficiência da ventilação interna de uma edificação em cerca de 20%, contanto que se leve em conta uma distância mínima de 1m acima do solo e o vento fique livre de obstáculos embaixo das construções (BITTENCOURT e CANDIDO, 2005). A forma e declividade do telhado também tem sua contribuição, assim como os beirais de uma construção e a existência de varandas podem ajudar a direcionar o fluxo de ar para o interior do edifício, aumentando a pressão positiva próxima às aberturas de entrada de ar do mesmo. No caso das edificações multifamiliares de interesse social, de uma maneira em geral do Brasil, observa-se que estas características construtivas anteriormente citadas raramente são utilizadas, sendo os edifícios em sua maioria blocos que utilizam o térreo para as unidades habitacionais e são desprovidos de elementos de proteção em suas aberturas.

2.2.3. Efeitos aerodinâmicos do vento ao redor dos edifícios

Para finalizar este subcapítulo acerca da ventilação no entorno dos edifícios não se poderia deixar de lado a compreensão de alguns efeitos aerodinâmicos do vento. A seguir, a Tabela 4, confeccionada com base nos estudos desenvolvidos pelo *Texas Engineering experiment Station*, na universidade do Texas, por Mascaró (1985) apud Leite (2010), apresenta os principais efeitos da forma de edificações ou conjuntos edificadas sobre o comportamento do vento.

Tabela 4 - principais efeitos das edificações sobre o comportamento do vento

Efeito	Características	Ilustração
Efeito barreira	Efeito relacionado a um edifício laminar, ou seja, massa construída de relativa espessura. Tal efeito tem impacto negativo para o entorno quando sua altura é menor que a superfície laminar ou quando nas proximidades se encontram exemplares do tipo.	
Efeito Pilotis	As aberturas sob a edificação unem a zona de alta pressão na fachada exposta ao vento e a zona de baixa pressão na fachada oposta. Quanto mais alto o pilotis, maior é o efeito. A entrada do ar é difusa, mas a saída é forte e direcionada, podendo ventilar áreas livres e comuns aos conjuntos de edificações.	
Efeito de canto ou esquina	Resulta da união dos ângulos formados pelas fachadas do edifício em pressão positiva e em pressão negativa, aumentando com a altura e em casos de proximidade de outras edificações. Pode-se otimizar a relação entre forma e distância para aproveitar o efeito de canto para ventilação do entorno.	
Efeito de canalização	A conformação de um conjunto construído faz com que o vento percorra um corredor a céu aberto. Interessante em climas tropicais se a velocidade do vento for pronunciada, gerando conforto para o transeunte	
Efeito venturi	Edifícios em eixos angulados próximos entre si dão origem ao efeito de coletor de ventos. A altura deve ser superior a 15 m e a soma do comprimento dos edifícios ao menos 200 m. Largura da garganta de 2 a 3 vezes a altura média. Pode-se aproveitar a velocidade do ar para ventilar outros espaços na cidade.	

Efeito de malha	<p>Os espaços (pátios centrais, bolsões) entre edifícios em malha são protegidos da ventilação mais intensa, sendo prejudicados pela justaposição de prédios, aspecto negativo em climas quentes.</p>	
Efeito de Redemoinho ou “wise”	<p>Em edifícios de mais de 15 m, o vento que incide diretamente sobre a fachada cria uma área turbulenta na base da mesma, sendo mais intenso quanto maior for a altura do prédio e se próximo se localizar outra edificação.</p>	
Efeito de esteira	<p>A circulação de ar em forma de redemoinhos na parte posterior da edificação. Resulta da velocidade, união de zonas de pressões diferentes e da ação turbulenta do ar mais distante do prédio, criando movimentos de ar tipo esteiras.</p>	
Efeito de união de zonas de pressão diferentes	<p>A disposição ortogonal de alguns edifícios em relação à direção do vento faz com que massas de ar de diferentes pressões se interliguem transversalmente, surgindo fluxos no sentido das pressões decrescentes. A altura dos prédios é um elemento importante para o efeito.</p>	
Efeito pirâmide	<p>A geometria de edifícios com forma piramidal dissipa a energia do vento. Grandes quantidades de redemoinhos ocorrem no solo destas edificações. Pode-se tomar partido da geometria de prédios deste tipo para variar as condições do vento no entorno.</p>	

Fonte: Mascaró (1985)

2.3 Ventilação natural no interior do edifício

A ventilação natural pode chegar ao ambiente interno de duas maneiras: de maneira controlada pelo usuário ou por meio de infiltrações. A primeira se constitui no deslocamento do vento através das aberturas da edificação, sejam elas portas ou janelas, que permitem e conduzem a passagem do ar pelo ambiente interno. A segunda é o fluxo aleatório descontrolado do ar que acontece por meio de frestas nas aberturas ou nos materiais de construção; é encontrada principalmente nos edifícios “envelopados” e em geral é menos desejada que a primeira, principalmente em climas frios, pois quebra o princípio de estanqueidade da edificação.

Esta tese centra seu estudo na ventilação natural controlada, aqui chamada apenas de ventilação natural, a qual através das aberturas atinge o ambiente interno e por sua vez o usuário, sendo esta um resultado direto do processo de projeto para que ela aconteça de forma eficiente. Por isso o trabalho busca resolver o desconforto para o calor através da ventilação, considerando que nas épocas frias o usuário pode controlar a passagem do ar.

A ventilação natural interna consiste na passagem do ar através dos edifícios, entrando por alguns ambientes e saindo por outros. O ar que penetra não se mistura, necessariamente, com todo o ar dos ambientes por onde circula, podendo haver zonas de ar estagnado, o que é muito ruim, principalmente do ponto de vista da qualidade do ar interior.

Segundo Melaragno (1982), a magnitude da velocidade do vento é proporcional à energia disponível; a direção do vento é também essencial para estabelecer a pressão do vento na entrada e saída, as quais podem ser usadas para ventilação. O processo de ventilação consiste na entrada de ar através de uma ou mais aberturas no edifício, e sua saída através de outras aberturas. A força motriz é a diferença de pressão, ΔP , entre a pressão do vento na entrada e na saída. Quanto maior a diferença de pressão, maior a força do vento.

A diferença de pressão, força motriz que provoca o deslocamento do ar, pode ser originada de duas maneiras: pela diferença de temperatura entre o ar externo e o ar interno (efeito

chaminé), ou pelas pressões externas e internas, positivas ou negativas, oriundas do impacto do vento no edifício. Um terceiro modo seria a ação combinada dos dois últimos. Estes são os três mecanismos físicos de obtenção de ventilação natural.

Optou-se nesta tese por estudar o fenômeno de ventilação natural por ação dos ventos (ou por diferença de pressão), comumente conhecido por ventilação cruzada. Sendo assim faz-se necessário retomar alguns conceitos importantes que devem ser do conhecimento do projetista que pensa em usar este tipo de ventilação. O primeiro deles é a equação da vazão (Equação 3) que estabelece que a taxa do fluxo de ar Q (m³/s) é proporcional à área da entrada A (m²) e a velocidade na área de entrada v (m/s).

$$Q = A \cdot v \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (3)$$

Conforme Melaragno (1982), para uma dada área de entrada, e eficiência aumenta com o aumento da velocidade do ar. A equação da vazão pode ser aplicada não somente na entrada, mas também na saída, e em outros pontos do edifício. Isto mostra que a velocidade do ar no interior do edifício não é uniforme.

Dentre os vários métodos de obtenção da taxa de fluxo de ar num edifício naturalmente ventilado, Allard (1998) destaca o método britânico, que propõe através de fórmulas simplificadas, cálculos de ventilação unilateral (num ambiente com única abertura) e ventilação cruzada (com abertura de entrada e saída de ar). Olgyay representa esquematicamente ambientes que apresentam ventilação unilateral e cruzada respectivamente, como mostram as Figuras 8 e 9.

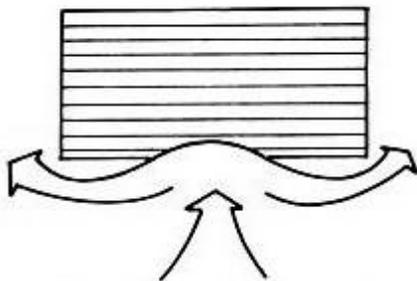


Figura 8 : Esquema de ambiente com ventilação unilateral. Fonte: OLGAYY apud FROTA e SCHIFFER, 2003.

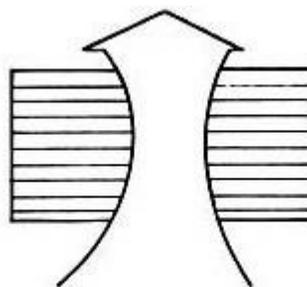


Figura 9: Esquema de ambiente com ventilação cruzada. Fonte: OLGAYY apud FROTA e SCHIFFER, 2003.

A fórmula de ventilação unilateral é apresentada na Equação 4.

$$Q = 0.025 \cdot A \cdot v \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4)$$

Onde:

Q: taxa de ventilação ou vazão (m³/s);

A: área da abertura (m²)

v: velocidade do ar (m/s)

A fórmula de ventilação cruzada é apresentada na Equação 5.

$$Q = C_d \cdot A_{eq} \cdot v \cdot \sqrt{\Delta C_p} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (5)$$

Onde:

Q: taxa de ventilação ou vazão (m³/s);

C_d: Coeficiente de descarga (valor normalmente adotado: 0,6)

v: velocidade do ar (m/s)

ΔC_p: Variação do Coeficiente de Pressão

A_{eq}: área equivalente de aberturas (m²), dada pela Equação 6 (ver Figura 10):

$$\frac{1}{A_{eq}^2} = \frac{1}{(A_1+A_2)^2} + \frac{1}{(A_3+A_4)^2} \quad (6)$$

onde:

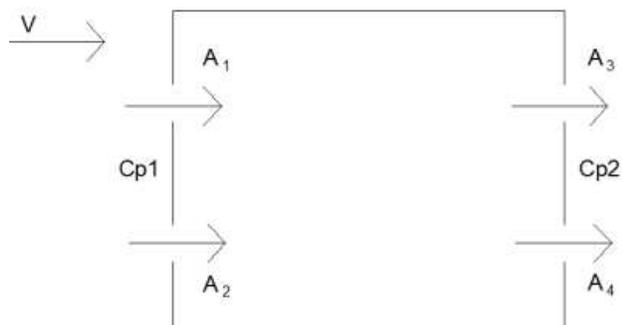


Figura 10: representação de aberturas num ambiente em corte (esquemático)

No caso de v não ser normal à abertura, usa-se a Equação 7 para obter o valor v :

$$V = v_o \cdot \cos \theta \quad (\text{m/s}) \quad (7)$$

Onde:

v_o : velocidade do vento externo (m/s);

θ : ângulo de incidência vento em relação à normal à fachada, como mostra Figura 11.

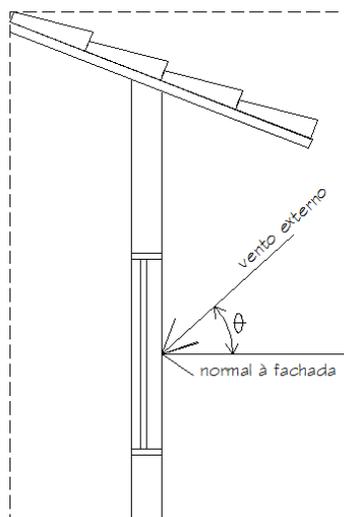


Figura 11: representação em corte de vento externo incidente oblíquo e ângulo θ

Por fim, pode-se calcular a taxa de renovação do ar, que é dada pela Equação (8):

$$Tx\ ren = \frac{Q}{V} \cdot 3600 \text{ (n}^\circ \text{ ren/h)} \quad (8)$$

Onde:

Tx ren= Taxa de renovação (geralmente dada em n° de renovações por hora)

Q: taxa de ventilação ou vazão (m³/s);

V: Volume do ambiente (m³)

Mesmo conhecendo todas essas maneiras de se calcular a taxa de ventilação ou vazão de um ambiente naturalmente ventilado, onde considera-se um valor de velocidade v , no julgamento geral de eficiência da ventilação de um edifício, concordando com Givoni (1962), é mais conveniente considerar um valor médio de velocidade do ar interna, V_i , que será usada nos resultados desta tese. Quanto mais alta esta velocidade média, mais alta a eficiência da ventilação. É claro, porém que existe um limite de aceitabilidade desta velocidade média que quando excedido pode trazer muito desconforto para os usuários do local. Por isso nesta tese uma escala de velocidade média foi desenvolvida e será apresentada no capítulo 4.

Voltando a explicar sobre a obtenção da ventilação no interior do edifício, podem-se elencar quatro variáveis principais que são responsáveis pela ventilação cruzada: posicionamento, dimensões e tipo das aberturas e a configuração do ambiente interno.

2.3.1 Localização, dimensionamento e tipologia das aberturas

Acerca dessas variáveis, tão importantes para a boa ventilação nos ambientes internos, Givoni (1962) realizou um trabalho que ainda é atual e serve de referência a quem quer estudar esta temática. Por isso, decidiu-se aprofundar neste estudo, para daí tentar usar/checar esses conhecimentos na presente tese.

Os experimentos que serão descritos foram realizados em Israel no Technion-Israel Institute of Technology. O autor utilizou túnel de vento para realização de 89 experimentos de

ventilação usando dois modelos físicos como estudo de caso. O método desenvolvido teve como base o efeito fisiológico do movimento do ar, a partir do ponto de vista do equilíbrio térmico entre o corpo humano e o ambiente. As condições de ventilação de espaços interiores foram analisadas em relação a fatores como:

- Tamanho de abertura (entrada e saída);
- Ventilação cruzada, com diferentes posicionamentos da edificação;
- Direção variada do vento externo.

Estes três fatores também serão investigados nesta tese. O efeito da velocidade do ar exterior sobre a velocidade interior foi medido em testes empíricos. O resultado deste efeito foi representado por porcentagens do vento externo em médias do fluxo de ar interno (nesta tese, chamados de aproveitamento do vento interno, ou seja, o quanto do vento externo conseguiu se converter em ventilação interna- em valores médios). Estes valores estão distribuídos, dependendo do fluxo de ar, em locais específicos do cômodo. Os casos analisados foram divididos em:

- Cômodos com abertura única;
- Cômodos com duas aberturas em paredes opostas;
- Cômodos com aberturas em paredes adjacentes.

Dois modelos foram construídos para o experimento. Para estudo do efeito do tamanho da janela, localização e variação da direção do vento incidente, foi usado um modelo quadrado de dimensões 65x65x50cm. O segundo modelo foi construído para estudo do movimento do ar num desenho de prédio mais complicado que consistiu em 2 quartos com um corredor entre eles, onde o objetivo era a obtenção de ventilação cruzada no corredor.

Todos os cômodos foram testados com variações na relação largura da abertura/largura da parede que contém a abertura. As medições foram realizadas a 1,2m do piso da maquete e as

dimensões das aberturas variavam em 1/6, 1/3, 2/3, e 3/3 da largura da parede (ou seja, neste ultimo caso, a abertura ocupava toda a parede).

Nestes cômodos foram implantadas malhas moduladas em matriz 5x5, destacando as porcentagens da velocidade média interna resultante. Na maioria dos experimentos, as medições foram realizadas em 25 pontos no primeiro modelo e 46 pontos no segundo modelo com 4 leituras em cada ponto. Desta forma, a velocidade média interior representa a média aproximada de 100 leituras. Esta grande quantidade de leituras foi necessária devido à natureza turbulenta do fluxo, caracterizada por amplas flutuações em direção e velocidade num dado ponto.

A análise do fluxo interno variou para quatro configurações de vento incidente: incidência perpendicular à aberturas, incidência paralela às aberturas, vento obliquo à 45° das aberturas e vento na face oposta à abertura.

Os resultados principais que podem servir para comparação com os resultados obtidos nesta tese de doutorado estão dispostos a seguir:

- ventilações unilaterais, ou seja, em cômodos com única abertura, variando vento incidente e tamanho de abertura (Figura 12);

- ventilação cruzada (aberturas entrada/saída em paredes opostas) variando tamanho de aberturas e ângulo de incidência do vento (Figura 13).

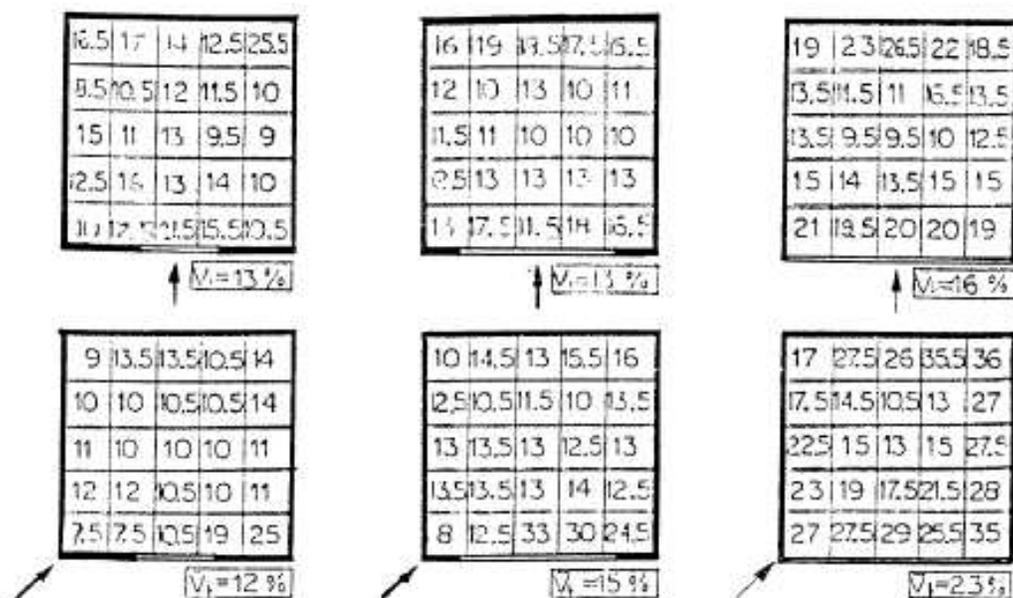


Figura 12: Exemplos de velocidades médias internas (V_i), em percentual, obtidas pela incidência oblíqua e perpendicular do vento em ambientes com abertura única de tamanhos variados (GIVONI, 1962).

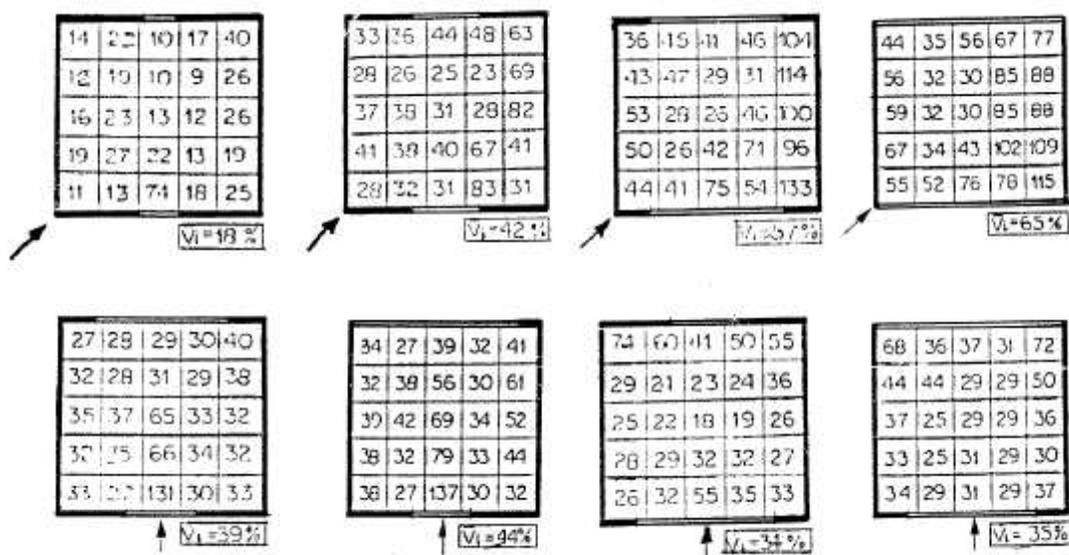


Figura 13: Exemplos de velocidades médias internas (V_i), em percentual, obtidas pela incidência oblíqua e perpendicular do vento em ambientes com aberturas em faces opostas de tamanhos variados (GIVONI, 1962).

Em síntese, as principais conclusões deste estudo foram:

- O efeito do tamanho da abertura acima de um determinado valor mínimo foi pequeno (a média de velocidade interna permaneceu quase constante para incidências de vento perpendiculares às aberturas e à sotavento das aberturas, somente na incidência de 45° houve aumento significativo na média de velocidade interna). Aumentando o tamanho da entrada ou saída, enquanto mantinha-se a outra constante, teve um efeito “negligenciável”. Aumentando o tamanho de ambos, entrada e saída, surtiu algum efeito, mas, o aumento da velocidade do ar interna é muito menor em proporção ao aumento da abertura da janela.

- O efeito da ventilação cruzada a uma área de abertura total constante foi bastante considerável. A velocidade do ar interna média foi aproximadamente 2,5vezes mais alta num quarto com duas janelas, uma na direção do vento e outra na direção oposta, do que num quarto com uma janela ou duas janelas no mesmo lado (sob mesma pressão) e de mesma área.

- descobriu-se que o efeito da direção do vento depende da relação entre a direção do vento e o eixo através da abertura. Com as janelas em posições opostas, a velocidade do ar interno foi mais alta para o vento a 45° do que para o perpendicular. Com as janelas em paredes adjacentes, a velocidade foi mais alta para o vento perpendicular (Figuras 14 e 15). Com o vento paralelo ao eixo das janelas, o fluxo de ar externo ocupa uma posição menor do espaço do ambiente, do que quando o vento tem que mudar sua direção (Figuras 16 e 17).

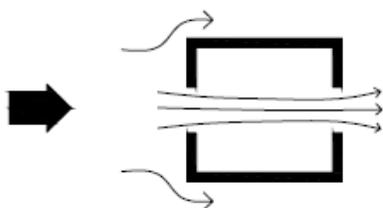


Figura 14: Fluxo de ar incidindo em aberturas paralelas ao vento (adaptado de GIVONI,1976)

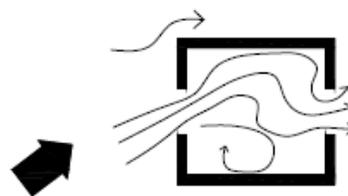


Figura 15: Fluxo de ar incidindo em ângulo nas aberturas (adaptado de GIVONI,1976)

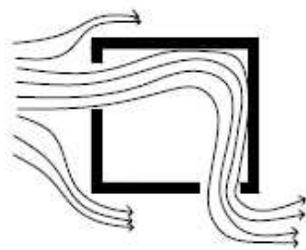


Figura 16: Fluxo de ar incidindo perpendicularmente em aberturas adjacentes (adaptado de GIVONI,1976)

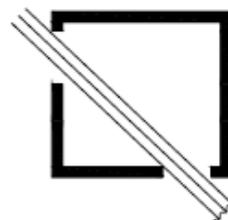


Figura 17: Fluxo de ar incidindo obliquamente em aberturas adjacentes (adaptado de GIVONI,1976)

- Sobre ventilação feita em ambientes divididos por um corredor (feita por meio de duto de ventilação acima da laje), o autor afirma que a eficiência desse método depende enormemente de detalhes na entrada/tomada de ar externo (como ângulo do duto, área da seção mesmo). Além disso, deve haver um bom isolamento acústico no mesmo.

Essas considerações são muito ricas e inspiradoras. Nesta tese, como será apresentado no capítulo 5, assim como Givoni (1962), porém através de outros métodos, foram obtidas as velocidades médias internas e em seguida, encontrados os aproveitamentos internos (percentual da relação entre velocidade média interna/ velocidade do vento externo na mesma altura), para três direções de vento incidente.

Em publicação posterior, Givoni (1976) comprovou que, em tese, a abertura menor – seja de entrada ou de saída– é quem determina a velocidade média do ar internamente. Determinou a taxa de velocidade média do ar no interior de um recinto em função da relação entre o tamanho das aberturas de entrada e saída do ar, para vento com incidência de 45° e 90°. Concluiu-se que, para um mesmo tamanho de aberturas de entrada, as taxas de ventilação interna são maiores quando aumenta o tamanho das aberturas de saída. Outra conclusão é que com entradas de ar maiores que as saídas, o fluxo de ar no interior da edificação é reduzido, porém proporciona uma melhor distribuição. Já com entrada pequena e saída maior, produz-se um

movimento de ar concentrado, de maior velocidade, limitado a uma pequena seção do ambiente – o chamado “efeito venturi”.

Além de um bom projeto de localização e tamanho de aberturas, a correta escolha do tipo de esquadrias também influi na obtenção de um ambiente interno ventilado, devendo o projetista especificá-las muito bem, pois refletem diretamente na qualidade do fluxo de ar interno. O fluxo de ar natural nem sempre é como se espera, e muda constantemente de direção e sentido. Por isso, o tipo de abertura ou de esquadrias deve aproveitar ao máximo o movimento do ar, e ter flexibilidade para reduzi-lo quando for desejável. Ele determina o direcionamento do fluxo de ar, a possibilidade de mudança de orientação do fluxo e a regulagem de sua intensidade, através do controle flexível do movimento de ar.

Conforme Mascaró (1991), o tipo de esquadrias e seu desenho determinam alguns critérios de desempenho. São eles: a área efetiva de abertura, a qual determina a área máxima de ventilação; a possibilidade de ser regulável pelo usuário no período quente e frio; a possibilidade de separação do fluxo de ventilação para conforto e ventilação higiênica; a contribuição na distribuição do fluxo de ar pelo local; a estanqueidade ao ar e à chuva. Seria necessária uma tese para mencionar o papel das esquadrias de uma edificação.

Existem diversos modelos tradicionais de esquadrias, encontrados no mercado, que variam bastante quanto ao desempenho em relação à ventilação. A Figura 18 ilustram alguns modelos comumente encontrados nas construções.

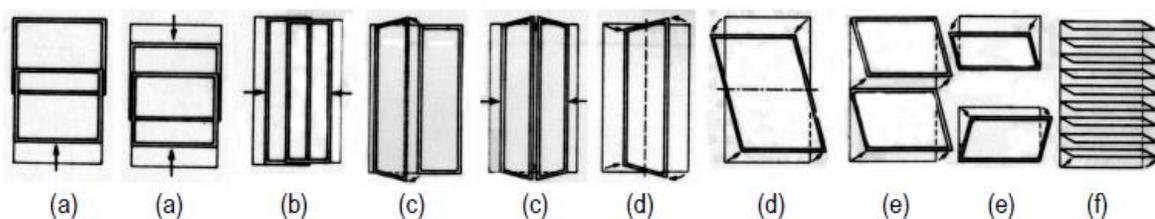


Figura 18: Tipos de esquadrias: (a) guilhotina, (b) de correr, (c) folhas dobradiças, (d) pivotante, (e) máximo ar (f) venezianas móveis (NEVES, 2006)

Esquadrias de correr ou guilhotina, por exemplo, tem área real de abertura reduzida, pois só podem abrir no máximo 50% de sua área total. Elas geralmente não afetam o padrão do movimento de ar. Algumas permitem a opção de regular se o ar entra pela parte superior ou inferior da abertura, ou ate pelas duas partes ao mesmo tempo.

Esquadrias pivotantes ou basculantes tem área efetiva de abertura de até no máximo 100%, ou seja, permitem total abertura. Estas possuem a vantagem de possibilitar o direcionamento do fluxo de ar.

As venezianas móveis também estabilizam o fluxo e criam um movimento de ar laminar, podendo, além de tudo, prover a separação entre as correntes de ar frio e quente, quando o sistema de aberturas permite abrir as folhas separadamente. As esquadrias denominadas máximo ar, em comparação as demais, são as que possuem pior desempenho, pois além de possuírem a área efetiva de abertura extremamente reduzida, sua folha quando aberta, barra o vento e impede sua entrada no ambiente, obstruindo o fluxo de ar.

Nesta tese, por se tratarem de edifícios de interesse social, onde com certeza a economia é um dos fatores mais importantes, basicamente dois tipos de esquadrias são utilizados pelas construtoras: corrediças para áreas de cozinhas, salas e quartos, e basculantes com abertura total para banheiros. Então para as cozinhas, salas e quartos computou-se a área efetiva de abertura= 50% da área da abertura e nos banheiros a área efetiva da abertura= área da abertura.

Ainda sobre o tipo de aberturas, o projetista pode incrementar o papel da esquadria se pensar num sistema que possa ser flexível ao máximo para oferecer ventilação ao usuário, principalmente em zonas de interesse (como altura do corpo).

Bittencourt e Cândido (2005) apresentam o peitoril ventilado (ver Figura 19) proposto pelo arquiteto Glauco Campelo, que obtém resultados satisfatórios principalmente quando utilizados em quartos de dormir. Usado na Universidade Federal de Alagoas- UFAL, o peitoril ventilado localiza-se abaixo das janelas complementando o movimento de ar proporcionado pelas

esquadrias e produzindo uma corrente de ar na altura das camas. Como oferece proteção contra roubo, invasão e chuvas de vento, pode ser deixado aberto a noite toda sem impedir o fluxo de ar dentro do ambiente e favorecendo portanto o resfriamento estrutural.

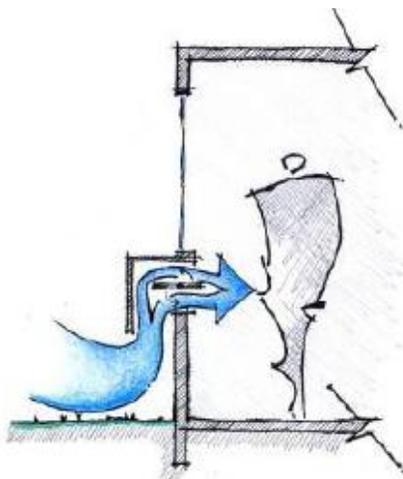


Figura 19: croqui do peitoril ventilado
Fonte: UFSC, 2013

2.3.2 Configuração espacial interna

Por fim outra variável que influencia na ventilação interna é a configuração espacial, que é resultado direto do projeto arquitetônico. É ela muitas vezes a responsável pelo posicionamento das aberturas na fachada, e ela é quem conduz o fluxo de ar desde a abertura de entrada na edificação até a abertura de saída.

Poucos autores estudaram a fundo o papel da configuração interna, porém Givoni (1976) apud Bittencourt e Candido (2005) reproduziu em desenho (Figura 20), um estudo realizado em túnel de vento, onde se discute a resposta do fluxo de ar no ambiente interno ocasionado pela distribuição espacial. Desde então este estudo tem servido de guia a muitos pesquisadores e

projetistas. Quanto mais próximo o obstáculo da abertura para a entrada de ar, menor a velocidade do vento em relação ao vento externo. Além disso, as divisórias internas acabam criando espaços onde não existe a circulação do ar e dependendo da função que este espaço terá, o conforto térmico pode ser bastante prejudicado. Somado a isto, esses obstáculos também podem interferir na iluminação natural do ambiente.

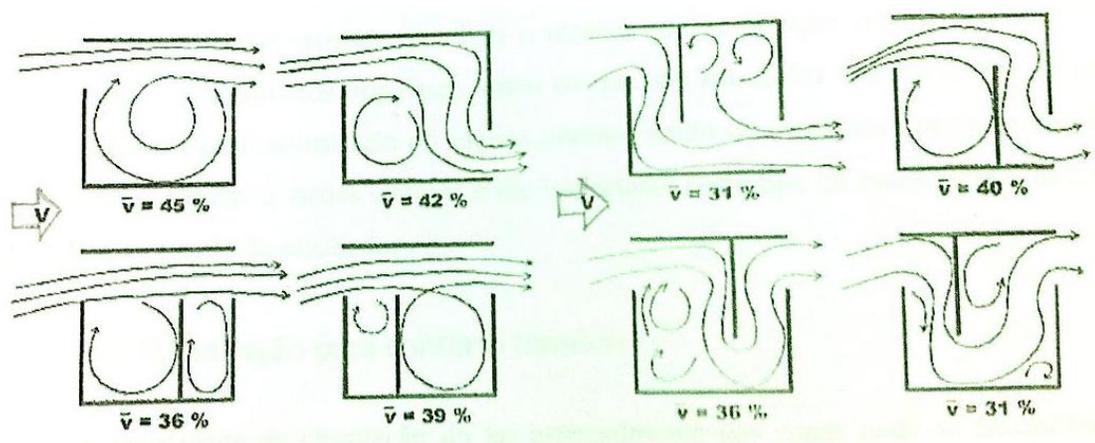


Figura 20: As divisões do espaço interno afetam a configuração do fluxo de ar.
Fonte: Givoni (1976)

Allard (1998) afirma que a distribuição horizontal (planta) dos espaços internos de um edifício deveria levar em conta principalmente a ventilação cruzada. Segundo o autor, em edifícios de apartamentos residenciais, a cozinha e banheiros deveriam ser localizados à sotavento do edifício, com aberturas grandes funcionando como saídas do fluxo de ar, que deveria vir dos ambientes localizados no lado oposto do edifício (à barlavento). Este layout traz uma boa ventilação, evitando o transporte de odores desses ambientes para os demais. Salas deveriam ser posicionadas à barlavento e expostas ao vento, já quartos não devem estar nem à barlavento nem à sotavento e sim numa posição mais protegida (Figura 21).

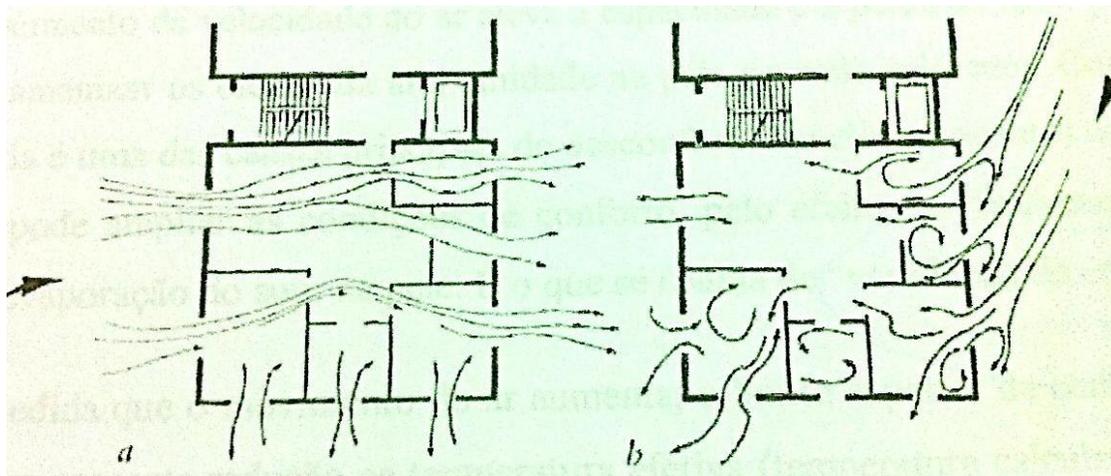


Figura 21: Ventilação cruzada em um apartamento com diferentes direções de vento incidente.
Fonte: Allard (1998)

Subdivisões do espaço interno alteram o movimento do ar reduzindo sua velocidade e dificultando a ventilação cruzada, por isso o ideal é que os espaços sejam mais fluidos possível. Porém em edifícios populares como os que são estudados neste trabalho é muito difícil conseguir essa desobstrução do espaço interno, sendo ele totalmente particionado. Por isso, a distribuição das divisões internas é tão importante neste tipo de estudo e será bastante explorada na análise dos resultados.

2.3.3 Ventilação para conforto térmico

A velocidade de circulação do ar, especialmente nas zonas onde se encontram as pessoas no interior da habitação, é uma das variáveis mais importantes do conforto térmico, quer em épocas frias, quer em épocas de calor (TOLEDO,1999). Os demais fatores ambientais que influenciam no conforto térmico são: temperatura, umidade e radiação. Além destes, os fatores pessoais como vestimenta e atividade desenvolvida modificam a resposta do ser humano ao conforto térmico. No caso do Brasil, país localizado em região tropical, a maior queixa de desconforto é provocado pelo calor. Sendo assim, a finalidade principal da ventilação dos ambientes habitados, em épocas de calor, consiste em incrementar a dissipação de calor do corpo

humano, quer por convecção, quer por evaporação, principalmente quando à alta de temperatura soma-se uma umidade relativa elevada.

O aumento da velocidade do ar eleva a capacidade e a perda de calor por convecção, o que pode amenizar os efeitos da alta umidade na pele causada pelo suor. Como a sensação de pele úmida é uma das causas principais de desconforto em climas quentes como os encontrados no Brasil, o fluxo de ar pode ampliar as condições de conforto, pelo efeito do resfriamento fisiológico trazido pela evaporação do suor na pele. É o que se chama de “ventilação de conforto”, segundo Givoni (1962).

À medida que o movimento do ar aumenta, o limite superior de conforto também se eleva e há uma aparente redução na temperatura efetiva (temperatura calculada em função da temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar, usada para avaliação do calor em ambientes). Alamar (1968) propõe que sejam adotados alguns valores de velocidade do ar no interior das edificações em períodos de inverno e verão, como mostra a Tabela 05. Velocidades do ar muito altas podem gerar incômodos aos usuários, tais como o desconforto para o frio, voar papéis, derrubar objetos, etc. Por outro lado, velocidades do ar muito baixas não conseguem ser percebidas pelos usuários sendo assim chamadas de “ar parado”. Entender o limiar entre essas velocidades do ar no ambiente interno tem sido um desafio para muitos pesquisadores.

Tabela 05: Limites de velocidade do ar interior das edificações nos períodos de inverno e verão.

Período do ano	Velocidade do ar interior (m/s)	Sensação
Inverno	<0,10	desagradável
	0,10-0,20	agradável
	>0,2	desagradável
Verão	<0,2	desagradável
	0,20-0,55	agradável
	0,55-1,10	Agradável:curta permanência
	>1,10	desagradável

Fonte: Alamar (1968)

Cândido et al (2010) discutiu sobre a aplicabilidade dos limites de velocidade do ar para efeito de conforto térmico em climas quentes e úmidos, como o da cidade de Maceió /AL. No decorrer da pesquisa os autores realizaram análise comparativa entre os valores-limite para a velocidade do ar definidos por normas internacionais (ASHRAE 55 e ISO 7730) e as respostas dos usuários em relação à preferência e aceitabilidade do movimento do ar obtidas em experimentos de campo realizados em Maceió /AL (Figura 22). Os resultados indicaram que ambas as normas indicam valores para velocidade do ar inferiores aos desejados pelos usuários. O mesmo movimento de ar, considerado inaceitável em climas frios, é desejado pelos usuários em climas úmidos. Nesse sentido, a aplicabilidade de limites máximos de velocidade do ar provenientes de estudos com características climáticas diferentes deve ser evitada.

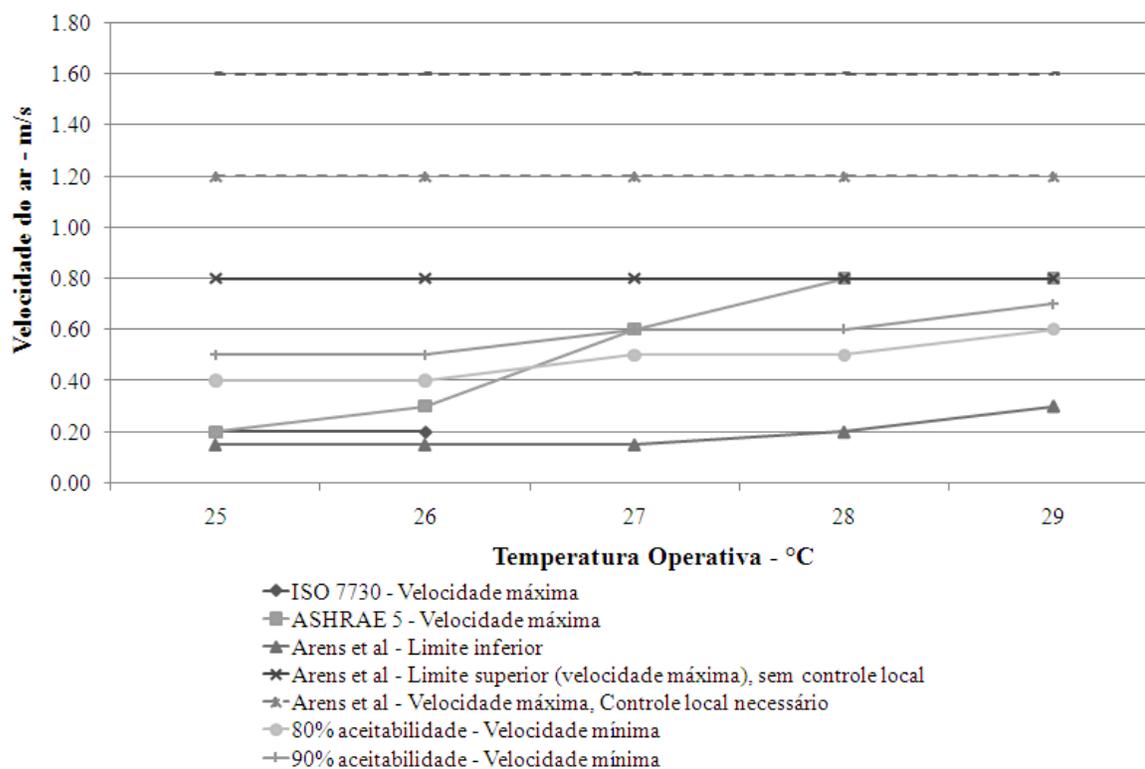


Figura 22: Gráfico dos valores encontrados para velocidades máximas de acordo com a ISO 7730, ASHRAE 44 e Arens et al. (2009) e comparação com os valores mínimas para aceitabilidade do movimento do ar de 80% e 90%

Segundo Bedford (1948) apud Toledo (1999), um mínimo de velocidade do ar, no limiar da percepção pelas pessoas, é necessário para evitar a sensação de abafamento. Esta velocidade mínima é da ordem de 0,15m/s quando a temperatura do ar é 12°C, e sobe a 0,6m/s quando a temperatura atinge 30°C. Allard (1998) observa que o limite superior recomendado do movimento do ar interno é usualmente 0,8m/s, acima desse valor, tende a incomodar pelos motivos citados anteriormente. Tal velocidade do ar - de 0,8m/s - permite manter um espaço em torno de 2°C mais quente, na umidade relativa por exemplo de 60%, e manter o conforto ótimo. Isto significa que os ocupantes podem estar em boas condições de conforto a altas temperaturas (ALLARD, 1998).

Estes limites de velocidade do ar para conforto térmico induziram a reflexão e ao desenvolvimento de uma “escala cromática” que foi usada nesta tese para melhor compreensão dos resultados. Esta escala será explicada no capítulo 4.

Outro fator de extrema importância para ventilação de conforto é a necessidade de o fluxo de ar atingir a zona de ocupação da edificação, pois de nada adianta um edifício ser bem ventilado se o fluxo de ar não atingir as pessoas que usam e ocupam os ambientes. Aqui entram então dois conceitos importantes: o fluxo de ar e as trocas de ar. O número de trocas de ar de um ambiente não necessariamente determina o padrão e velocidade do fluxo de ar. Por isso para a ventilação de conforto é o fluxo de ar que é significativo e não as trocas de ar. Ele deve atingir a zona de atividade do ambiente, sendo a melhor posição para as aberturas de entrada do ar de 0,5m a 1,5m acima do piso (REED,1953). As trocas de ar são importantes quando existem contaminantes na atmosfera que precisam ser removidos. Como não é este o foco da pesquisa, considerou-se fluxo de ar como o fator mais importante a ser trabalhado nos resultados. Além disso, adotou-se nesta tese, a altura de 1,5m acima do piso como altura para aferição da velocidade do ar interna, pois além de estar na zona de atividade do usuário também corresponde a zona mediana de respiração do ser humano. Sendo assim, neste trabalho foram analisadas as velocidades do ar internas, na altura mencionada de 1,5m acima do piso, no primeiro (correspondente ao térreo), terceiro e quinto pavimentos.

2.3.4 Normas sobre ventilação natural

A ventilação natural era referenciada de forma genérica nos códigos de obras e edificações, que se baseiam em áreas mínimas de janela relacionadas às superfícies habitadas. Este critério sempre foi bastante contestado. Muitos autores propõem que as normas deveriam ter base no número de renovações de ar necessárias a cada ambiente. Neste caso seriam considerados a ocupação, as atividades desenvolvidas, critérios de qualidade do ar, entre outros.

A carência de uma documentação normativa mais eficaz e de material simplificado e objetivo sobre “cuidados” em projetar habitações, para que os projetistas se orientem, leva ao desenvolvimento de edificações inadequadas (PRATA, 1998). Como exemplo, o código de obras da cidade de Campinas (1989) dispõe, de forma generalizada, as questões de insolação, ventilação e iluminação. Em relação a ventilação natural, apenas os seguintes capítulos demonstram alguma preocupação com a questão:

- 2.3.4- Ventilação das cozinhas, copas e despensas;
- 2.3.5- Ventilação dos compartimentos sanitários;
- 2.3.6- Condições especiais de insolação, ventilação e iluminação;
- 2.3.7- Áreas mínimas das aberturas.

As áreas mínimas de aberturas propostas pelo Código de Obras são as seguintes:

1. 1/8 (um oitavo) da área útil do compartimento, quando voltada para logradouro, área da frente ou área de fundo;
2. 1/7 (um sétimo) da área útil do compartimento, quando voltada para corredores;
3. 1/6 (um sexto) da área útil do compartimento, quando voltada para espaço livre;
4. Em qualquer caso será respeitado o mínimo de 60dm² (sessenta decímetros quadrados).

Parágrafo único. No mínimo metade das áreas fixadas neste artigo deverão ser destinadas à ventilação.

Concordando com Prata (1998), trata-se de um código prescritivo e por isso deficiente em relação a questões tão importantes como insolação, ventilação e iluminação. Assim, aumenta ainda mais a responsabilidade do projetista em definir adequadamente parâmetros como dimensionamento, tipologia e posicionamento de aberturas, os quais são responsáveis diretos por estas questões.

Poucos trabalhos brasileiros tratam da normalização da ventilação natural de edifícios. O documento do Banco Nacional da Habitação- extinto BNH-, elaborado pela fundação Prefeito Faria Lima em 1981, que estabelece diretrizes gerais de desempenho dos edifícios, condições para implementação e componentes do edifício pode ser considerado pioneiro nesta linha.

Na última década, o Programa de Tecnologia de Habitação- Habitare, financiado pela FINEP, reuniu especialistas nas áreas de desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações em um amplo projeto de normalização. Depois de muitas discussões, revisões, reuniões virtuais e presenciais, os textos de desempenho térmico e iluminação foram publicados pela ABNT com validade desde 30/05/2005.

A norma brasileira instituída em 2003, NBR 15220- Desempenho térmico de edificações, estabelece as definições e os correspondentes símbolos e unidades dos termos relacionados com o desempenho térmico de edificações, além de métodos de cálculo das propriedades físicas dos materiais, um zoneamento bioclimático brasileiro com diretrizes construtivas para habitações de interesse social, e métodos de medição de resistência e condutividades térmicas.

Na parte 3, onde se estabelece o Zoneamento Bioclimático (Figura 23) e as diretrizes que devem ser adotadas para cada zona, inclui-se um item “aberturas para ventilação”.

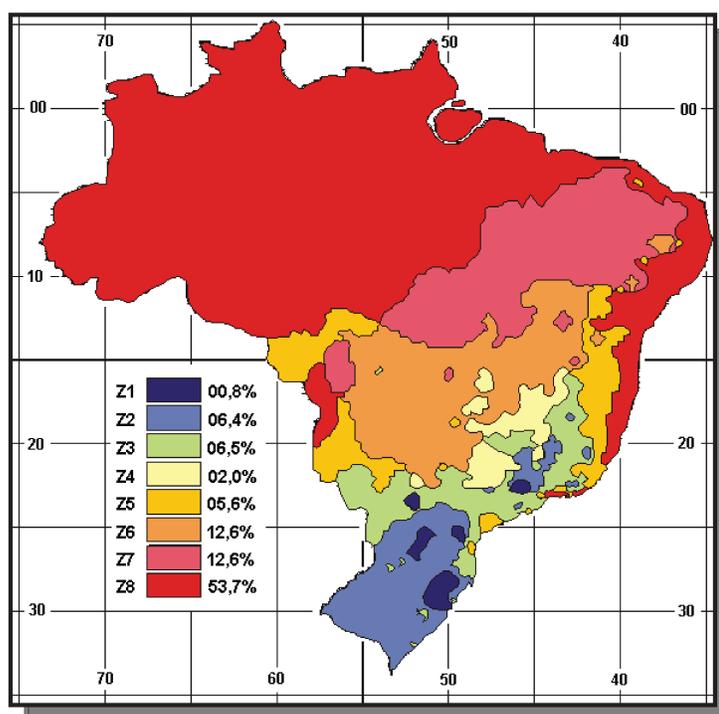


Figura 23: Zoneamento Bioclimático brasileiro proposto pela NBR 15220.
Fonte:UFSC,2012.

Quanto ao zoneamento bioclimático, este evidencia a importância da ventilação natural para nosso clima quente, pois das 8 zonas bioclimáticas existentes no Brasil, indica-se ventilação natural em alguma época do ano em pelo menos 7 zonas. Na zona bioclimática 8 que cobre a maior parte do território nacional, indica-se ventilação natural permanente como estratégia projetual. Nas zonas 2, 3 e 5 a norma indica ventilação natural na época do verão³. Nas zonas 4, 6 e 7 indica-se ventilação seletiva (em períodos quentes, nos quais a temperatura interna seja superior à externa). Em outras palavras, no Brasil, a ventilação natural deve ser priorizada pelo projetista, de preferência ainda na fase de projeto, para que se possam ter edificações mais adaptadas ao clima.

³ A cidade de Campinas/SP está classificada na NBR 15220-3 como pertencente a zona bioclimática 3.

Por reconhecer esta importância, ainda na parte 3 desta norma, são indicadas algumas proporções de aberturas para ventilação. Nela aparecem as seguintes classificações por tamanho de aberturas: grandes, médias e pequenas. Estas nomenclaturas correspondem respectivamente a 40%, de 15 a 25% e de 10 a 15% da área do piso do ambiente. No caso de Campinas, zona bioclimática 3, sugere-se aberturas de tamanho médio (de 15 a 25% da área do piso).

Se por um lado houve uma evolução quanto à normativa brasileira reconhecendo a importância da ventilação natural e até fornecendo indicações sobre tamanho de abertura, por outro questiona-se se esse parâmetro de balizamento - área do piso - é mesmo eficaz. Além disso, a norma não é clara quanto ao que considera “abertura”: se é área efetiva de passagem do ar ou se é área da esquadria. Assim, dá margem as duas interpretações e nisso se apoiam muitas construtoras quando decidem por usar a área da esquadria e não área efetiva de passagem de ar, como acontece nos estudos de caso que serão descritos nos próximos capítulos.

2.4 Simulação computacional para estudos de ventilação natural

Pode-se realizar predição da ventilação natural por ação dos ventos através de muitos métodos. Para Costa (2009) sua escolha deve se basear na importância da ventilação natural para o projeto, sua localização, tipologia, além, evidentemente da disponibilidade de recursos humanos e materiais. Brown e Dekay (2004) destacam que o fluxo de ar tem comportamento semelhante a um fluido, como a água, e que é possível visualizar o fluxo do vento usando os seguintes princípios:

- a) A velocidade do vento diminui a medida que se aproxima da superfície da terra em função do atrito causado pela irregularidade do terreno;
- b) O ar continua movendo-se na mesma direção quando encontra um obstáculo, da mesma forma que a água flui ao redor de uma rocha;
- c) O ar flui de áreas de alta pressão para áreas de baixa pressão.

Segundo Toledo (1999) praticamente todo o conhecimento científico sobre a ação dos ventos nos edifícios foi proveniente de ensaios de modelos em túneis aerodinâmicos. Os ensaios de túnel de vento podem ser feitos com diversas finalidades, entre as quais: verificação do efeito do vento entre as edificações no meio urbano, análise da ventilação no interior das edificações, determinação do coeficiente de pressão em cada fachada, análise estrutural dos edifícios frente à ação do vento, entre outros.

Para realização desses ensaios em túnel de vento ou de experimentos com mesa d’água, que é outro tipo de ferramenta de predição da ventilação natural, são necessários modelos físicos dos objetos de estudo para realização do procedimento. A escala desses modelos deve ser a maior possível para facilitar a reprodução dos detalhes das aberturas. Ainda assim a visualização do fluxo é bastante limitada e a complexidade dos ensaios restringe sua utilização. Além disso, estas ferramentas não estão ao alcance de todos os projetistas, sendo privilégio de poucas universidades.

Os túneis aerodinâmicos são uma ferramenta eficiente para que o projetista se familiarize com a interação existente entre os ventos locais, os elementos naturais e os elementos construídos no entorno do sítio onde se pretende intervir. Contudo, raramente esse recurso pode ser empregado nos estudos preliminares de um projeto impedindo que grande parte dos profissionais tenha conhecimento do real comportamento deste recurso natural (COSTA, 2009).

No entanto, a dinâmica de fluidos computacional, mais conhecida pela sigla CFD (Computer Fluid Dynamics) permite estudar o escoamento de fluidos com transmissão de calor ou transporte de massa, mudança de fase, reações químicas, movimentos mecânicos e tensões entre outros. Os programas são baseados na modelação matemática para simulação do comportamento térmico e escoamento dos fluidos (LEITE, 2010).

Diferentemente de ensaios em túneis de vento ou experimentos com mesa d'água, os CFD's se utilizam de modelos tridimensionais virtuais para simulação da ventilação natural. Segundo Costa (2009) no caso da arquitetura, principalmente no interior dos edifícios, cada vez mais a simulação computacional vem sendo empregada nos estudos acadêmicos e na prática profissional, inclusive em caráter obrigatório em alguns países europeus e da América do Norte, na busca da eficiência energética das edificações.

Assim, a simulação computacional vem sendo utilizada, cada vez mais, com o objetivo de prever problemas que possam ocorrer em relação à ventilação natural e como resolvê-los antes que eles aconteçam. Porém é necessário um conhecimento especializado devido a grande complexidade desses softwares para que as simulações sejam feitas e, mais do que isso, sejam interpretadas corretamente, além, evidentemente do alto custo destes programas.

Simulações com CFD's proporcionam uma análise quantitativa e qualitativa do desempenho de ventilação natural em etapas anteriores e posteriores ao projeto. Os softwares CFD's baseiam-se em equações de transporte solucionadas em todos os pontos de uma malha em duas ou três dimensões (SANTAMOURIS, WOUTERS, 2006).

No Brasil, o uso de ferramentas computacionais para análise do desempenho de edificações em espaços urbanos é uma prática relativamente nova, apesar de já estar sendo explorada há mais de 30 anos na Europa. No entanto, estudos relevantes já foram desenvolvidos em importantes universidades nacionais que focalizam o estudo da ventilação interna usando CFD's para questionar variáveis como localização e tamanho de aberturas, que são também muito importantes na tese em questão.

Toledo (1999) questionou o critério de dimensionamento das aberturas sugerido pelo IBAM/PROCEL 1997 através de simulação computacional realizada com o software VENTIL.FOR-85. Ele simulou 5 modelos de aberturas de dormitórios, levando em consideração a velocidade do vento, os coeficientes de pressão e as resistências nas aberturas, descartando a

variação da temperatura para simplificação dos cálculos. Os resultados mostraram que os critérios geométricos adotados para aberturas que se baseiam na área do piso, sem considerar os fatores externos e do edifício, não são adequados para o caso de Maceió.

Bittencourt e Lôbo (1999) apresentaram um trabalho sobre a influência da localização das aberturas na ventilação natural interna de edificações escolares. Foram realizadas simulações utilizando o programa PHOENICS 2.2.2 e por meio de resultados, observou-se que, quando as aberturas de entrada do fluxo de ar se encontram na faixa média de altura acima do piso e as aberturas de saída do fluxo de ar se encontram na faixa alta, associadas a uma maior dimensão das aberturas, obtém-se um melhor padrão de circulação do ar no interior do ambiente. Assim os autores concluíram que a localização das aberturas exerce maior influência sobre a ventilação interna nas salas de aula do que a variação das dimensões das aberturas.

Por outro lado , Akutsu et al (1998), utilizaram o programa ESP-r (Energy Simulation Program- research) para análise das condições de ventilação natural de uma edificação para condições típicas de verão da cidade de São Paulo e mostrou o quanto a ventilação de uma habitação pode ser prejudicada no caso de um mau posicionamento em relação a incidência dos ventos. Para a autora a distribuição das janelas na fachada é um parâmetro fundamental na qualidade do ar interior dos ambientes de um edifício.

Ainda relativo à habitação, Bittencourt e Lôbo (2003) realizaram simulações computacionais com o software PHOENICS 3.2 e verificaram que o uso de captadores de ventos pode gerar um aumento significativo da velocidade do fluxo de ventilação natural em alguns ambientes da edificação (habitação popular) sem custos adicionais relevantes.

Torres et al (2006) comparou diferentes arranjos construtivos de três conjuntos habitacionais com o uso de CFD. Neste trabalho estudou-se o clima urbano e o desempenho térmico das edificações de interesse social. Obtendo, como principais resultados, os indícios da

influência da configuração do arranjo construtivo na definição da qualidade térmica das edificações.

Cóstola (2006) formulou um procedimento para quantificação de vazão do ar promovida pela ação do vento no interior do edifício em climas quentes. Diversas ferramentas foram apresentadas detalhadamente, como o uso do túnel de vento, a simulação com CFD, juntamente com os parâmetros de entrada necessários. Em sua conclusão o autor destaca a disponibilidade de um conjunto de ferramentas para predição da ventilação natural no interior das edificações, mas lembra que cabe ao projetista o uso criterioso destes recursos no projeto arquitetônico.

Dentre os vários tipos de CFD's existentes no mercado, muitos trabalhos foram e estão sendo desenvolvidos com o ANSYS CFX, software usado nesta tese, também com o intuito de simulações computacionais para predição da ventilação natural.

Prata (2005) iniciou uma sequência de pesquisas realizadas com CFX que muito contribuíram para divulgação e aplicação deste software especificamente. Em seu trabalho, Prata (2005) combinou a realização de estudos em túnel de vento e simulação da ventilação com CFX para determinar os impactos da ocupação da orla da cidade de Santos, onde a especulação imobiliária verticalizou sobremaneira edifícios, sobre o conforto do pedestre e condições ambientais urbanas. Considerando que as condições de ventilação sofrem alteração segundo a altura e posição dos edifícios, a autora conclui que para a melhoria do clima urbano é imprescindível o aumento das distâncias entre edificações como forma de aumentar a permeabilidade do vento em meio urbano.

Figueiredo (2007) avaliou a possibilidade do uso de ventilação natural para conforto térmico em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo. A autora definiu um modelo que melhor representa os edifícios de escritórios de SP e o índice de conforto. Usou o software Energy Plus para conhecer o desempenho térmico da edificação e o CFX para avaliação detalhada do fluxo de ar interno. A autora concluiu que as melhores orientações para uso da

ventilação natural isolada neste caso são Sudeste e Sul. Há boa distribuição de ar interno e a ventilação natural pode atuar sozinha para conforto térmico dos usuários, contrariando o uso de ar condicionado que vem sendo usado atualmente.

Analisando o impacto da verticalização de trechos da orla sobre a ventilação natural no interior da malha urbana, Leite (2008) investigou a elevação do gabarito das edificações junto à avenida litorânea de São Luís, no Maranhão. Através da confecção de cenários de ocupação do solo permitidos pelas normas urbanísticas e submetidos à simulação computacional com CFX, a autora avaliou os padrões de velocidade e direção do vento e pressão no nível do pedestre, concluindo que os cenários de verticalização propostos para a avenida influenciam significativamente os padrões de vento predominante sobre as quadras estudadas.

Costa (2009) analisou a ventilação natural no interior de edificações multifamiliares residenciais na cidade de Aracaju SE através do uso da simulação computacional com o CFX. Após analisar a situação existente, a autora propôs alterações no projeto original para melhorias na ventilação interna e nas condições térmicas do ambiente interno. A autora comparou o modelo do apartamento existente com 8 modelos gerados mudando: posição, dimensionamento e tipologia de aberturas, bem como a distribuição espacial interna. A autora concluiu que a posição e tipologia das esquadrias influenciaram mais na distribuição do fluxo de ar interno do que o dimensionamento da abertura e a configuração interna.

Leite (2010) estudou a influência da alteração nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural, com estudo de caso em parte dos bairros Parque Iracema e Cambéba, na cidade de Fortaleza/CE. O setor sudeste desta cidade experimenta um processo de expansão urbana vinculado ao mercado imobiliário, que intensificando a sua ocupação e alterando os padrões de uso do solo através da verticalização e do adensamento construtivo permitidos pela legislação urbana. Foram confeccionados modelos virtuais de três cenários de ocupação: situação atual, ocupação máxima permitida e uma proposta intermediária. Foram realizadas simulações computacionais da ventilação natural nos três cenários através do ANSYS CFX. Os resultados

indicaram o comprometimento das condições de ventilação na região posterior do cenário de máxima ocupação permitida pela elevação no gradiente de vento. No nível local a maioria dos pontos de comparação inseridos no modelo de máxima ocupação indicou melhores condições de ventilação na altura das edificações em relação ao modelo intermediário, resultado da diminuição da taxa de ocupação.

Assim como os demais, a presente tese utiliza-se do CFX para predição da ventilação natural. Todos os passos para simulação computacional da ventilação natural usando este programa serão explícitos posteriormente no capítulo 4.

3 CONTEXTUALIZAÇÃO

Este capítulo tem por objetivo dar um rápido panorama acerca da evolução da Habitação de Interesse Social – HIS no Brasil, com ênfase na região Sudeste (cenário dos objetos de estudo) chegando ao contexto do atual programa habitacional do governo federal intitulado “Programa Minha Casa Minha Vida”- PMCMV. Em seguida explica, dentro do universo deste programa, quais os critérios de escolha adotados para selecionar os empreendimentos usados como estudos de caso nesta pesquisa.

3.1 Habitação de Interesse Social : breve histórico (região Sudeste)

O desenvolvimento das iniciativas oficiais no provimento de habitações para a população de baixa renda no Brasil pode ser dividido em três fases, de acordo com os órgãos financiadores (SANVITTO, 2010). Para Bruna (2010) a primeira delas, o período pré-BNH, marcou o início da intervenção estatal através da experiência dos Institutos de Aposentadoria e Pensões – os IAPs; a Fundação da Casa Popular – FCP, instituída em 1946, que se constituiu a primeira iniciativa de âmbito nacional voltada unicamente à população de baixa renda e o Departamento de Habitação Popular– DHP, órgão da Prefeitura do então Distrito Federal.

A segunda fase se definiu em 1964 com a implantação do Banco Nacional de Habitação – o BNH, e a terceira, o período pós-BNH, teve início com a extinção do banco em 1986, desarticulando o programa habitacional no país, restando aos estados e municípios a busca de alternativas para tratar de sua carência de habitações.

A primeira fase é onde começa realmente a história da habitação social no Brasil. Com a revolução de 1930, o governo de Getúlio Vargas iniciou um processo de modernização e integração no país. Segundo Bruna (2010) uma das primeiras providências do Estado Novo foi assumir a responsabilidade pelo provimento de habitações adequadas para as classes trabalhadoras, e os fazia através dos Institutos de Aposentadorias e Pensões- IAP’s.

As iniciativas em habitação social, fomentadas pelos IAPs, FCP ou DHP eram designadas como *conjuntos residenciais*. No que se referia à qualidade física, estes empreendimentos construídos por estas instituições deixavam transparecer com clareza as diretrizes do movimento moderno provenientes dos arquitetos e administradores que trabalharam nesses projetos. Segundo Bruna (2010) os projetistas de habitação desta época estavam totalmente familiarizados com os principais problemas a enfrentar, isto é, a economia pelo uso racional dos materiais padronizados, através da construção em série e pela redução da área sem prejuízos das condições de habitabilidade e salubridade. Em São Paulo especificamente, com relação à área mínima, estas eram reduzidas ao mínimo compatível com as exigências dos códigos estaduais e municipais (no caso, o Código Sabóia de 1929).

Dentre as publicações desta época destaca-se a única realizada no Brasil, o livro do arquiteto Rubens Porto, publicado em 1938. Este engenheiro e arquiteto, também assessor técnico do Conselho Nacional do Trabalho, órgão do Ministério do Trabalho ao qual estavam ligados todos os IAPs, defendia uma “maior intervenção do estado na questão da habitação”. Bruna (2010) enfoca que este livro talvez seja o primeiro trabalho sistemático a estabelecer diretrizes para projetos de conjuntos habitacionais a serem implementados pelo poder público. O problema

é que estas diretrizes estavam orientadas para região sudeste, sendo muitas vezes recomendações específicas para o Rio de Janeiro, o que excluía todo o resto do país.

No artigo que discute a produção dos IAP's deste período, Bonduki et al (2003) destacam cinco tipologias de porte médio (mesmo porte dos edifícios estudados nesta tese), que marcaram esta época no Brasil:

- 1) Os blocos compostos por uma caixa de escada para cada duas unidades. Foi o modelo mais frequente, contando variações no pavimento térreo e nas implantações compostas por unidades isoladas e/ou conjugadas. Um dos exemplos desta tipologia foi o conjunto residencial Realengo, que correspondia a 2347 unidades habitacionais dispostas em blocos, construído no Rio de Janeiro em 1940, como mostra a Figura 24. O livro publicado em Nova Iorque, *Brazil Builds- Architecture New and Old*, dedica uma atenção especial a este projeto, segundo Bruna (2010). Em particular comenta sobre a solução para a circulação dos blocos de quatro pavimentos que são as galerias abertas, para as quais abrem-se apenas as janelas altas de cozinhas e banheiros, uma solução apontada pelo autor como ideal para o clima brasileiro, pois confere a cada apartamento uma completa ventilação cruzada.

Analisando-se a planta, observa-se que os apartamentos possuíam 3 quartos, sala, cozinha, área de serviço e banheiro, além de uma pequena varanda. Certamente havia uma área mínima, porém diferente do que é praticado atualmente. Além disso, observa-se o uso do pilotis, o que também favorecia a ventilação como um todo.

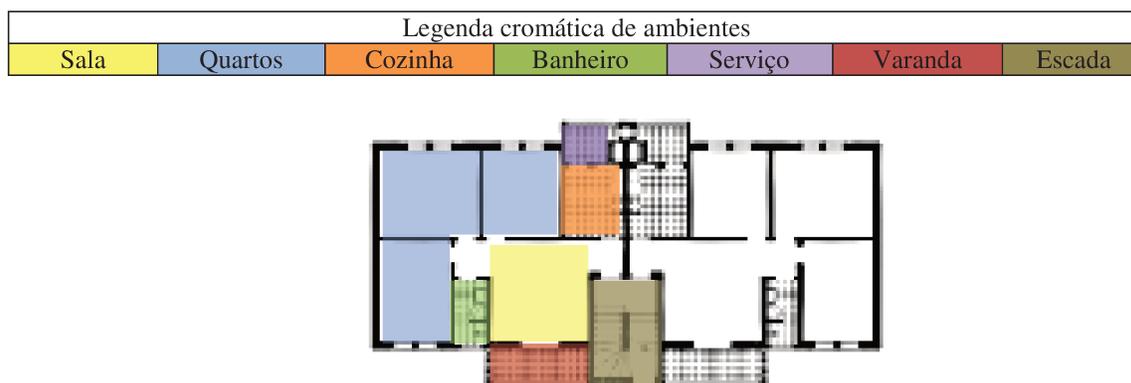


Figura 24: Planta Baixa do conjunto residencial Realengo.
Fonte: Bonduki et al, 2003.

- 2) Os blocos “H” com uma caixa de escada para quatro unidades. Embora menos frequente que o primeiro, também foi amplamente adotado, principalmente na década de 50, constituindo uma espécie de transição para o BNH. Esta tipologia continuou muito presente na época do BNH e ainda é frequentemente usada, por exemplo nos conjuntos do CDHU. Sua vantagem está em atender o dobro de unidades do modelo anterior, com a mesma caixa de circulação vertical. O problema ocorre na orientação dos blocos, que ao privilegiar um dos lados com a melhor insolação, necessariamente prejudicará o outro. Um dos exemplares desta tipologia, apontado por Bonduki et al (2003), é o conjunto residencial Cachambi, construído no Rio de Janeiro na década de 50 que possui 1054 unidades habitacionais em blocos como mostra a Figura 25.

Observa-se pela planta, a existência de 3 quartos por unidade habitacional, além de cozinha, área de serviço, sala, banheiro e uma pequena varanda. Embora seja a mesma tipologia do estudo de caso 1, que será analisado nesta tese, observa-se uma grande diferença entre esta tipologia desta época e a tipologia de hoje. Primeiramente quanto a disposição dos ambientes em planta, a tipologia de hoje não apresenta pilotis nem varanda. Além disso, a área da unidade habitacional em si na tipologia “H” de hoje é bem

mais reduzida. Por estes detalhes percebe-se que anteriormente este tipo de habitação atendia preceitos mais humanizadores do que se utiliza hoje em dia.

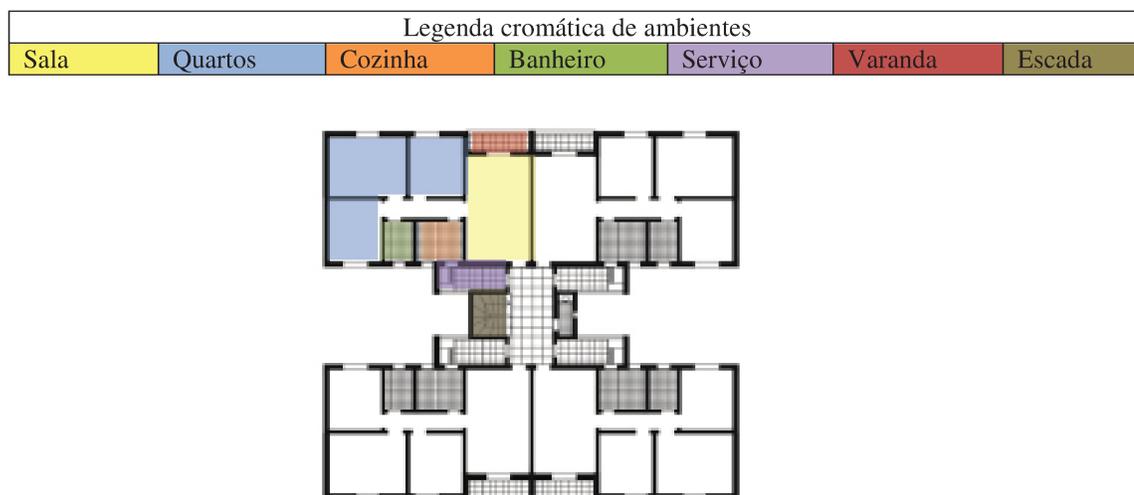


Figura 25: Planta Baixa e implantação do conjunto residencial Cachambi, construído pelos IAPs.
Fonte: Bonduki et al, 2003.

- 3) Blocos Laminares. Baseado no modelo da unidade de habitação de Marselha, projetada por Le Corbusier, resulta na disposição das unidades que são acessadas por um único e grande corredor coletivo. O principal exemplar desta tipologia é o conjunto residencial Pedregulho, construído em 1945 no Rio de Janeiro que possui 478 unidades habitacionais. Este projeto do arquiteto Affonso Eduardo Reidy é uma das obras desta natureza mais citadas em literatura especializada, como um exemplo de arquitetura de qualidade.

Observa-se pelas plantas, mostradas na Figura 26, que existem apartamentos de um dormitório e apartamentos duplex, onde no piso inferior localiza-se sala, cozinha e banheiro. No piso superior, localizam-se dois quartos e um banheiro. A implantação deste conjunto foi feita num terreno onde o declive foi aproveitado para que um bloco não tomasse a vista/ventilação do outro. A posição das aberturas associada ao uso de corredor marginal propicia o uso da ventilação natural cruzada de forma eficiente. Soluções como estas marcam a diferença entre as obras desta época e as que são construídas nos dias

atuais. Por exemplo, a tipologia 3 estudada nesta tese, que será apresentada ainda neste capítulo, se constitui numa espécie de bloco laminar. No entanto, se utiliza de um corredor central fechado, que ao fechar a porta de entrada do apartamento, perde-se toda a possibilidade de ventilação cruzada. Além disso, a perda da varanda e do pilotis também influenciam no conforto e ventilação das unidades habitacionais. Essas são soluções adotadas pela arquitetura atual de Habitação de Interesse Social que são totalmente discutíveis e deveriam ser revistas pelo poder público.



Figura 26: Conjunto residencial Pedregulho (Planta Baixa de apartamento tipo duplex (a) e apartamento de um dormitório (b))
Fonte: arquitetura moderna no brasil, 2013

- 4) Blocos com pátio central. Solução adotada apenas no Conjunto residencial de Lagoinha, em Belo Horizonte-MG, de autoria do Eng. White Lírrio da Silva com 928 unidades habitacionais. O aproveitamento interno dos blocos deixa muito a desejar, gerando espaços perdidos e grande área de circulação (Figura 27). Talvez por isso não tenha sido reproduzidos em outros conjuntos e muito dificilmente seria uma solução adotada no contexto atual. Além disso, requer mais área dentro de lote.

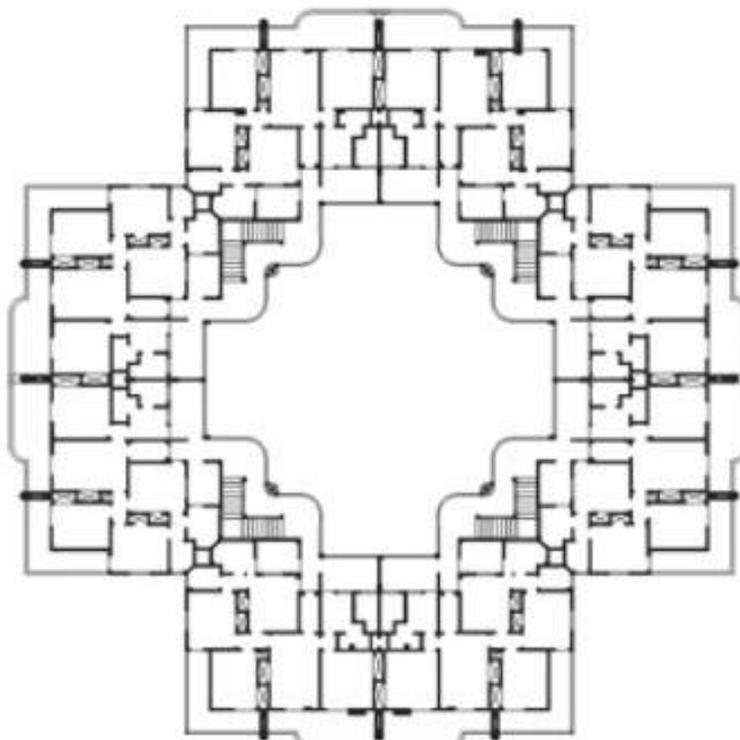


Figura 27: Planta Baixa do conjunto residencial Lagoinha, construído pelos IAPs.
Fonte: Bonduki et al, 2003.

- 5) Blocos em “Y”. Uma variação do esquema dos Edifícios cartesianos, de autoria de Le Corbusier para Paris. Este esquema permite o aumento da superfície livremente ensolarada e ventilada, aliando a isso economia de circulação vertical, pois uma caixa de escada pode atender até 6 unidades habitacionais sem corredores internos. Porém temos um único exemplar desta tipologia que é o conjunto Areal (construído em 1950) de

autoria do engenheiro João Carlos Vital no Rio de Janeiro que possui 600 unidades habitacionais dispostas em blocos, como mostra a Figura 28.

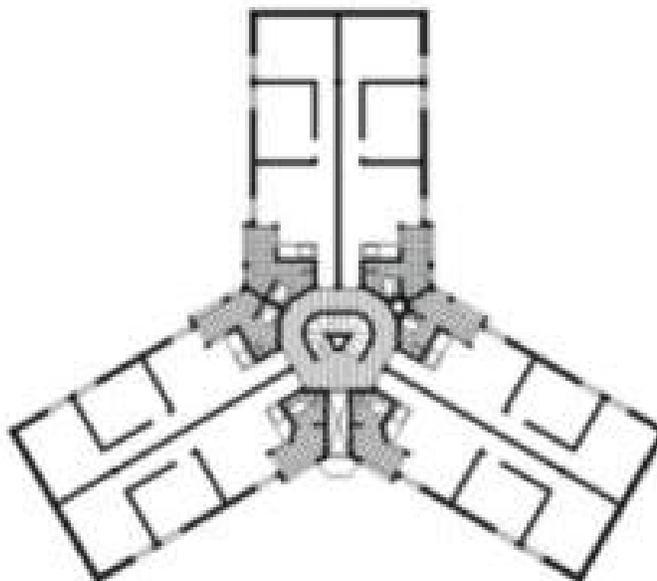


Figura 28: Planta Baixa e fachada do conjunto residencial Areal.
Fonte: Bonduki et al, 2003.

Em síntese, fica evidente que se produziu no Brasil desde a década de 30, construções com preocupações verdadeiramente sociais, diferentemente do que é produzido nos dias de hoje. No entanto, segundo Bonduki (2000) a historiografia da arquitetura brasileira, até recentemente, tem praticamente ignorado a produção de habitação social e econômica deste período, com exceção dos dois conjuntos Pedregulho (1947) e Gávea (1952) de Affonso Eduardo Reidy, os quais são constantemente citados por vários autores como se fossem os únicos representativos desta época.

Sobre a transição entre a primeira e segunda fase da História da Habitação Social no Brasil, a partir dos anos 50, os IAPs foram perdendo força criativa e cederam espaço a projetos cada vez mais padronizados, uniformes e empobrecidos do ponto de vista da arquitetura, renunciando o que viria a ser mais tarde a base da produção do Banco Nacional de Habitação-BNH, criado em 1964 (BRUNA, 2010).

Durante o seu período de atuação, entre 1964 e 1986, o BNH concedeu financiamentos habitacionais em escala sem precedentes no Brasil. O que antes era chamado de conjunto residencial passou a ser designado de *conjuntos habitacionais*. Os *conjuntos habitacionais* ocuparam vazios urbanos e expandiram a periferia das grandes e médias cidades. Segundo Sanvitto (2010), tais conjuntos eram formados de pequenas casas em lotes privatizados, ou por blocos de apartamentos implantados numa área coletivizada, em sua maioria sem elevador ou *pilotis*. Esta produção gerou muitas críticas onde foram apontados problemas como qualidade da execução, falta de infra-estrutura e afastamento em relação aos centros urbanos, o que talvez tenha afastado as discussões arquitetônicas desta temática.

A criação do BNH, em 1964, trouxe uma disponibilidade financeira para o suprimento do *deficit* habitacional sem precedentes no Brasil. A grande maioria dos conjuntos executados, no entanto, não atingiu a mesma qualidade arquitetônica do período anterior, conforme a autora. Sobre os conjuntos habitacionais do período de atuação do BNH, comentou Bonduki (2000):

“..caracterizam-se, em geral, pela monotonia de sua arquitetura; pela ausência de relação com o entorno; por sua localização periférica, estendendo horizontalmente as cidades; pela despreocupação com a qualidade dos projetos e com o meio físico, resultando na depredação ambiental; ...” (BONDUKI, 2000).

Embora tenha qualidade discutível segundo muitos autores, o BNH teve na década de 70 o período de atividade mais intensa. Segundo Sanvitto (2010), os anos 70 correspondem no Brasil ao predomínio na Escola Paulista, com a variante do Brutalismo como tendência ainda moderna, e a forte influência da concretização da cidade moderna em Brasília. Desta forma, o Conjunto Habitacional Padre Manoel da Nóbrega, em Campinas/SP, projetado entre 1973 e 1974 pelos arquitetos Joaquim e Liliana Guedes, é um exemplar da arquitetura deste período.

O projeto das edificações partiu da concepção de uma fita simples com quatro apartamentos por andar, alinhados, junto à circulação horizontal em galeria aberta e servida por caixa de escada, também sem compartimentação, situada no extremo de cada um destes conjuntos. As unidades habitacionais são iguais, com área compacta de 40m², onde os arquitetos sugerem duas soluções de layout que se diferenciam pelo acréscimo de mais um cômodo, mantendo a mesma área (Figura 29). Neste conjunto, o térreo já é ocupado com apartamentos, não existindo pilotis. A área de serviço individual não existe, dando lugar a uma lavanderia coletiva. Esta foi uma solução incomum, com precedência apenas na proposta de Affonso Eduardo Reidy para o Conjunto Marquês de São Vicente (Gávea/RJ). Observa-se na volumetria, mostrada na Figura 30, que a tipologia começa a se assemelhar aos conjuntos que são construídos atualmente.

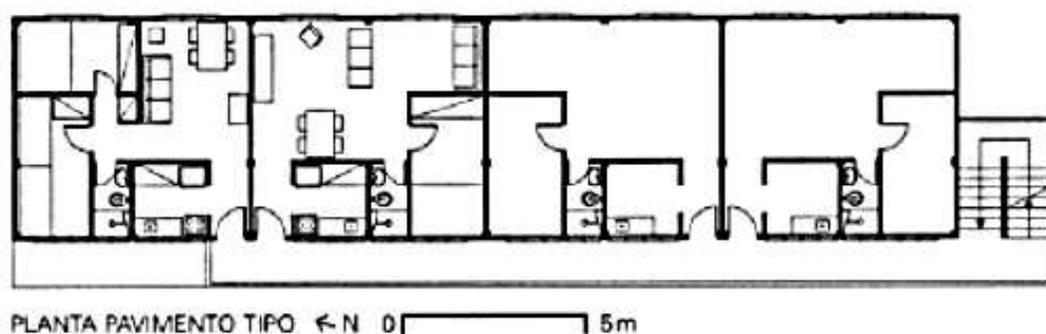


Figura 29: Planta pavimento tipo e cobertura do edifício conjunto Habitacional Padre Manoel da Nóbrega
Fonte: docomomo,2012.



Figura 30: Fotos do conjunto Habitacional Padre Manoel da Nóbrega
Fonte: docomomo,2012.

Como sinal do início do processo de revisão da postura governamental frente ao problema habitacional, ainda no final da década de 1970, foram implementados alguns "programas alternativos" que buscavam incorporar a autoconstrução atuando também na urbanização de favelas. Esta revisão buscava se antecipar a uma crítica da sociedade brasileira com relação à política habitacional vigente. A Casa embrião e a autoconstrução foram implementados devido ao descontentamento com imóveis pequenos fazendo surgir um modelo mais ágil. O morador recebia parte da casa do governo, com potencial para ampliá-la. O regime de mutirão fez avançar programa e gerava até 3 empregos por moradia. Comunidades erguiam casas maiores e mais baratas. Porém, a pressão de empreiteiras inviabilizou programa. Na primeira metade da década de 1980, os programas alternativos de urbanização de favelas já começavam a se consolidar dentro do BNH, quando a instituição foi afetada pela forte crise financeira internacional e pelo debate contra as práticas autoritárias da ditadura, ocorreu um processo de fragmentação institucional interno que culminou com a sua extinção em 1986 (SANVITTO,2010).

O vácuo deixado pela extinção do BNH teve efeito devastador tanto no financiamento de programas e projetos quanto na construção de referências, que só foram substituídas gradativamente no final da década de 1980 e ao longo da década de 1990, por iniciativas de programas habitacionais e de urbanização de favelas, por parte das administrações municipais.

3.2 Programa “Minha Casa Minha vida”

Lançado pelo governo federal brasileiro em Março de 2009¹, o “Programa Minha Casa Minha Vida”- PMCMV (Figura 31) tem como finalidade criar mecanismos de incentivo à produção e à aquisição de novas unidades habitacionais pelas famílias de três faixas de renda: de

¹ Criado pela Medida Provisória 459, de 25/03/2009, convertida na Lei 11.977, de 07/07/2009.

0 à 3 salários mínimos (maior foco do governo); de 3 à 6 salários mínimos e de 6 à 10 salários mínimos (menor quantidade).



Figura 31: Publicidade oficial do PMCMV.
Fonte: Cartilha PMCMV, CAIXA, 2012.

O PMCMV é considerado como “uma das principais ações do governo, do então presidente Luís Inácio Lula da Silva, em reação à crise econômica internacional, ao estimular a criação de empregos e de investimentos no setor da construção e também como uma política social em grande escala”². Um dos mais fortes argumentos do governo a favor do programa MCMV é a real possibilidade da redução do déficit habitacional brasileiro, estimado em 2009 em quase 7 milhões unidades habitacionais, sendo 18,11% do déficit concentrado nas três maiores regiões metropolitanas brasileiras.

Para tentar diminuir o déficit habitacional, o governo federal anunciou na primeira fase do Programa MCMV a construção de até um milhão de moradias, porém na segunda fase do programa já anunciou expansão da meta para 2,4 milhões de moradias até 2014. O governo prevê que vai investir cerca de R\$ 34 bilhões no programa, considerando o subsídio às habitações, o fundo garantidor do programa, com o seguro aos financiamentos do FGTS, com o

² ARANTES, P. F.; FIX, M. “Como o governo Lula pretende resolver o problema da habitação”. In: *Caros Amigos*, 2009. Disponível em: <http://carosamigos.terra.com.br>. Acesso em Ago. 2009.

refinanciamento de prestações que fiquem atrasadas e com o financiamento da cadeia produtiva. Deste total, R\$ 25,5 bilhões virão dos cofres da União, R\$ 7,5 bilhões do FGTS, e R\$ 1 bilhão do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

Os projetos desses empreendimentos são apresentados pelas construtoras, em parceria com Estados, municípios, cooperativas e movimentos sociais, analisados e contratados pela Caixa Econômica Federal (CEF), instituição bancária e agente fiscalizador das políticas habitacionais brasileiras, que recebe os recursos alocados pela União³. O setor de Engenharia da CEF verifica o atendimento às regras estabelecidas: (1) condições do projeto arquitetônico referentes à funcionalidade e segurança (acessibilidade, compartimentação, iluminação, ventilação); (2) avaliação do valor de mercado das unidades habitacionais; (3) orçamento da obra, com foco nos quantitativos de serviços e preços unitários; (4) análise do cronograma físico-financeiro. São 33 itens de projeto organizados pelos seguintes aspectos: porte do empreendimento, terreno e localização, cota de implantação, taludes, desníveis e contenções, pé-direito, acessibilidade, privacidade, impermeabilidade, cobertura, sustentabilidade, estacionamento, segurança.

Os Estados e Municípios que oferecerem maior contrapartida financeira, infraestrutura para o empreendimento, terreno, desoneração fiscal de impostos, menor valor de aquisição das unidades habitacionais, bem como receberem impactos de grandes empreendimentos (usinas, hidrelétricas, portos etc.), serão priorizados na alocação de recursos. Limitado em 500 unidades, os empreendimentos são descritos como casas ou apartamentos, conforme especificações mostradas na Tabela 08 para faixa salarial até 3 salários mínimos.

³ Todas as informações sobre MCMV foram extraídas da cartilha disponível em <<http://downloads.caixa.gov.br/>>

Tabela 08: Especificações dos empreendimentos do PMCMV até 3 SM, segundo CEF

Fonte: Cartilha PMCMV, CAIXA, 2012.

Casas (valor entre R\$37.000,00 a R\$48.000,00)	Apartamentos (valor entre R\$41.000,00 a R\$52.000,00)
Casa com sala/1 dormitório para casal e 1 dormitório para 2 pessoas/ cozinha/área de serviço (externa)/circulação e banheiro.	Apartamento com sala/1 dormitório para casal e 1 dormitório para 2 pessoas/ cozinha/área de serviço /circulação e banheiro.
Dimensões dos cômodos	
Mobiliário mínimo dormitório casal: 1 cama (1,4m x 1,95m), 1 criado mudo (0,5m x 0,5m), 1 guarda-roupa (1,5m x 0,55m) e circulação de 0,5m.	
Mobiliário mínimo dormitório 2 pessoas: 2 camas (0,8m x 1,95m), 1 criado mudo (0,5m x 0,5m), 1 guarda-roupa (1,5m x 0,55m) e circulação de 0,8m entre as camas e resto de 0,5m.	
Mobiliário mínimo cozinha: largura mínima de 1,6m. Quantidade mínima: pia fogão (0,6m x 0,6m) e geladeira (0,7m x 0,7m). Previsão de armário sobre a pia e gabinete.	
Sala de estar/refeições: largura mínima de 2,4m. Quantidade mínima de moveis: sofás com numero de assentos igual ao numero de leitos, mesa para 4 pessoas e estante/armário TV.	
Área de serviço: mínimo de 1 tanque (0,6m x 0,55m) e 1 máquina (0,6 x 0,65m).	

Referente aos espaços internos da habitação, as variações no tamanho e na tipologia – casa (35 m²) ou apartamento (42m²) – resultam de uma mesma concepção geral baseada na pré-determinação do modo de morar, num perfil de família brasileira (casal e filhos) e na prática do espaço mínimo para viver.

Especificamente tratando dos apartamentos, objetos de estudo da referida tese, o programa MCMV prevê área maior (42m², sendo 37m² de área interna), com 2 dormitórios, sala, cozinha, área de serviço e banheiro. Os prédios devem ter 4 pavimentos com 16 apartamentos por bloco, podendo ser ampliado para até 5 pavimentos com 20 apartamentos. As especificações também preveem piso cerâmico na cozinha e banheiro, laje de concreto, janelas de ferro ou alumínio e portas de madeira. Pé direito de 2,20 m na cozinha e banheiro e 2,40 m no restante do imóvel.

No documento de lançamento, a agência financiadora do PMCMV, a Caixa Econômica Federal, apresentou plantas sugestivas para casas térreas e apartamentos (Figuras 32 e 33) com finalidade de realização de orçamento destas construções.

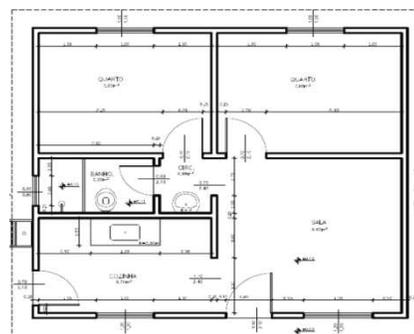
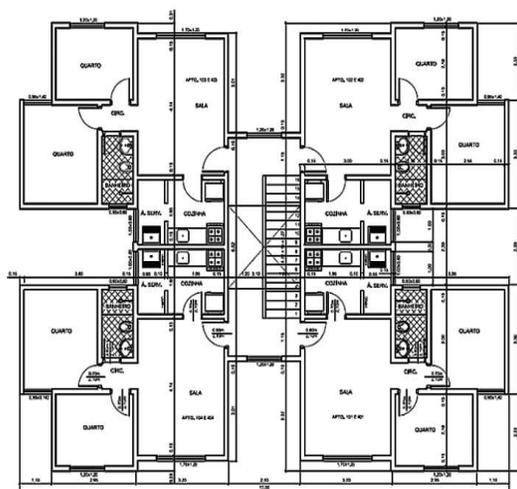


Figura 32: Exemplo de tipologia p/ apartamento: 42m².

Figura 33: Exemplo de tipologia p/ casas: 35m².

Fonte: Cartilha do PMCMV, CAIXA, 2012.

Devido a esta divulgação, rapidamente estes projetos alastraram-se pelo país como exemplo de projeto arquitetônico dentro dos padrões aprovados pelo programa e assim foram usados como “carimbo” por muitas empresas executoras (construtoras). Por isso, essas plantas foram retiradas do programa que atualmente aponta apenas os requisitos mínimos para aprovação do projeto.

Vale ressaltar que na segunda fase do Programa, a presidenta Dilma Roussef decidiu desvincular a imagem do PMCMV ao salário mínimo, sendo então balizado pela faixa de renda da família. O programa atende famílias de três faixas de renda. A primeira faixa é para aquelas famílias que recebem até R\$ 1.600,00 por mês. Nesse caso, o governo paga até 95% do valor do imóvel e a prestação da casa não pode passar de 5% da renda da família. A família paga a casa em dez anos. Para as famílias que recebem até R\$ 3.100,00, a ajuda do governo chega a R\$ 23 mil. Nessa segunda faixa, o governo entra com o dinheiro para reduzir os juros e o valor do seguro. Já para a última faixa, onde estão as famílias que recebem de R\$ 3.100,00 a R\$ 5.000,00, o governo também paga uma parte do seguro.

Por fim, deve-se considerar que muitas críticas são feitas ao PMCMV por diversos motivos, dentre eles: a padronização da forma de morar, uniformização da quantidade de componentes da família brasileira, uniformidade dos padrões mínimos usados como referência para obtenção dos espaços internos, mobiliário mínimo indicado, e principalmente sobre a localidade desses empreendimentos em regiões mais segregadas da cidade. Como cidadãos e usuários, resta-nos avaliar a qualidade dessas construções, apontando-lhes as falhas e exigindo melhorias do governo e dos órgãos fiscalizadores para que busquem constante melhoria do processo de obtenção dessas moradias.

4 METODOS

Este capítulo tem por objetivo informar os caminhos seguidos para se atingir o objetivo geral da tese. O método adotado para essa pesquisa está dividido em três etapas principais:

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

Após breve histórico sobre os edifícios de interesse social no Brasil, definiu-se quais seriam os estudos de caso usados na tese e realizou-se a caracterização dos mesmos. O segundo passo diz respeito à caracterização dos ventos da cidade de Campinas/SP a fim de obter dados de entrada imprescindíveis na simulação computacional. Por fim realizou-se simulação computacional da ventilação natural no programa ANSYS-CFX, desde a confecção dos protótipos 3D dos objetos de estudo, como foi usado o ICEM CFD para confecção da malha tetraédrica que serviu de suporte à simulação, bem como a descrição detalhada dos passos de cada etapa dos módulos que constituem o referido programa.

4.1 Seleção e caracterização dos estudos de caso em Campinas/SP

O “Programa Minha casa minha vida”- PMCMV chegou a Campinas no ano de 2009. No ano seguinte, o panorama de construções aprovadas pelo programa nesta cidade já era considerado grande. No intuito de esclarecer o andamento do programa na referida cidade, a prefeitura municipal introduziu na sua página da internet todas as informações sobre terrenos disponíveis, projetos aprovados, quantidade de unidades disponíveis, data provável de entrega, enfim, tudo relativo ao PMCMV em Campinas.

Como o grande apelo é para construção de muitas unidades habitacionais, normalmente constroem-se mais edifícios multifamiliares. Estes empreendimentos geralmente localizam-se em áreas “suburbanas” uma vez que é muito difícil a existência de grandes glebas em áreas urbanas. A Figura 34, mostra como estão mapeados os empreendimentos do PMCMV em Campinas. Observa-se então que a maioria deles localiza-se na macrorregião Noroeste e na macrorregião Sudoeste. No canto esquerdo da figura, a legenda indica por cores a quais as faixas salariais pertencem os empreendimentos. Apesar da existência de empreendimentos na faixa salarial de 3 à 6 e 6 à 10 salários mínimos, há nítida predominância de empreendimentos na faixa salarial de 0 à 3 salários mínimos que realmente necessitam dos subsídios oferecidos pelos governos federal e municipal neste programa.

O principal critério para seleção de quais empreendimentos serviriam de estudos de caso na referida pesquisa, foi a abrangência social. Sendo assim, foram selecionados empreendimentos que tivessem aproximadamente 2 mil unidades habitacionais (por isso optou-se por edificações multifamiliares) e que estivessem na faixa salarial de 0 à 3 salários mínimos, a qual corresponde à população de baixa renda. Geralmente esta população é a que mais precisa de edifícios que propiciem baixo consumo energético e por isso mais bem ventilados. Outro fato levado em consideração foi a escolha de empreendimentos que tivessem seus projetos já aprovados pela Prefeitura de Campinas, ou seja, se teria oportunidade de avaliar edifícios efetivamente.

Além dos fatores acima mencionados, foram selecionados edifícios com tipologias arquitetônicas diferentes, ou seja, distribuição interna de ambientes que se diferenciam uma das outras, e que resultam em plantas e volumetrias também distintas. Além disso, como a área mínima exigida pelo PMCMV para apartamentos é 42m² - distribuídos em sala, cozinha, área de serviço, 2 quartos e 1 banheiro - as combinações não são tão variadas e resultam em tipologias muito repetidas no país inteiro, independentemente do microclima local.

A intenção é avaliar o desempenho de cada tipologia do ponto de vista da ventilação natural para que o projetista, não só de Campinas, possa compreender o impacto da solução formal-projetual e com isso possa rever algumas dessas soluções nos projetos desta natureza.

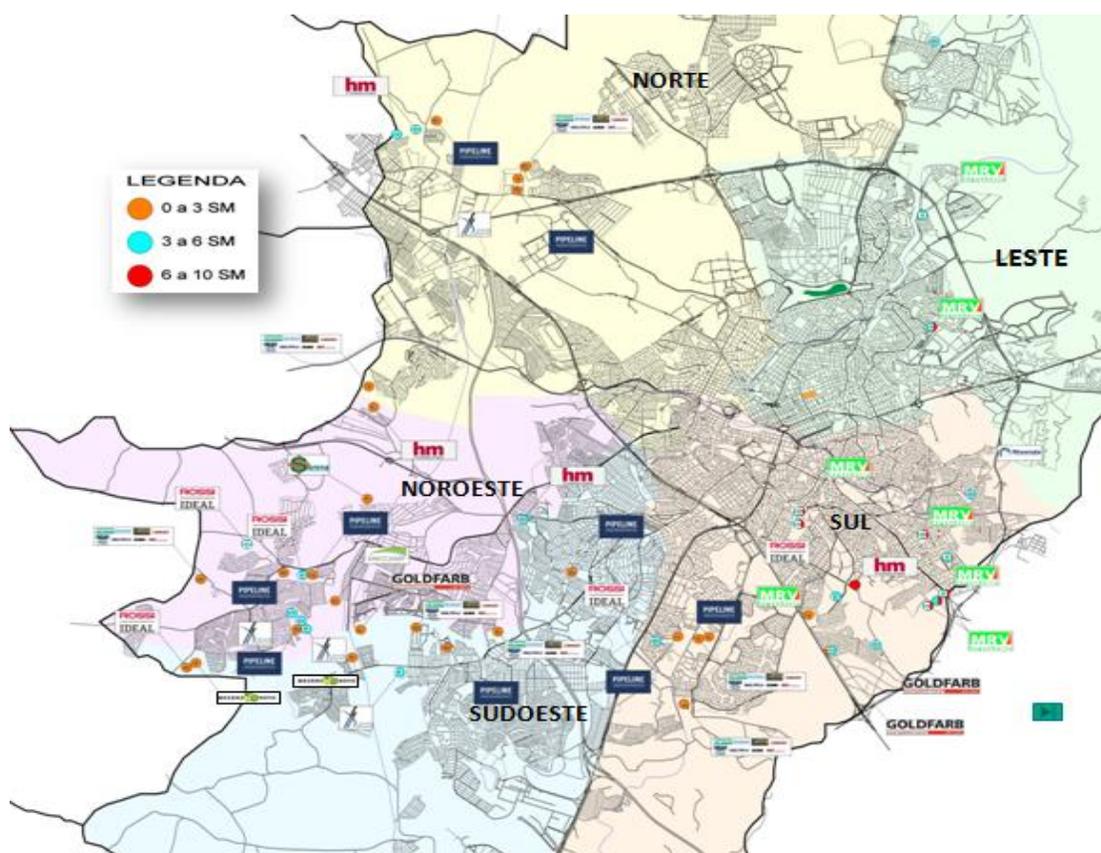


Figura 34: Mapeamento dos empreendimentos do Minha casa minha vida em Campinas/SP
Fonte:seplama, 2009.

A Tabela 09 mostra a relação dos empreendimentos do PMCMV localizados na cidade de Campinas. Nela estão circulados os empreendimentos selecionados, ou seja, as tipologias que serviram como estudos de caso para a referida pesquisa, conforme os critérios acima descritos.

O primeiro estudo de caso, aqui chamado de Tipologia 1, é um empreendimento de edifícios multifamiliares denominado como Jardim Bassoli, pertencente à faixa salarial de 0 à 3 salários mínimos.

O segundo estudo de caso, aqui chamado de Tipologia 2, é um empreendimento de edifícios multifamiliares denominado como Sírius, e por estar localizado próximo a fábrica de pneus da marca Pirelli que, em algum momento, teve seu nome associado a esta fábrica. Também pertencente a mesma faixa salarial.

O terceiro estudo de caso, aqui chamado de Tipologia 3, é um conjunto de edifícios multifamiliares que reúne 9 pequenos empreendimentos com nomes diferentes (por questão de protocolo), todos relacionados a palavra “Água”, pertencentes a uma mesma construtora. Portanto nesta tese foi chamado de Residencial das águas.

Tabela 09: Relação dos empreendimentos registrados do PMCMV em Campinas

EMPREENHIMENTO	0 – 3 S.M.	3-6 S.M.	Acima 6 S.M.
Resid. Pq. Flores, Passáros e Árvores		512	
Resid.- Jardim Miriam		562	
Jambeiro I, II, III e IV - 2ª FASE		310	
Jambeiro I, II, III e IV -1ª FASE		150	
Constelação Pirelli (Sírius)	2717		
Res. Caiapó 1, 2 e 3		480	
Residencial - Jdim. Ipaussurama		304	
Resid.Campina Verde-Casas do Parque		168	
Resid.Bela Vista - Campo Florido		519	
Ágata Ville - Região do Parque Prado		213	143
Topázio Ville - Região do Parque Prado		240	160
Águas da Serra		240	
Águas Doce		230	
Águas Claras		240	
Águas Formosas		240	
Águas de Lindóia	Res. Águas	230	
Águas Belas		240	
Água Nova		230	
Águas de Limeira		240	
Diversos protocolos - Jardim Bassoli		2380	

Fonte: Seplama,2009.

4.1.1 Tipologia 1

O primeiro estudo de caso, aqui chamado de tipologia 1, é um empreendimento localizado no conjunto residencial Parque São Bento, como mostra a figura 35, na macrorregião Sudoeste de Campinas.

Este empreendimento possui um total de 2.380 unidades habitacionais distribuídas em 119 blocos. Cada bloco possui 5 pavimentos cada (sendo o térreo considerado o primeiro deles). Sua

obra foi concluída no fim de 2011 estando os blocos totalmente entregues à população que já habita o conjunto como mostra a Figura 36. Como se pode constatar, trata-se de um conjunto que abriga aproximadamente 9500 pessoas, portanto é um alvo importante de investigação da qualidade do ambiente construído.



Figura 35: Fotografia aérea da gleba onde se localiza o estudo de caso 1.
Fonte: googlemaps



Figura 36: Foto do conjunto habitacional ao qual pertence a Tipologia 1 (dez/2011).

O pavimento tipo dos edifícios que compõem este conjunto habitacional está mostrado na Figura 37. Esta planta foi obtida em imagens de folders deste empreendimento que constam na página da prefeitura. No canto de cada ambiente estavam informadas as cotas dos mesmos que originaram a planta em arquivo CAD. A implantação dos blocos ocorre das mais variadas maneiras no lote, que como comentado anteriormente, é regida pela intenção de localizar o máximo de blocos possível por lote ou gleba. Esta implantação aqui representada corresponde à imagem indicativa do edifício no folder. É interessante notar que, ao ser implantado na direção Norte (0°), os quartos de dois apartamentos estarão orientados para o Sul, o que para Campinas não é benéfico, pois praticamente não leva sol o ano inteiro.

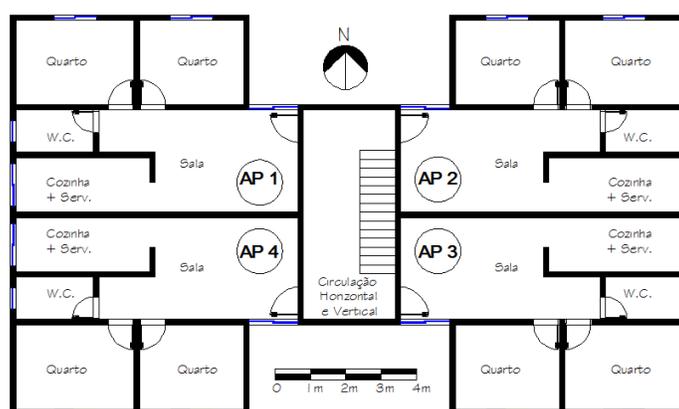


Figura 37: Planta do pavimento tipo da Tipologia 1.

Como se pode observar, trata-se de uma planta tipo “H”, comumente usada neste tipo de habitação no país. A sala, localizada na reentrância do “H”, conecta a cozinha (conjugada com área de serviço) e um pequeno hall que dá acesso aos quartos e banheiro. Observa-se que há uma simetria na planta que posteriormente será usada em favor das simulações. A porta principal de cada apartamento encontra-se numa posição que não somente compromete a abertura da janela da sala, como também está alinhada em relação à porta do banheiro. Isto poderia ter sido facilmente resolvido ainda na fase de projeto. Ressalta-se que para as simulações, esta porta de entrada foi considerada fechada porque no

cotidiano, cada unidade habitacional mantém sua privacidade.

Quanto aos materiais utilizados, as paredes são de bloco de alvenaria com esquadrias metálicas esmaltadas. As esquadrias encontram-se sem proteção, o que compromete ainda mais o desempenho térmico da unidade habitacional.

4.1.2 Tipologia 2

O estudo de caso 2 constitui-se numa particularidade desta tese. Desde a sua localização, a qual não confere com o endereço registrado na ficha da Prefeitura Municipal de Campinas/SP, passando pelo nome do empreendimento que é parcialmente o mesmo indicado na placa da obra, e, por fim, a planta que consta nos registros da prefeitura não corresponde à volumetria indicada pela obra *in loco*. Por estes motivos, foi muito difícil encontrar este empreendimento e obter informações sobre o mesmo, o qual se encontrava, na época, em fase final de construção, como mostra a Figura 38. Além disso, o acesso à obra foi negado pelos executores, o que tornou tudo ainda mais complicado. A obra está localizada no Bairro Residencial Cosmos, também na região Sudoeste de Campinas, como mostra a figura 39.



Figura 38: Foto do empreendimento do estudo de caso 2- obra em andamento (maio/2011)



Figura 39: Localização do empreendimento do estudo de caso 2.

Fonte: www.googlemaps.com.br

Apesar de todas as dificuldades, tomou-se a decisão de manter este empreendimento nos estudos de caso desta pesquisa, pois o projeto indicado pela prefeitura apresenta uma configuração espacial bastante interessante, conforme mostra a Figura 40. 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.

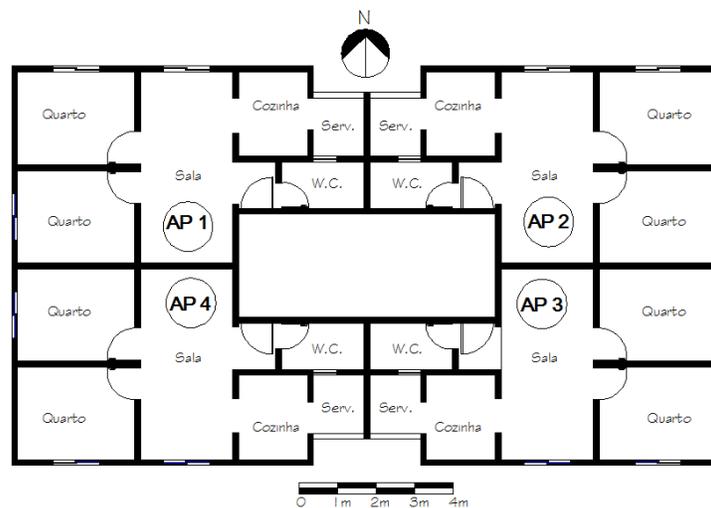


Figura 40: Planta Baixa do pavimento tipo da Tipologia 2.

Como se pode observar, trata-se de uma planta quase quadrada, uma vez que a reentrância central é bastante suave. Esta reentrância por sua vez é bastante importante, pois nela localiza-se a abertura responsável pela ventilação e iluminação do banheiro e da cozinha. Não raramente, este tipo de solução arquitetônica é adotada pelos projetistas e precisa ser avaliada.

Quanto à distribuição interna das unidades habitacionais, há um claro problema de circulação, pois a porta de entrada quando aberta, interrompe a passagem para o banheiro. Isto também poderia ter sido facilmente evitado em fase de projeto: apenas a relocação da porta para a parede ao lado. Porém ressalta-se que a porta de entrada não foi representada nas simulações por estar cotidianamente fechada. Nesta tipologia, a sala dá acesso direto aos quartos, não havendo hall para essa ligação e seu formato é, portanto, bastante longilíneo.

Novamente cabe o comentário acerca da implantação do bloco que ao estar orientado para Norte (0°) permite que um dos quartos de cada apartamento voltado para o Sul fique praticamente sem insolação natural. Porém reforça-se que as implantações são as mais variadas possíveis dentro da gleba, por isso um dos objetivos desta pesquisa é mostrar a implantação mais eficiente do ponto de vista de ventilação natural.

Similarmente ao estudo de caso 1, a vedação é feita com bloco de alvenaria, rebocado e pintado, além de esquadrias metálicas esmaltadas. As aberturas também encontram-se desprotegidas. Quanto ao conjunto, a previsão é de 2700 unidades habitacionais distribuídas em 135 blocos também com 5 pavimentos (tipologia térreo + 4 pavimentos). Portanto, trata-se de uma obra de grande porte onde viverão aproximadamente 10.000 pessoas na faixa salarial de 0 à 3 salários mínimos, por isso qualquer redução do ponto de vista energético pode ter um grande impacto no consumo em geral.

4.1.3 Tipologia 3

Esta Tipologia, diferentemente das demais, localiza-se na macrorregião Sul da cidade de Campinas, às margens da rodovia Anhanguera SP330, como mostra a Figura 41. Este empreendimento está subdividido em 9 empreendimentos menores dentro da mesma gleba, com protocolos de entrada diferentes na prefeitura municipal (o que agiliza o processo de aprovação do projeto), no entanto, para a própria construtora, é tratado como um único empreendimento, visto que a planta é igual em todos eles.



Figura 41: Localização da gleba do empreendimento estudo de caso 3.

O empreendimento total apresenta 2120 unidades habitacionais distribuídas em 53 blocos, pois diferentemente dos demais empreendimentos estudados, esta construtora habitualmente constrói blocos conjugados dois a dois com parede geminada, resultando em oito unidades habitacionais por pavimento, como mostra a Figura 42. Esta é uma tendência que vem se

consolidando cada vez mais neste mercado, pois, segundo os construtores, deixa mais área livre no lote para estacionamentos e lazer. Neste empreendimento viverão aproximadamente 8.500 pessoas.

Quanto a distribuição interna, esta tipologia abriga 4 unidades habitacionais de canto iguais entre si, e as outras 4 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. Por essas particularidades, tornou-se interessante investigá-lo nesta tese.

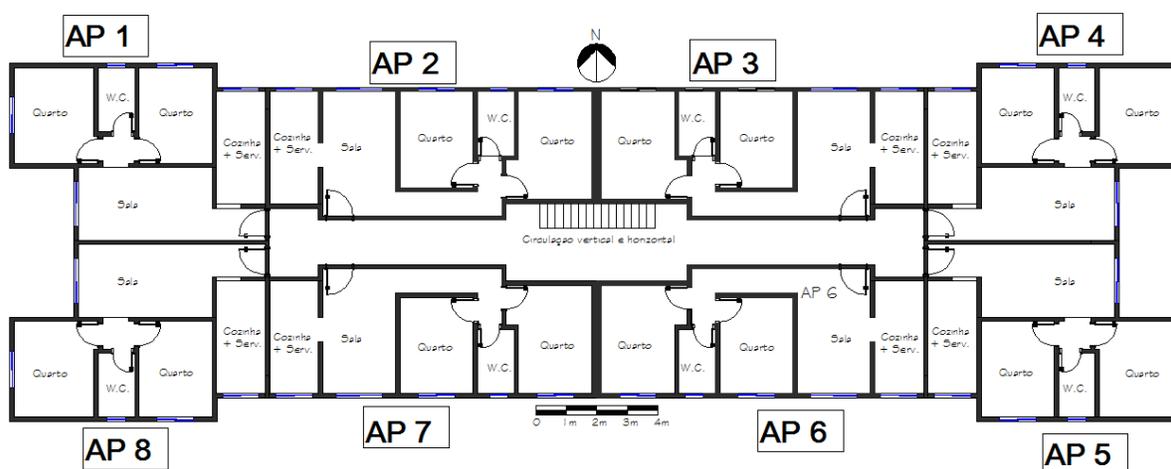


Figura 42: Planta baixa do pavimento tipo da Tipologia 3.

Quanto ao gabarito, também são blocos de 5 pavimentos (sendo o térreo o considerado o primeiro deles). Esta obra em particular, foi embargada por um período de um ano aproximadamente, porém foi retomada (Figura 43) e, atualmente, já foi entregue à população.

Os materiais usados são os mesmos dos demais edifícios, e as aberturas também encontram-se desprotegidas. Observa-se como o terreno deste empreendimento apresenta topografia bastante acentuada, fato este comum ao PMCMV por se tratarem de grandes glebas, que normalmente são encontradas em áreas suburbanas e dificilmente em áreas planas. Mesmo

reconhecendo este fato, decidiu-se nesta tese não considerar a variável topografia, considerando assim nas simulações, terrenos planos.



Figura 43: Fotografia do andamento da obra do estudo de caso 3 (Maio/2011).

4.2 Caracterização dos ventos em Campinas/SP

Quando se definiu realizar simulação computacional da ventilação natural de tipologias já existentes do PMCMV, precisava-se reproduzir o cenário no qual elas estão inseridas, a fim de tornar esta pesquisa próxima da realidade. Com a decisão de realizar este estudo em Campinas/SP, foi necessário conhecer características específicas de ventilação natural desta cidade.

A primeira questão foi decidir de qual estação climatológica de Campinas iria-se obter os dados climáticos, principalmente sobre ventos, no período mais longo possível, a fim de que se pudesse montar um banco de dados consistente. A estação considerada pertinente foi o 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) como mostra a Figura 44. Este posto localiza-se numa zona próxima a um dos empreendimentos estudados (Tipologia 3) e com características de rugosidade parecida com as dos empreendimentos (ou seja, localizada numa região suburbana, segundo classificação de Carvalho (2003).

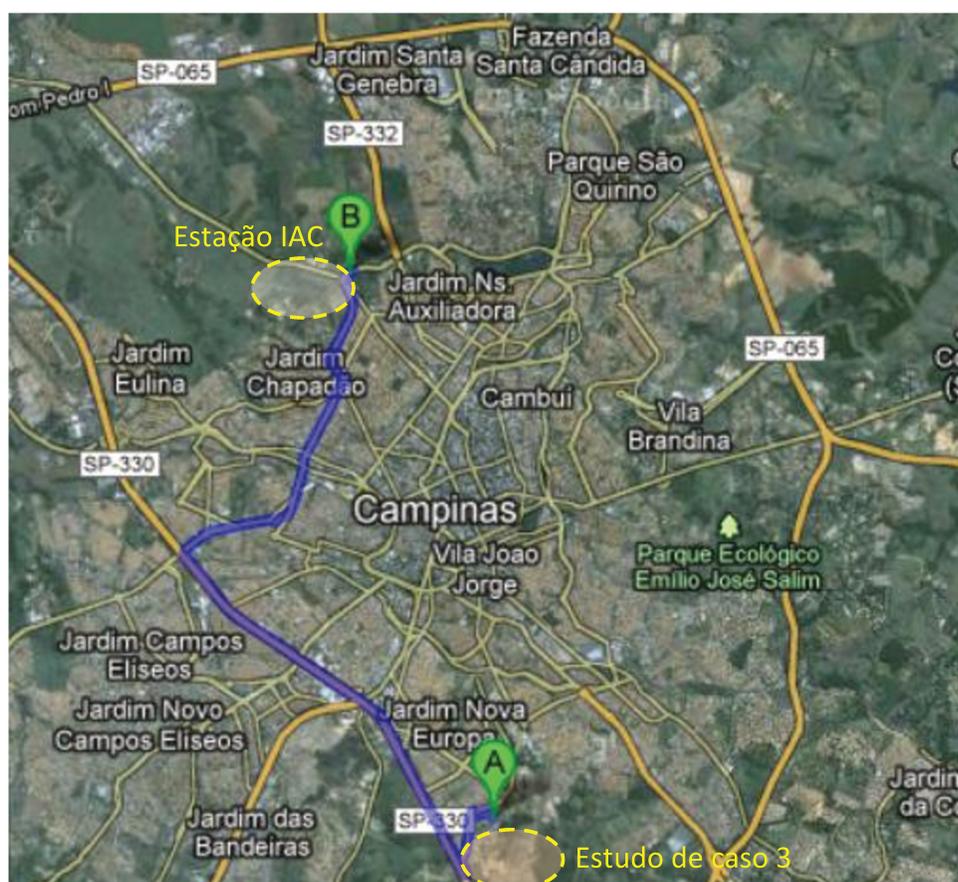


Figura44:Localização da estação do IAC- Fazenda Santa Elisa e do estudo de caso 3.
Fonte:www.googlemaps.com

A direção do IAC nos forneceu um arquivo com dados de temperatura, umidade relativa, velocidade do ar a 2m de altura e a 5m de altura, e direção do vento. Os dados de ventos são obtidos através de anemógrafos universais. Os dados enviados são diários e horários (alguns horários não foram preenchidos por erros no equipamento), coletados num período de 9 anos consecutivos (de 2001 à 2010). Para esta pesquisa 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.

Inicialmente, buscaram-se referências bibliográficas de trabalhos que realizaram caracterização de ventilação de outras localidades. As principais fontes encontradas foram de artigos publicados em revistas de meteorologia, os quais apresentam detalhadamente o modo de executar tal tarefa.

Lima et al (2010) avaliaram o potencial eólico em cinco regiões do estado da Paraíba, e para tal, realizou análise sobre o regime de ventos nestas regiões. Os autores usaram dados horários de velocidade e direção dos ventos registrados a 10 m de altura de cinco estações climatológicas do período de janeiro de 1977 a dezembro de 1981. O objetivo era estudar a variação de direção e velocidade do vento, bem como determinar a densidade de potência eólica das estações estudadas. Primeiramente, os autores corrigiram o perfil do vento para alturas de 50m e 110m e a partir daí usaram esses dados para determinação da potência eólica anual média.

A correção feita por esses autores para as alturas de interesse de avaliação de potencial eólico, forneceu a base para a correção que deveria ser realizada para os valores de velocidade obtidos a 2m e 5m de altura na estação do IAC, sendo portanto, necessário corrigi-los para 10m acima do solo, altura padrão usada em medições de velocidade do ar.

Para correção dos dados de velocidade do vento para altura de 10m, utilizou-se a teoria da camada limite atmosférica que expressa a variação de altura logarítmica do vento, Eq.(2), anteriormente mencionada no capítulo 2.

$$V(z) = V(z_{ref}) \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)} \quad (2)$$

Onde:

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

z = altura desejada (a 10m);

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

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

Corrigidos os valores de velocidade do ar, para valores a 10m de altura, procedeu-se à determinação da direção predominante dos ventos. Munhoz & Garcia (2007) mostraram como caracterizar a velocidade e direção predominante dos ventos para a região de Ituverava/SP. Similarmente a esta pesquisa, os autores usaram dados coletados em anemógrafos universais instalados a 2m de altura. A determinação da direção predominante foi caracterizada por meio de uma análise de frequência das observações diárias para cada um dos doze meses do ano, utilizando a seguinte expressão mostrada na Equação (9):

$$f(x) = \frac{n}{N} .100 \quad (9)$$

Onde:

f(x)= frequência de ocorrência do vento em uma determinada direção;

n= número de ocorrências de uma determinada direção;

N= Número total de dados.

Assim, dividiu-se as direções do vento (a 10m de altura) em oito faixas centradas nas direções Norte (0°) a Noroeste (315°), no sentido horário, cada faixa correspondente a 45°. A direção Leste, por exemplo, compreende os ventos com direção entre 67,5° e 112,5° e a direção Sudeste inicia-se com valores de 112,6° a 157,5° e assim por diante. A Figura 45 ilustra esta distribuição por direção.

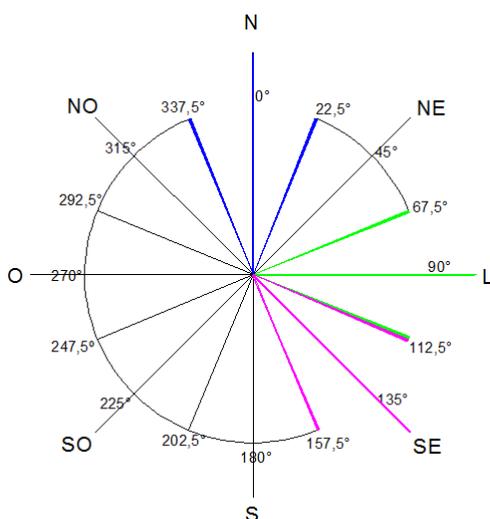


Figura 45: intervalos em graus radianos registrados pela estação IAC considerados no banco de dados.

Finalmente, separou-se no banco de dados os valores por direção, como mostra a Tabela 10, que indica a frequência de ocorrência dos dados por direção.

Tabela 10: frequência (%) dos dados por direção.

Meses	Norte	Nordeste	Leste	Sudeste	Sul	Sudoeste	Oeste	Noroeste
Janeiro	10,7%	6,1%	9,1%	24,4%	14,4%	10,9%	11,1%	13,3%
Fevereiro	14,7%	8,4%	9,1%	22,4%	10,1%	9,9%	10,7%	14,7%
Março	11,6%	6,5%	10,0%	29,8%	10,2%	9,0%	10,2%	12,7%
Abril	9,7%	5,2%	10,6%	32,8%	11,8%	9,0%	9,7%	11,1%
Maiο	16,2%	8,8%	12,7%	29,3%	8,3%	7,3%	9,5%	7,9%
Junho	19,2%	9,6%	11,8%	27,6%	7,0%	6,3%	8,5%	10,2%
Julho	28,7%	11,0%	9,2%	26,1%	5,9%	5,3%	7,7%	6,0%
Agosto	33,7%	9,4%	9,8%	25,1%	5,8%	6,1%	6,9%	3,2%
Setembro	31,8%	11,8%	8,9%	25,6%	5,6%	6,6%	5,7%	3,9%
Outubro	7,8%	11,9%	13,6%	31,3%	8,2%	10,0%	10,4%	6,8%
Novembro	14,1%	12,7%	14,0%	26,6%	7,1%	7,7%	10,7%	7,2%
Dezembro	8,5%	6,6%	10,9%	30,0%	10,1%	9,3%	11,9%	12,7%

Verificou-se que a direção predominante anual para Campinas é Sudeste (9 meses do ano em evidência), seguida da direção Norte (3 meses do ano).

O próximo passo foi determinar as velocidades médias totais para cada direção. Para tal, organizou-se a média dos valores de velocidade mensais encontrados nestas direções, como mostra a Tabela 11, e extraindo-se a média dos doze valores mensais, obteve-se a média total. Com isso os valores de velocidade por direção foram definidos e posteriormente usados como dados de entrada no ANSYS CFX.

Tabela 11: médias totais dos valores de velocidade do ar por direção (m/s).

Meses	Velocidades médias (m/s)							
	Norte	Nordeste	Leste	Sudeste	Sul	Sudoeste	Oeste	Noroeste
Janeiro	2,43	2,29	2,65	3,09	1,97	2,19	2,21	2,44
Fevereiro	2,17	2,27	2,29	2,97	1,87	2,01	2,04	2,32
Março	2,14	2,25	2,17	3,23	2,06	2,03	2,08	2,25
Abril	1,95	2,04	2,25	3,49	2,19	1,98	1,81	1,96
Maiο	2,42	1,93	2,08	3,4	1,93	1,81	1,81	2,13
Junho	2,47	1,82	1,95	3,18	1,76	1,74	1,68	2,15
Julho	2,54	2,28	2,14	3,44	2,03	1,98	1,84	2,3
Agosto	3,14	2,53	2,37	4,01	2,3	2,01	1,79	2,77
Setembro	3,22	2,7	2,71	4,54	2,49	2,3	2,12	2,74
Outubro	3,08	2,45	2,87	4,27	2,99	2,56	2,23	2,73
Novembro	3,41	2,79	2,56	4,12	2,78	2,77	2,65	2,7
Dezembro	2,73	2,55	2,41	3,34	2,58	2,51	2,68	2,54
Média total	2,64	2,32	2,17	3,59	2,24	2,15	2,07	2,41

Nesta tese decidiu-se simular as direções 0° (usou-se banco de dados direção Norte), 90° (usou-se banco de dados do vento Leste) e 135° (banco de dados da direção Sudeste) pois a intenção é mostrar aos projetistas o comportamento da ventilação interna destas tipologias em três diferentes incidências de vento em relação à geometria dos edifícios (que são simétricos). Assim o projetista pode entender o que ocorre nas demais orientações, como mostra a Figura 46.

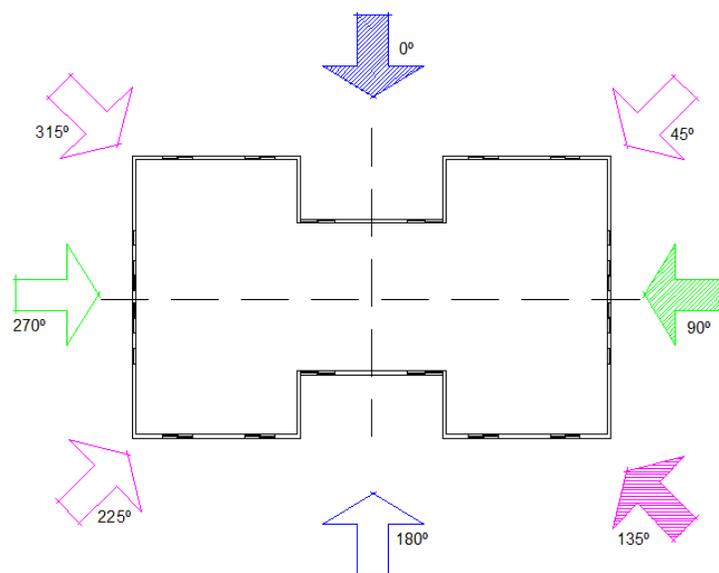


Figura 46: esquema gráfico indicativo da implantação do edifício diante dos ventos simulados de 0°, 90° e 135°.

Sendo assim os valores de velocidade média e direções foram usados nas simulações como dados de entrada para reproduzir um cenário de ventilação externa ao edifício próximo a uma realidade existente – no caso foi escolhida a cidade de Campinas. 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, que se considerem os valores de velocidade média do mesmo.

4.3 Simulação computacional com ANSYS-CFX

A fluidodinâmica computacional (CFD) é uma técnica numérica utilizada para determinação de fenômenos físicos. Dentre os vários programas que se utilizam de fluidodinâmica computacional, nesta pesquisa utilizou-se o CFX 13.0 por ser um CFD, produzido pela empresa ANSYS, capaz de simular a ventilação natural com êxito como foi descrito no capítulo 2. Além disto, este 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 a Faculdade de Engenharia Química-FEQ da Unicamp¹. As simulações foram executadas por um “cluster” computacional com 90 nós de processamento de 3GHz.

O programa CFX utiliza equações fundamentais de fluxo, além de permitir que o usuário insira outras equações específicas para as diversas variáveis. Segundo Harries (2005), apud Leite (2008), para solucionar as propriedades do escoamento de um fluido, calculando determinados pontos em um volume de controle, conhecidos como malha, o CFX se vale das seguintes equações fundamentais de fluxo:

- Equação de transporte da massa (equação da continuidade);
- Equação de transporte da quantidade de movimento (Equação de Navier-Stokes);
- Equação de transporte da energia (no caso das simulações térmicas);
- Equação de transporte escalar (dispersão de fumaça e poluentes);
- Equações para turbulência.

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, conforme mostra a Figura 47. 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 ICEM CFD, um módulo do CFX vendido separadamente que é fundamental, pois serve para a parametrização e elaboração da malha (*mesh*) que definirá os pontos a serem calculados. Em seguida, no *CXF-Pre*, acontece a definição do regime da

¹ Através de contatos com o responsável pelo referido laboratório, o Prof. Milton Mori, o PQGe ofereceu todo o suporte necessário ao desenvolvimento desta pesquisa. Contou-se então com a vasta experiência do comentado laboratório que habitualmente utiliza-se do CFX para resolver problemas muito mais complexos (bifásicos e trifásicos) que os de ventilação natural (problema monofásico). Este apoio foi fundamental para a realização desta tese, inclusive por questões de capacidade de processamento de dados.

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*.

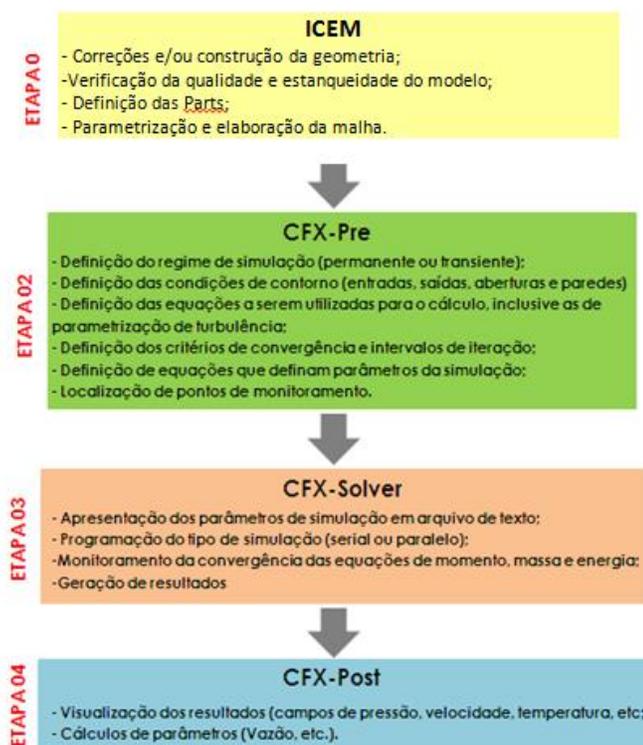


Figura 47: Módulos do CFX com as respectivas atividades (Adaptado de BRANDÃO, 2009).

A seguir serão descritas detalhadamente cada uma dessas etapas para realização da simulação de ventilação natural da referida tese de doutorado.

4.3.1 Confeccção dos modelos

Para realizar a simulação computacional da ventilação natural, antes de tudo, é importante modelar o espaço no qual se quer realizar tal estudo. Como neste trabalho o foco principal é a ventilação interna, realizou-se inicialmente confecção dos protótipos 3D dos edifícios selecionados descritos no capítulo anterior, considerando suas aberturas.

O ICEM CFD é uma ferramenta capaz de realizar a construção da geometria de modelos, no entanto este programa se utiliza do sistema de coordenadas cartesianas x,y,z de pontos, o que não é de uso cotidiano da autora desta tese. Felizmente, o ICEM aceita a importação de modelos construídos com aplicativos CAD. Portanto, para elaboração desses modelos, utilizou-se o software mais conhecido dentre os projetistas, o AutoCAD da Autodesk. Brandão (2009) recomenda que sejam utilizados os comandos *extrude*, *union*, *subtract* para confeccionar o modelo tridimensional no CAD. Esta informação foi de grande valia uma vez que os objetos precisam ser compreendidos como sólidos no ICEM CFD.

Portanto, primeiramente foram construídas as paredes usando comandos *polyline* e *bpoly*, daí elas foram extrudadas com o comando *extrude* para determinar a altura das paredes. Foram utilizadas nos três modelos a altura de parede de 2,4m com laje de 10cm, como os modelos tem 5 pavimentos (térreo +4), os volumes resultaram numa altura total de 12,5m². Posteriormente, desenhou-se o fechamento das paredes (que representa a laje) a qual também foi extrudada com a medida da espessura da mesma (10cm). Por fim foram localizadas as aberturas, desenhadas com o comando *rectangle* e movidas até a altura correta de projeto usando o comando *3Dmove*. Localizadas corretamente as aberturas em planta e em altura, adotou-se o comando *subtract* para

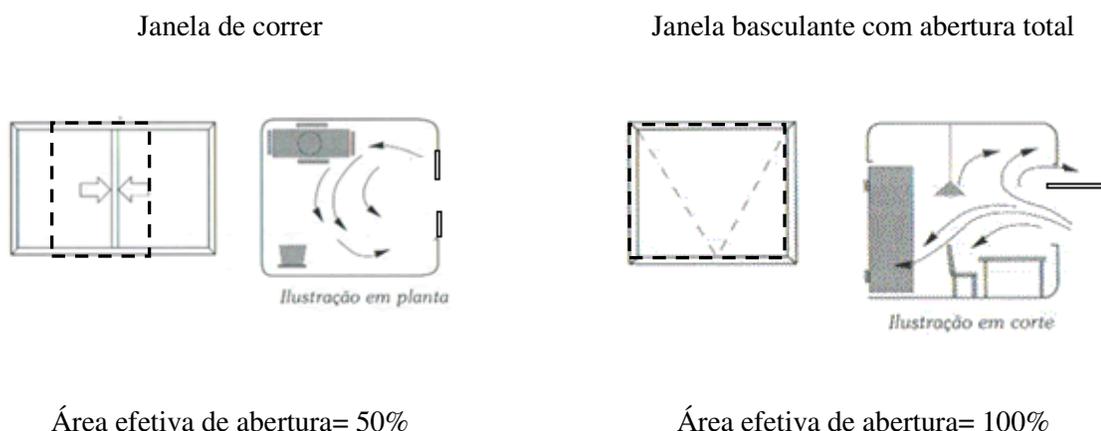
² Esta informação foi obtida através do projeto completo adquirido na construtora de um dos três empreendimentos.

subtraí-las das paredes. Por fim digitou-se o comando *union* para unir tudo (paredes com aberturas + lajes) num único sólido.

Para definição das aberturas efetivas de ventilação nos modelos, considerou-se aberturas externas (janelas) e internas (portas). Quanto às portas, estas foram consideradas todas abertas para passagem do ar, com exceção da porta da entrada, a qual na vida cotidiana permanece fechada, por questões de segurança/privacidade do usuário. As portas possuem tamanho padrão 0,70m de largura para quartos e cozinha, e 0,60m de largura para banheiros. Todas com altura padrão de 2,10m.

Para as janelas, foram elaboradas tabelas contendo todas as informações sobre as aberturas externas (janelas) de cada edifício. Nas tabelas estão informadas sequencialmente: cada ambiente da unidade habitacional, com sua referida área de piso, o código estabelecido em planta para nomear a janela, a área da abertura (neste caso da esquadria completa), o percentual dessa abertura em relação à área de piso (lembrando que a NBR 15520-3 estabelece para Campinas aberturas de 15 a 25% da área do piso), o tipo de janela, a partir dele o percentual de redução da passagem de ar e por fim quais as dimensões e área efetiva de abertura (aquela que corresponde à passagem do ar, sem esquadria). Esse foi o raciocínio usado para se chegar a cada dimensão de abertura externa que foi representada no modelo tridimensional.

É importante ainda destacar que nas janelas corredeiras (localizadas nas cozinhas, quartos e salas) considerou-se a área efetiva de abertura no centro da esquadria uma vez que não havia como prever que lado o usuário deixaria aberto como mostra a Figura 48. Já na esquadria basculante (localizada nos banheiros), como a abertura é de 100%, considerou-se área efetiva de abertura igual à área da abertura.



Área efetiva de abertura= 50%

Área efetiva de abertura= 100%

Figura 48: Ilustrações do funcionamento das janelas e indicação de área efetiva de abertura.
www.alumipiso.com.br/produtos_aberturas.php

Em relação ao estudo de caso 1- Planta em “H”, a Tabela 12 contém todas as informações até chegar à área efetiva de abertura externa que foi usada no modelo tridimensional. A Figura 49 traz o posicionamento das aberturas em planta na unidade habitacional (considerando a porta de entrada fechada). A Figura 50 mostra modelo tridimensional pronto.

Tabela 12: Aberturas externas da Tipologia 1.

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

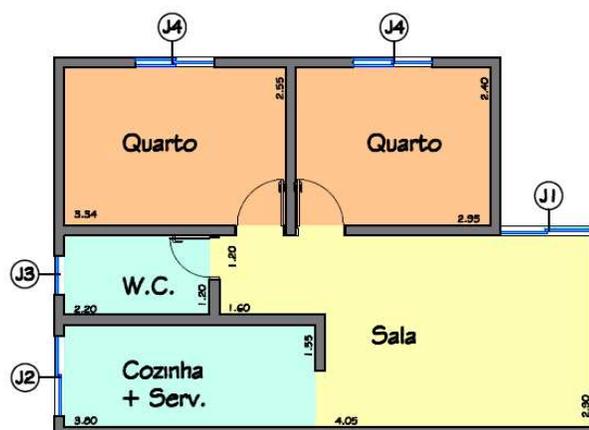


Figura 49: Posicionamento das aberturas na unidade habitacional da Tipologia 1.

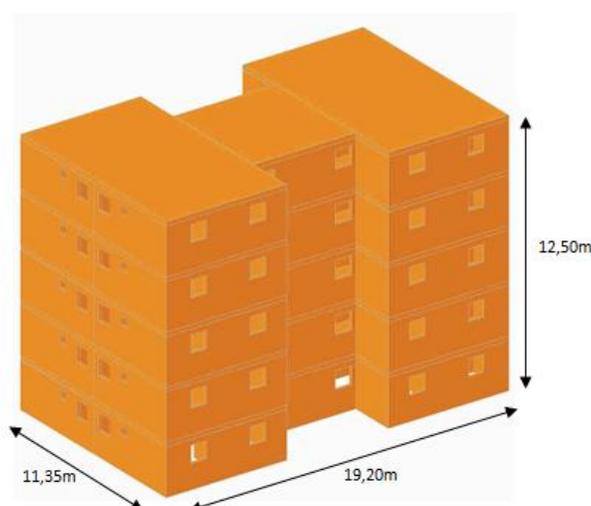


Figura 50: Visualização do modelo tridimensional da tipologia 1 gerado no AutoCAD.

O mesmo procedimento foi feito para o edifício da tipologia 2. A Tabela 13 contém as informações sobre suas aberturas, até chegar à área efetiva de abertura usada no modelo tridimensional. Como nesta tipologia, o banheiro e a cozinha são iluminados e ventilados pela abertura da área de serviço, e esta não possui esquadria, suas dimensões não foram alteradas. A Figura 51 traz o posicionamento das aberturas em planta na unidade habitacional (com exceção da porta de entrada). A Figura 52 mostra o modelo tridimensional pronto.

Tabela 13: Aberturas externas do edifício da Tipologia 2.

AMBIENTES	ÁREA DE PISO (m ²)	JANELA	DIMENSÕES ABERTURAS l x h (m)	ÁREA DE ABERTURA (m ²)	PERCENTUAL ABERTURA (%)	TIPO DE JANELA	PERCENTUAL REDUÇÃO (%)	DIMENSÕES ÁREA EFETIVA l x h (m)	ÁREA EFETIVA DE ABERTURA (m ²)
Sala	11,92	J1	1,40 x 1,20	1,68	14,09	Vidro/correr	50%	0,7 x 1,2	0,84
Cozinha + serviço	6,08	A	1,32 x 1,00	1,32	21,71	Abertura livre	-	1,32 x 1,00	1,32
W.C.	2,58	J2	0,60 x 0,60	0,36	13,95	Vidro/basculante	-	0,6 x 0,6	0,36
Quartos	7,38/ 7,32	J3	1,20 x 1,20	1,44	19,51/19,67	Veneziana/correr	50%	0,6 x 1,2/	0,72

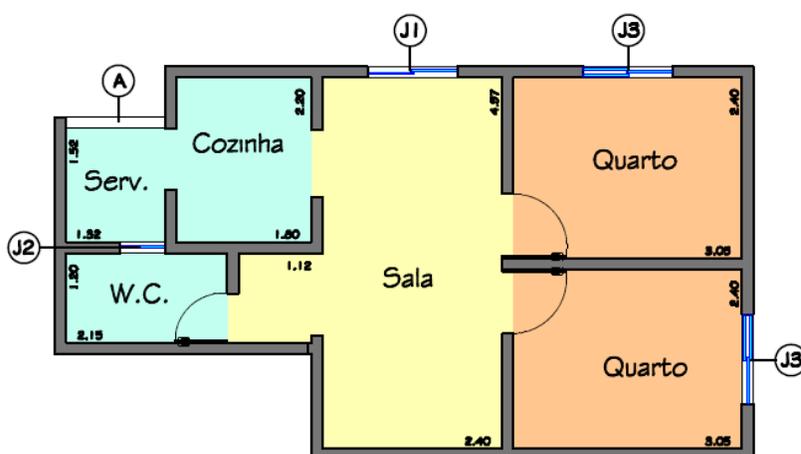


Figura 51: Posicionamento das aberturas na unidade habitacional da tipologia 2.

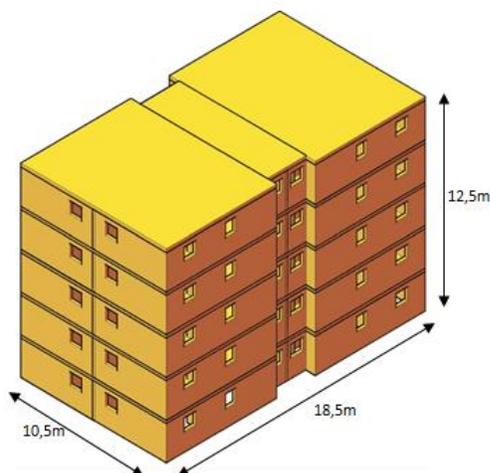


Figura 52: Visualização do modelo tridimensional do edifício da tipologia 2 gerado no AutoCAD

De modo idêntico procedeu-se com o edifício da tipologia 3. A Tabela 14 contém informações sobre suas aberturas, até chegar à área efetiva de abertura que foi usada no modelo tridimensional. A Figura 53 traz o posicionamento das aberturas em planta nas unidades habitacionais (2 tipos diferentes). A Figura 54 mostra modelo tridimensional pronto.

Tabela 14: Aberturas externas do edifício da tipologia 3.

AMBIENTES	ÁREA DE PISO (m ²)	JANELA	DIMENSÕES ABERTURAS l x h (m)	ÁREA DE ABERTURA (m ²)	PERCENTUAL ABERTURA (%)	TIPO DE JANELA	PERCENTUAL REDUÇÃO (%)	DIMENSÕES P/ ÁREA EFETIVA l x h (m)	ÁREA EFETIVA ABERTURA (m ²)
Sala	12,37	J1	1,50 x 1,20	1,80	14,55	Vidro/ correr	50%	0,75 x 1,20	0,9
Cozinha + serviço	5,92	J2	1,20 x 1,00	1,20	20,27	Vidro/ correr	50%	0,60 x 1,0	0,6
W.C.	2,53	J3	0,60 x 0,60	0,36	14,22	Vidro/ basculante	-	0,60 x 0,60	0,36
Quartos	7,56/ 8,32	J4	1,20 x 1,20	1,44	19,04/17,3	Veneziana/ correr	50%	0,60 x 1,20	0,72

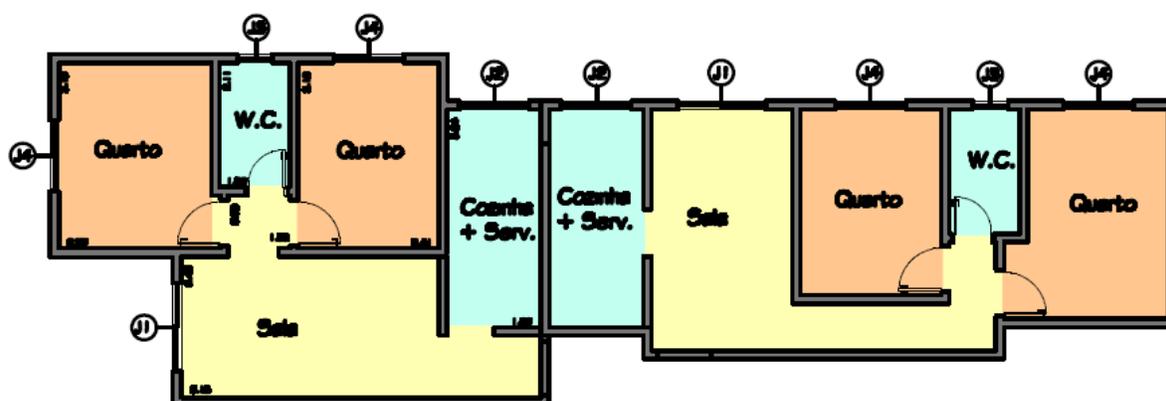


Figura 53: Posicionamento das aberturas nos dois tipos de apartamentos do estudo de caso 3.

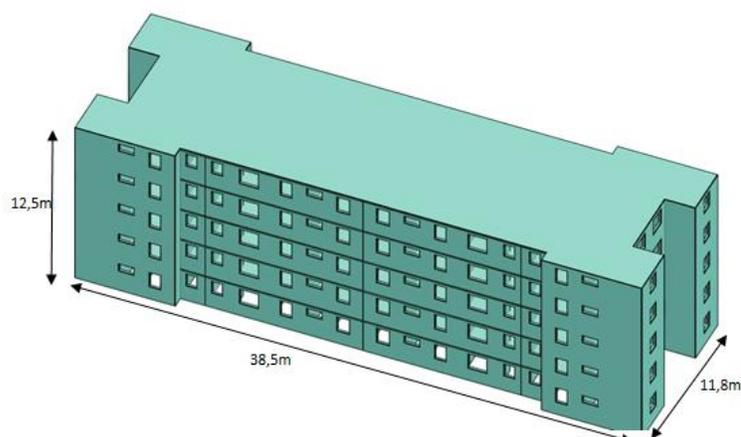


Figura 54: Visualização do modelo tridimensional do estudo de caso 3 gerado no AutoCAD.

Neste momento vale ressaltar um detalhe que diferenciou esta pesquisa de outros trabalhos que realizaram simulação computacional para análise de ventilação natural no ambiente interno. Figueiredo (2007) e Costa (2009), por exemplo, confeccionaram seus modelos adotando um único pavimento vazado (dotado de aberturas), deixando os demais pavimentos como um volume fechado no edifício. Por julgar que isto não corresponde à realidade e conseqüentemente pode influenciar nos resultados, nesta pesquisa optou-se por construir todos os pavimentos vazados (5 pavimentos, sendo o térreo considerado o primeiro deles) nos três tipos de edifício, ou seja, com as aberturas efetivas de passagem de ar afim de obter resultados que mais se aproximam da realidade. Isto foi possível devido a capacidade de processamento do cluster do PQGe.

Voltando a confecção dos modelos, segundo Brandão (2009) o mesmo deve conter todos os elementos a serem simulados, ou seja, deve retratar tanto os objetos de interesse, quanto o entorno, além do volume para representar o domínio fluido. Este volume (domínio) deve ser estanque, inexistindo aberturas. Na referida tese, como o objetivo 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) se poderia ter uma nova simulação utilizando a mesma malha e o mesmo modelo. A construção do domínio cúbico seguiu a simples regra: lado maior do edifício (x) repetida para cada lado,

originando em largura $3x$, em profundidade $3x$, e em altura $3x$, assim o edifício estaria localizado no centro de um cubo perfeito como mostra a Figura 55. Isto ocasionou um efeito de blocagem, ou seja, uma 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 4% para o estudo de caso 3. Como 7% de blocagem é um valor de obstrução usado no próprio túnel de vento do Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada- LaCAF da Unicamp, julgou-se ser uma proporção adequada, mesmo porque o objetivo final é uma análise de ventilação interna e não externa (onde normalmente utiliza-se proporções de até 15x o objeto para áreas à sotavento).

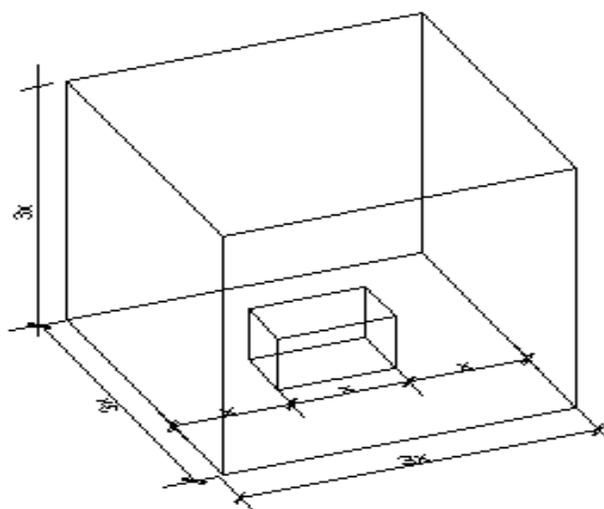


Figura 55: Proporção do domínio cúbico em relação ao edifício.

Com este conjunto pronto (edifício + domínio), digitou-se o comando exportar com a opção de arquivo com extensão *.sat* (ACIS) e selecionou-se o conjunto. Desta maneira, o ICEM pôde abrir o arquivo.

4.3.2 ICEM: a construção da malha (*mesh*)

O modelo criado é então importado no software ICEM CFD versão 13.0, também da empresa ANSYS. Nele o objetivo final é a geração da malha (*mesh*). Segundo Brandão (2009) a

malha é a discretização do espaço fluido dentro do domínio, definindo os pontos e volumes para os quais as equações fundamentais serão resolvidas. Malhas de qualidade facilitam a convergência das simulações e fornecem resultados precisos.

No ICEM primeiramente foram criados pontos em todas as arestas do edifício (menu: *geometry-create point*- seleciona o edifício todo- *apply*) conforme mostra Figura 56. Isto facilitou a construção da malha uma vez que as aberturas apresentam formas quadradas ou retangulares e com isso são facilmente compreendidas pela malha quando seus pontos são selecionados, evitando más formações nas suas arestas. Posteriormente foi criado o ponto material (*body*) que é um ponto o qual deve estar na atmosfera a ser estudada. No caso em questão este ponto está localizado entre o edifício e os limites do domínio. Ver Figura 57.

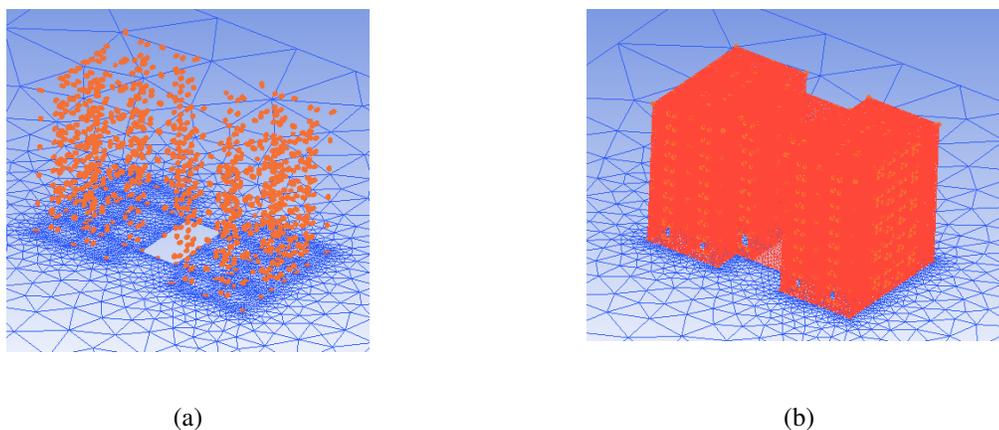


Figura 56: criação dos pontos (a) e visualização das superfícies com pontos criados (b).

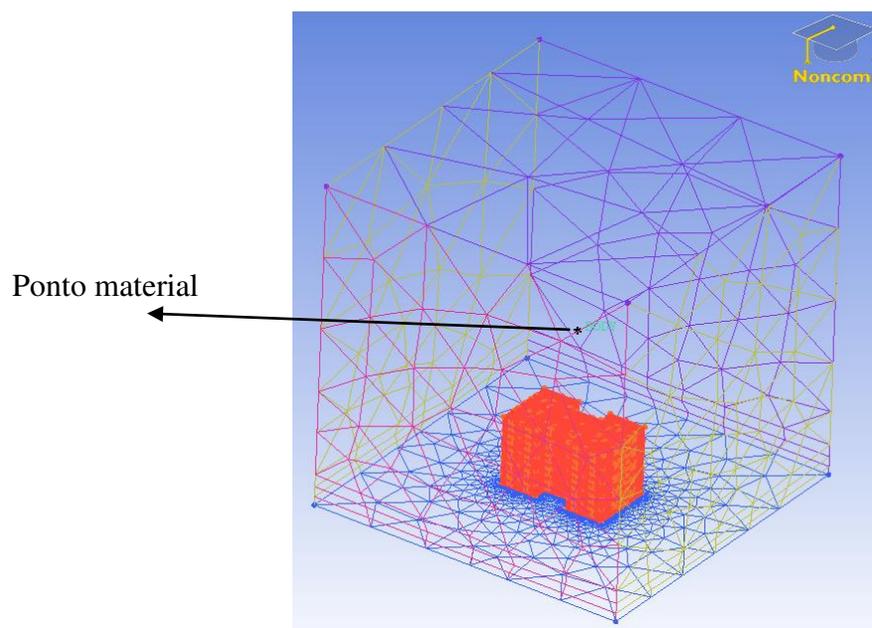


Figura 57: visualização do ponto material (localizado na atmosfera entre o edifício e o domínio).

Antes da geração da malha, as superfícies que receberão tratamento semelhante no pré-processamento devem ser agrupadas. Os grupos das superfícies importadas do modelo recebem o nome de *Parts*. Segundo Brandão (2009) uma seleção detalhada das *Parts* demanda bastante tempo para ser realizada. No entanto, isso possibilita maior flexibilidade na atribuição das condições de contorno. É possível atribuir as mesmas condições de contorno a *Parts* diferentes, mas não se podem atribuir condições de contorno diferenciadas a elementos da mesma *Part*.

Nesta pesquisa, para cada tipologia, foram definidas 9 *Parts*: CHÃO (que corresponde ao piso do domínio), TOPO (que corresponde ao teto do domínio), NORTE (sempre considerado no eixo Y positivo), SUL, LESTE, OESTE, PRÉDIO (corresponde ao volume do edifício), PONTOS (todos os pontos que compõem a geometria do edifício) e BODY (ponto material de onde partirá a malha). A Figura 58 mostra as *Parts* da Tipologia 1 onde automaticamente são escolhidas cores diferenciadas pelo programa para cada uma delas.

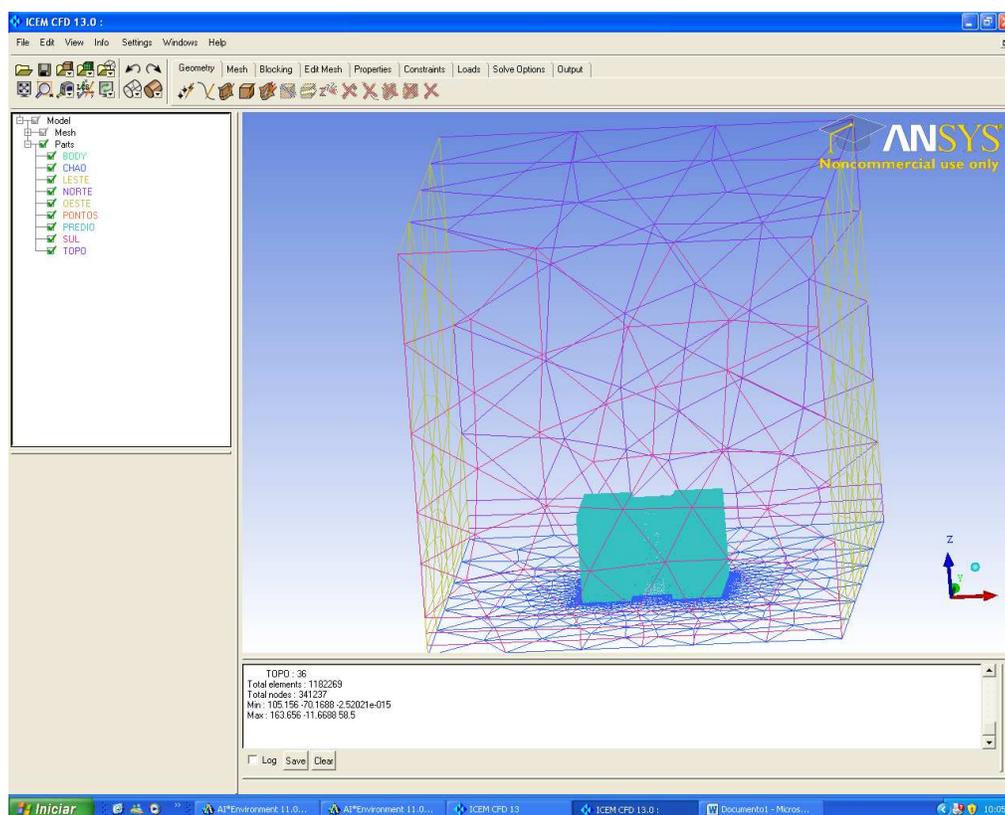


Figura 58: parts da tipologia 1.

Em seguida iniciou-se o processo de confecção da malha. De uma forma em geral as malhas podem ser classificadas como: a) estruturadas, onde os elementos encontram-se distribuídos de forma regular; e b) não-estruturadas, cujos elementos encontram-se distribuídos de forma irregular. Segundo Harries (2005 Apud CÓSTOLA, 2006), a malha pode ser formada por elementos de tetraedros, pirâmides, primas e hexaedros. Sobre isso Cost (2004) destaca que é melhor o uso de malhas estruturadas que sejam formadas por hexaedros. Em outras simulações computacionais de ventilação natural (PRATA, 2005; FIGUEIREDO, 2008; LEITE, 2010), utilizou-se a malha estruturada tetraédrica e não hexaédrica, em função de sua menor complexidade computacional e tempo de simulação, além disso, se ajusta melhor a geometrias ortogonais, como facilmente encontramos na arquitetura. Os principais parâmetros usados para construção da malha tetraédrica usada nesta tese estão expostos na Tabela 15. Ressalta-se que

diferentemente de outros autores que defendem um número fixo para *maximum element size*, nesta tese deixou-se este valor em aberto, permitindo que a malha se expanda até o valor máximo possível dentro do domínio.

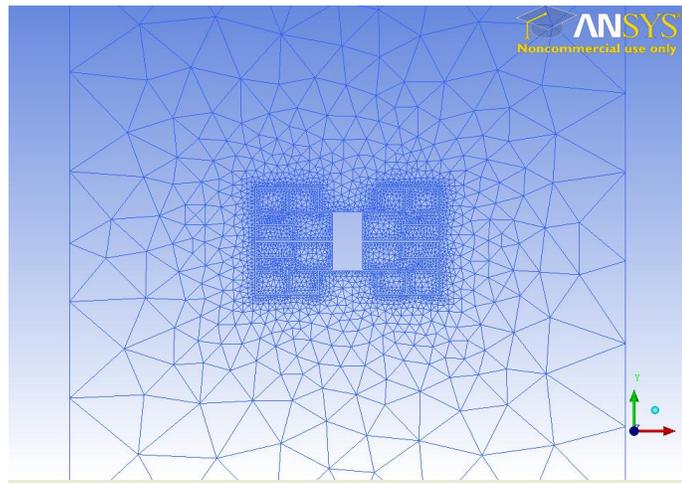
Tabela 15: parâmetros para construção da malha tetraédrica.

Global Mesh Setup	
Scale Factor:	1
Max element:	0
Global Mesh Parameters	
Mesh Type:	Tetra/Mixed
Tetra/Mixed:	Robust (Octree)

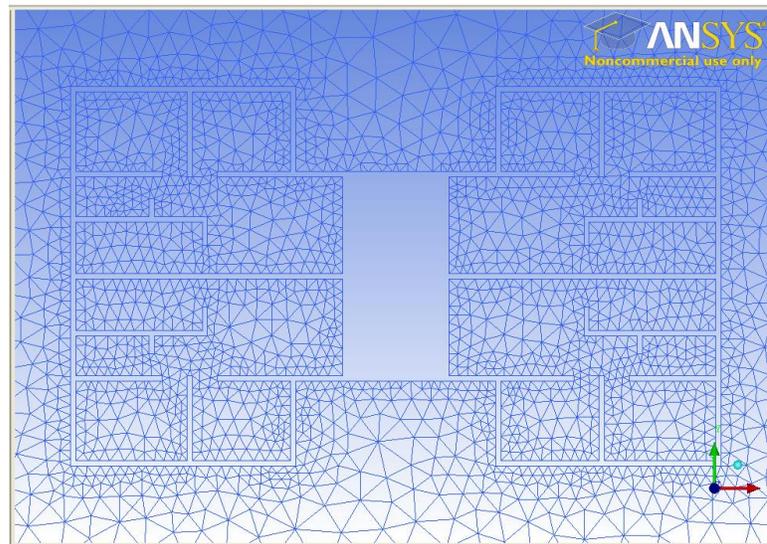
De acordo com Prata (2005) a malha pode possuir vários tamanhos conforme o nível de detalhamento a observar, entretanto, ressalta a autora que de acordo com o grau de detalhes, torna-se necessário um computador compatível com a demanda de memória, capacidade de processamento e placa de vídeo. Segundo diversos autores, o sucesso da simulação depende diretamente do seu refinamento (HARRIES, 2005, apud CÓSTOLA, 2006). Malhas mais grosseiras ocasionam descontinuidade e assimetrias no fluxo de ar. Além disso, Cost (2004) destaca a importância de refinar a malha nas áreas próximas a arestas vivas e outros pontos de descolamento da camada limite. Nesta tese, refinou-se o tamanho da malha próximo as *Parts* CHAO e PREDIO, que são as regiões de interesse deste estudo, onde se determinou o tamanho máximo do tetraedro de 0,30m (ver Figuras 59 e 60).

part	prism	hexa-core	max size	height	height ratio	num layers	tetra size ratio	tetra width	min size limit	max deviation	int wall	split wall
BODY	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
CHAO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LESTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NORTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DESTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PONTOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
PREDIO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.3	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SUL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TOPO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura59: refinamento da malha nas Parts Chão e Prédio com tamanho máximo do tetraedro/prisma de 0,30m.



(a)



(b)

Figura 60: visualização da malha tetraédrica do estudo de caso 1(a), visualização aproximada em planta (b).

O programa gera a malha automaticamente, adequando-a a forma do edifício e refinando nos detalhes. Nos cantos dos obstáculos, uma borda de prismas pode ser produzida com o objetivo de dar maior qualidade à malha, deixando as faces normais alinhadas ao escoamento. Nesta pesquisa optou-se pela construção dos prismas associados à malha tetraédrica. A malha pode ser ainda alterada a partir da inserção de parâmetros para alisamento (*smoothing*) da mesma,

melhorando a qualidade dos piores tetraedros. Os parâmetros adotados nesta etapa estão descritos na Tabela 16.

Tabela 16: parâmetros para alisamento da malha (*smoothing*).

Smooth Mesh	
Iterations:	25
Min Quality	0.20
Criterion	Quality

Por fim é possível obter a informação da quantidade total de nós e de elementos que compõem a malha. Este número determina a capacidade computacional necessária para rodar a simulação e o tempo utilizado em cada iteração. Cóstola (2006) destaca que são necessários 0.5GB de memória RAM para cada 1 milhão de células na malha. Sendo assim, dependendo do refinamento da malha, pode ocorrer demora no processamento da simulação e até mesmo travamento das máquinas. Como exemplo, no estudo de caso 1 foram gerados em torno de 1 milhão de elementos, como mostra a Tabela 17 o que foi tranquilamente executado pelo Cluster do PQGe.

Tabela 17: número total de nós e de elementos da malha do estudo de caso_1.

Estudo de caso_1		
Domain	Nodes	Elements
Default Domain	341237	1028438

Na conclusão desta fase, a malha que foi gerada é exportada ao CFX-Pre em um arquivo de extensão *.cfx5*.

4.3.3 CFX- Pre

O CFX-Pre corresponde a uma fase de preparação para o processamento da simulação, onde são introduzidos os seus parâmetros iniciais, definindo os modelos físicos, as propriedades dos materiais e as condições de contorno (*boundary conditions*).

Condições Iniciais

Nessa etapa são definidas as condições iniciais utilizadas para calcular o escoamento simulado: as características do fluido, as expressões e todas as variáveis envolvidas na simulação, as unidades de grandeza, a forma de apresentação dos resultados, o regime adotado na simulação e as condições de contorno de cada *part*. Todas essas informações podem ser salvas em um arquivo único, de extensão *.ccl. Esse arquivo pode ser gerado no próprio CFX-Pre ou ser importado de outra simulação e adaptado a esta nova (LEITE, 2008). Cóstola (2006) realizou um amplo estudo a respeito das condições de contorno necessárias para um bom resultado de simulação. A parametrização deste trabalho foi baseada nos critérios estabelecidos por este autor conforme apresentado a seguir.

Primeiramente, define-se se o regime será permanente³ ou transiente⁴. Simulações apenas do campo de ventos, normalmente são realizadas em regime permanente, uma vez que as condições de contorno se mantêm constantes (LEITE,2010; PRATA,2005). Além disso, a relação entre o campo de velocidade e a velocidade de entrada de ar no modelo se mantêm constante para velocidades de vento médias e altas.

Em seguida, especificam-se as características do domínio, que é o volume que será estudado. Especifica-se se o tipo de domínio é fluido ou sólido. Nesse caso é o fluido, sendo que

³ Quando as condições são constantes ao longo do tempo.

⁴ Quando existe uma variação das condições ao longo do tempo.

para fins de trabalho o ar é considerado como gás ideal. Considera-se ainda a pressão de referência como a pressão atmosférica local (1 atm).

O próximo passo é determinar o regime térmico a ser utilizado. Simulações de vento em condição de estabilidade neutra, como é o caso desta tese, normalmente desprezam as variações de temperatura, considerando que as forças mecânicas promovem uma mistura efetiva do ar que se torna isotérmico. Por isso, considera-se o ar a 25°C.

Por fim, define-se o modelo de turbulência. Em mecânica dos fluidos, designa-se por **escoamento turbulento**, **fluxo turbulento** ou simplesmente **turbulência** o escoamento de um fluido em que as partículas se misturam de forma não linear, isto é, de forma caótica com turbulência e redemoinhos, em oposição ao fluxo laminar. A modelagem numérica é uma das ferramentas disponíveis para o estudo da turbulência. Dentro deste enfoque, existem diferentes métodos: baseados na clássica decomposição de Reynolds (RANS), de simulação numérica direta (DNS) e de simulação das grandes escalas da turbulência (LES). Segundo Souza et al (2011) ainda com aplicações limitadas, porém com menor esforço computacional, os modelos mais viáveis por questões computacionais são os modelos de turbulência baseados na decomposição de Reynolds, que são também conhecidos como modelos RANS (*Reynolds Averaged Navier-Stokes*). Dentre os modelos RANS, muitos autores (PRATA, 2005; LEITE, 2010) utilizam o modelo k- ϵ (k-Epsilon), por oferecer a melhor relação custo- benefício (tempo de processamento e precisão).

Neste trabalho, utilizou-se o modelo de turbulência híbrido conhecido pela sigla SST que reúne dois tipos de modelos: o k- ϵ (k-Epsilon), que apresenta 2 equações de transporte e é usado para escoamentos próximos à superfícies sólidas e o k- ω (k-ômega), que também apresenta 2 equações de transporte e é mais usado para escoamentos externos. Esta decisão deu-se em função do objetivo da tese que visa à ventilação interna dos edifícios, ou seja, o objetivo final é resolver escoamento confinado, no entanto, há também a parte externa que deve ser resolvida.

Posteriormente, são definidos alguns parâmetros de controle da simulação, como o número máximo de iterações que é o número de vezes que os cálculos da simulação são realizados até que se alcance o número mínimo de resíduos. Adotou-se o número mínimo de 300 e o número máximo de 5000 iterações. Por fim, adota-se o critério de convergência, normalmente 10^{-4} , indicado pelo próprio tutorial do programa, também adotado neste trabalho. Este parâmetro será esclarecido no item 4.2.4.

De acordo com os parâmetros estabelecidos, por exemplo, a simulação do estudo de caso 1 demorou 44 horas para ser processada no PQGe.

Condições de contorno

As condições de contorno são restrições aplicadas ao escoamento em cada uma das fronteiras do espaço a ser simulado, conhecido como domínio. Essas condições desempenham um papel fundamental na solução das equações de transporte. Cóstola (2006) destaca que como essas equações são as mesmas para todos os fluidos, o que diferencia a solução obtida para os diferentes escoamentos é o conjunto de condições de contorno fornecido, ou seja: as fronteiras sólidas (lisas, rugosas, estáticas, móveis); e o vento (direção, intensidade e turbulência).

As condições de contorno são um conjunto de parâmetros aplicados às *parts* do domínio, que interferem diretamente no escoamento. Estabelecer uma condição de contorno significa determinar uma característica para cada uma das faces das *parts* que definirá a maneira como esta face influenciará no escoamento (LEITE, 2008).

As *parts* são classificadas em quatro grupos diferentes de condições de contorno: parede (*wall*); entrada (*inlet*); saída (*outlet*) e abertura (*opening*). Parede é uma condição de contorno que se refere a uma fronteira sólida, não permitindo a entrada ou a saída de fluido do domínio. Já os termos entrada (*inlet*), saída (*outlet*) ou abertura (*opening*) são condições de contorno referentes às fronteiras pelas quais o fluido entra ou sai do domínio. Utilizou-se nesta tese a opção em que a *part* INLET está na face de entrada do fluido e as outras quatro faces (face de saída, duas faces

laterais e uma face de topo) como OPENINGS (aberturas) por onde o fluido tanto pode entrar como sair (Figura 61). As *Parts* PREDIO e CHÃO são consideradas como paredes (wall).

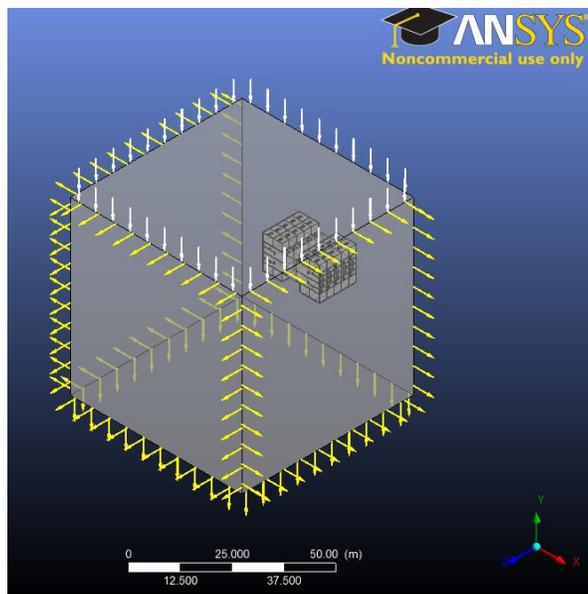


Figura 61: Part INLET (setas brancas) e OPENINGS (setas amarelas). Exemplo: Tipologia 1. Vento 0° (Norte).

As paredes podem exercer dois tipos de influência sobre o fluido: sem escorregamento (*no slip*) e com escorregamento (*free slip*). Segundo Cóstola (2006), essa classificação permite dar tratamento diferenciado as paredes “reais” (como as do edifício e do piso, que são classificadas como sendo sem escorregamento) e as paredes “para fins de simulação”⁵ (como o teto e as bordas laterais do domínio, que são classificadas com escorregamento). Nas paredes classificadas “com escorregamento” não há camada limite e o fluido não adere ao sólido, o que minimiza os efeitos dessa fronteira na simulação (CÓSTOLA, 2006).

⁵ O termo das paredes “para fins de simulação” é, segundo Fox (2001), devido ao fato dos fluidos newtonianos caracterizarem-se pela condição de não-deslizamento e, quando em contato com uma fronteira sólida, aderem a ela e adquirem a mesma velocidade desta fronteira.

No caso das paredes reais, a condição adotada é a de não escorregamento do fluido. As partículas fluidas aderem à fronteira sólida, onde a velocidade do fluido neste ponto é igual a zero. À medida que é mantida essa condição de não escorregamento, influencia no arrasto provocado pela parede e na camada limite que se formará devido a sua presença, sendo necessário definir a sua rugosidade. A rugosidade pode ser definida como lisa (*smooth*) e rugosa (*rough*) (CÓSTOLA, 2006). Segundo Cost (2004) as faces do edifício e o piso da área onde estão os edifícios devem ser considerados lisos, o que foi adotado na pesquisa.

Brandão (2009) especifica detalhadamente as condições de contorno das superfícies sólidas, em relação ao comportamento aerodinâmico das mesmas:

- ***Free slip***: a superfície é considerada como sem atrito. O fluido não consegue atravessá-la, mas não há arraste, estabelecendo um perfil de escoamento uniforme ao longo do elemento. No caso de simulações de ventos externas, esta condição é aplicada normalmente nas paredes e no teto do domínio, reduzindo o impacto destas superfícies no comportamento do fluido.
- ***No slip (smooth wall)***: há um coeficiente de atrito entre a superfície e o fluido, mas a ordem de grandeza da rugosidade é considerada muito inferior à do elemento em si. Este tipo de condição limite é colocado nas envoltórias da edificação e no piso do modelo, representando as superfícies urbanas onde a aspereza dos elementos se torna secundária na escala em que o fluxo é tratado.
- ***No slip (rough wall)***: permite atribuir à superfície uma rugosidade, aumentando o seu coeficiente de atrito. Com isso, é possível estabelecer uma rugosidade na parte inicial do modelo ou considerar elementos na fachada como varandas, venezianas e detalhes arquitetônicos que interferem no vento.

Como foi visto anteriormente, no domínio, uma das faces é definida como entrada de vento (INLET), onde se atribui uma velocidade que reproduz o vento a ser modelado. Segundo Neto et al. (2011), é importante que a variação da velocidade do vento com a altura seja considerada. Perfis de velocidade do vento para diferentes situações podem ser encontradas na

literatura especializada. Aqui utilizou-se a equação de perfil logarítmico do vento, mencionada anteriormente na equação 10.

Os valores de referência são os valores médios anuais obtidos para cada direção, indicados no subcapítulo 4.1. Assim, para o vento Norte, o valor de velocidade $V_{(10)}$ adotado foi de 2,64m/s. Com isso, automaticamente o CFX calculou todo o perfil de vento para esta velocidade. Procedeu-se desta maneira para direções de vento ortogonais (norte, sul, leste e oeste). Para direções de vento oblíquas (nordeste, sudeste, sudoeste e noroeste) fez-se a decomposição vetorial para entrada dos componentes no eixo x e y como mostra a Figura 62.

Vento: SUDESTE

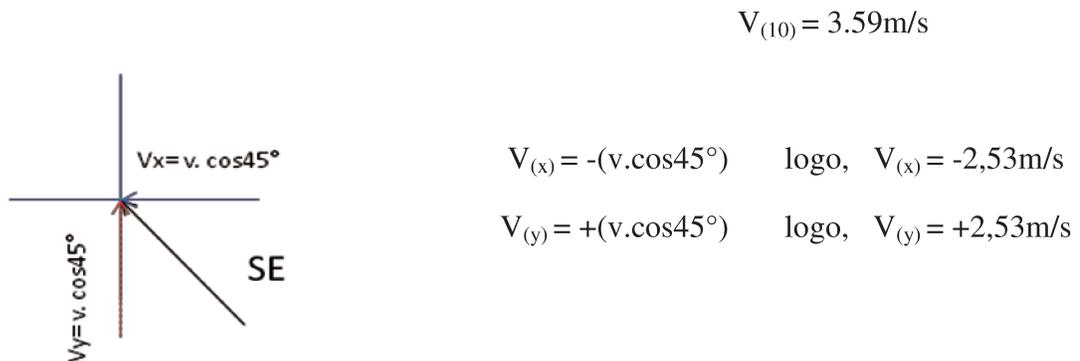


Figura 62: decomposição vetorial do vento sudeste.

Assim, como dados de entrada foram digitados os valores de velocidade das componentes cartesianas acima descritas. Ressalta-se que no CFX a componente horizontal (eixo X) é chamada-se U, componente vertical (eixo Y) chama-se V e a componente em altura (eixo Z) chama-se W.

Feito isto o CFX adotou a intensidade do vento fornecida na equação do perfil logarítmico incidente da Part LESTE e da Part SUL, para simular o vento SUDESTE.

Neste momento é importante ressaltar que a escolha do formato do domínio cúbico deu muita agilidade às simulações, pois as mesmas modelagens e malha, foram usadas para simular qualquer direção do vento. Isto é possível apenas alterando a direção do vento através da edição do arquivo . *ccl* .

Em qualquer forma de domínio utilizada, a turbulência deve ser fornecida juntamente à velocidade. No CFX, não é possível fornecer um perfil de turbulência. Pode-se apenas informar níveis de turbulência (1, 5 ou 10%). Cóstola (2006) sugere que seja utilizado o valor padrão do software: turbulência de média intensidade (5%) na fronteira da entrada, o que foi adotado.

A extensão do domínio deve ser suficiente para que as condições de entrada sejam iguais às condições de saída. Assim, é comum que se estabeleça uma pressão relativa nula na saída, para se verificar a adequação do domínio.

Ao final dessa etapa, a simulação é salva com extensão *.*cfx* e, em seguida, é exportada para o CFX-Solver.

A título ilustrativo extraiu-se o quadro das condições de contorno adotadas na simulação do estudo de caso-1 (igual para os demais) como exemplo de vento incidente Norte (Figura 63).

Domain	Boundaries	
Default Domain	Boundary - vento	
	Type	INLET
	Location	NORTE
	<i>Settings</i>	
	Flow Regime	Subsonic
	Mass And Momentum	Normal Speed
	Normal Speed	perfilVelocidade
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
	Boundary - aberturas	
	Type	OUTLET
	Location	LESTE, OESTE, TOPO, SUL
	<i>Settings</i>	
	Flow Regime	Subsonic
	Mass And Momentum	Average Static Pressure
	Pressure Profile Blend	5.0000e-02
	Relative Pressure	0.0000e+00 [Pa]
	Pressure Averaging	Average Over Whole Outlet
	Boundary - Default Domain Default	
	Type	WALL
	Location	Primitive 2D, Primitive 2D A, Primitive 2D B, Primitive 2D C, Primitive 2D D
	<i>Settings</i>	
	Mass And Momentum	No Slip Wall
	Wall Roughness	Smooth Wall
	Boundary - edificios_caso	
	Type	WALL
	Location	PREDIO
	<i>Settings</i>	
Mass And Momentum	No Slip Wall	
Wall Roughness	Smooth Wall	

Figura 63: Condições de contorno adotadas na tipologia 1.Vento 0° (Norte).

4.3.4 CFX- Solver

O módulo Solver aplica os parâmetros e as equações determinadas na etapa do CFX-Pre para calcular os resultados da simulação. Nesta fase, destaca Prata (2005), também é possível monitorar os cálculos, os balanços globais, os pontos definidos para verificação de valores

calculados, expressões, etc. Ao final do processamento da simulação o CFX gera um arquivo de resultados com a extensão *.res* para ser trabalhado no CFX-Post, etapa seguinte.

A confiabilidade dos resultados gerados na simulação é observada através da convergência. Cost (2004) sugere que o resíduo obtido na simulação seja igual ou inferior a 10^{-4} , e o CFX (2003) ressalta que os resíduos acima de 10^{-4} , são muito pouco confiáveis. A partir do gráfico de erros gerado para a simulação, é possível observar se o erro converge de forma estável, sem grandes oscilações, para o valor adotado pelo critério de erro. A Figura 64 mostra um gráfico extraído da simulação do estudo de caso_1. Nota-se que o resíduo esperado foi alcançado e as simulações encerraram-se no número máximo de 5000 iterações.

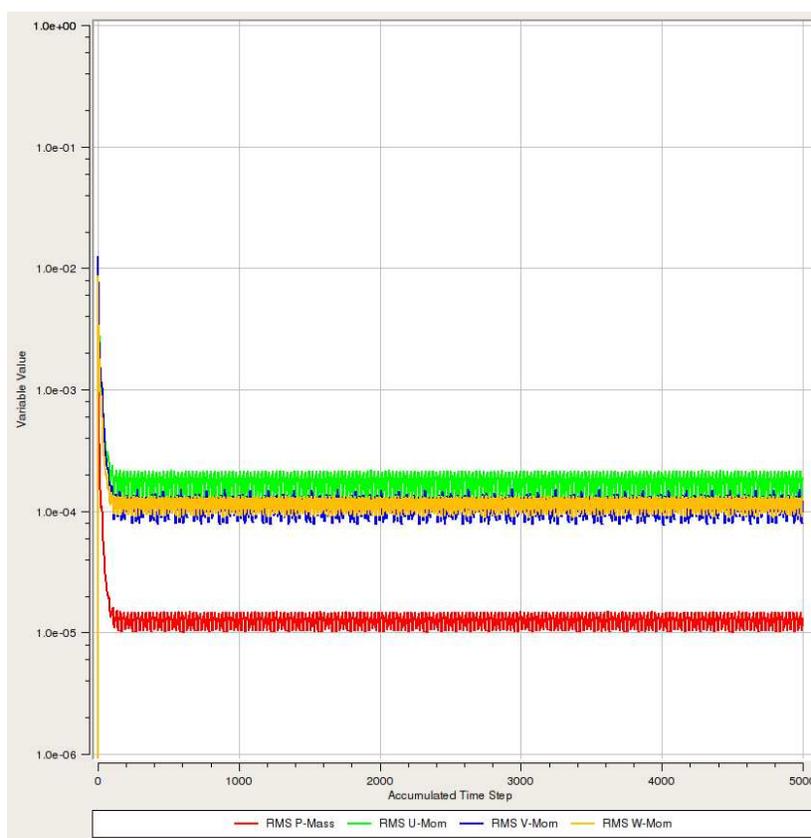


Figura 64: Convergência do estudo de caso 1 ocorreu em 10^{-4} .

4.3.5 CFX- Post

No CFX-Post, os resultados podem ser analisados de forma qualitativa e quantitativa, de acordo com o objetivo do estudo. Muitas informações podem ser obtidas sobre o escoamento do fluido dentro do domínio, como: direção, velocidade do vento, pressão nas superfícies, diferenças de temperatura, entre outras.

Do ponto de vista qualitativo, muitas são as ferramentas que o programa oferece para visualização do comportamento do fluido em questão. Normalmente a visualização inicial é através da definição de planos em alturas de interesse. Nesta tese foram gerados três planos horizontais: Plano 1, localizado a 1,5m do solo (altura de zona de respiração humana do primeiro pavimento), Plano 2, localizado a 6,5m do solo (altura de zona de respiração do terceiro pavimento) e Plano 3, localizado a 11,5m do solo (altura de zona de respiração do quinto pavimento). Em cada um dos planos foram analisadas inicialmente a direção e a velocidade dos ventos, ainda numa visão global, como mostra a Figura 65.

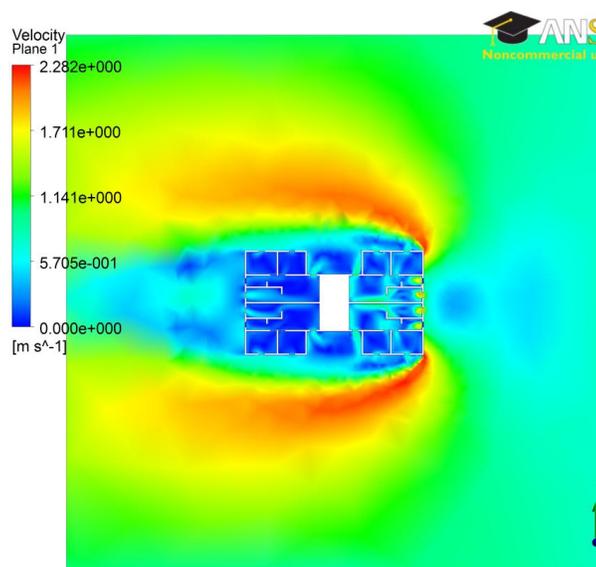


Figura 65: Visualização por meio de plano- Plano 1 (H=1,5m) da Tipologia 1. Vento incidente 90°.

Ainda na intenção de saber como se comportou o fluxo no entorno do edifício, algumas imagens foram criadas com a ferramenta *Streamline* ou “linhas de corrente”, que significa a visualização do fluxo através de linhas desde a entrada até a saída do domínio, como mostra a Figura 66.



Figura 66: Visualização do fluxo no entorno do edifício no Plano1 (Tipologia 1.-Vento 0°)

Posteriormente, visando melhor entendimento do comportamento do fluido dentro das unidades habitacionais nos referidos planos, realizou-se a visualização por meio de vetores, onde a direção e velocidade são visualizadas através das cores, como mostra a Figura 67.

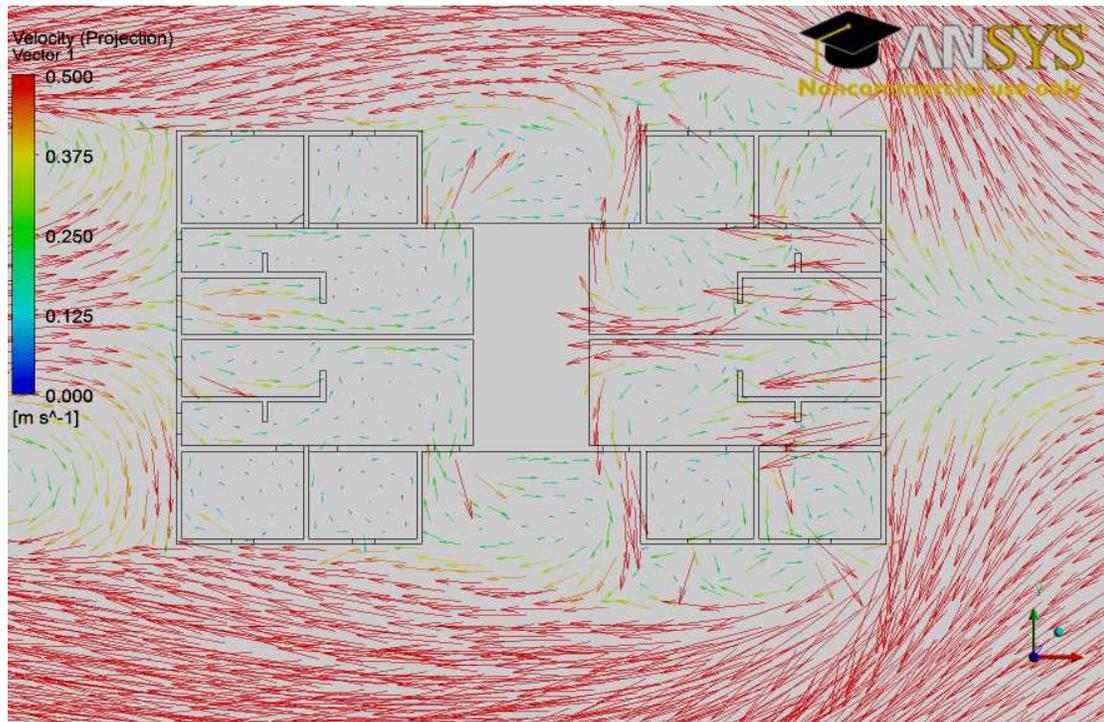


Figura 67: Visualização por meio de vetores- Plano1 da tipologia1. Vento 90°.

Essas variedades de visualizações permitem uma análise qualitativa do escoamento de forma rápida e direta. Detalhes importantes podem ser convenientemente visualizados, como as zonas de recirculação devido à separação da camada limite.

Tratando especificamente de análises quantitativas, Leite (2008) exemplifica o uso de *monitor points*, ou seja, pontos de monitoramento distribuídos estrategicamente nos locais escolhidos, para a mensuração de grandezas aerodinâmicas, como pressão, velocidades do ar, temperatura, entre outros (Figura 68).

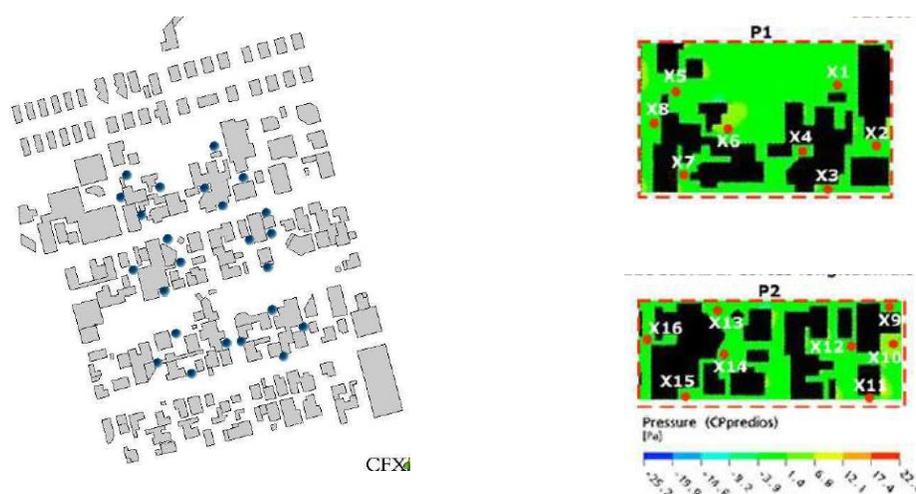


Figura 68: Monitor points (LEITE, 2008)

A criação de pontos estratégicos pode ser feita mesmo na fase de criação de geometria, onde, anotadas as coordenadas cartesianas dos mesmos, se pode no CFX-Post, obter em tabelas os resultados da variável desejada nos mesmos: pressão, temperatura, velocidade do ar, dentre outras.

Outra maneira de análises quantitativas são as *Isoclips* ou “*curvas isométricas em planos estacionados*”, que correspondem a um corte na simulação segundo parâmetros do domínio (distâncias nos eixos x e y) fornecidos pelo usuário (ver Figura 69). 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 somente naquele local. Esta ferramenta foi muito importante, pois permitiu a obtenção dos valores de **velocidade média** em cada ambiente de cada unidade habitacional nos três planos em questão (ver Figura 70).

Sendo assim, foram utilizadas as coordenadas x e y para obtenção isolada de cada *isoclip* em cada cômodo. Foram construídas 60 isoclips para o estudo de caso 1 ; 72 para o estudo de caso 2 (contou-se a área de serviço como um ambiente separado) e 120 para o estudo de caso 3. Um pequeno hall foi excluído destas análises por não ser necessário.

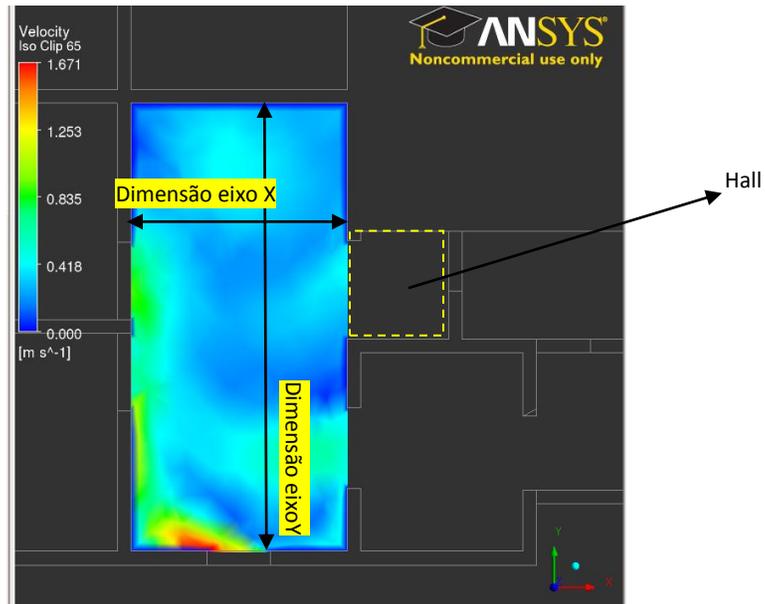


Figura 69: *Isoclip* da sala do estudo de caso 2 no quinto pavimento.

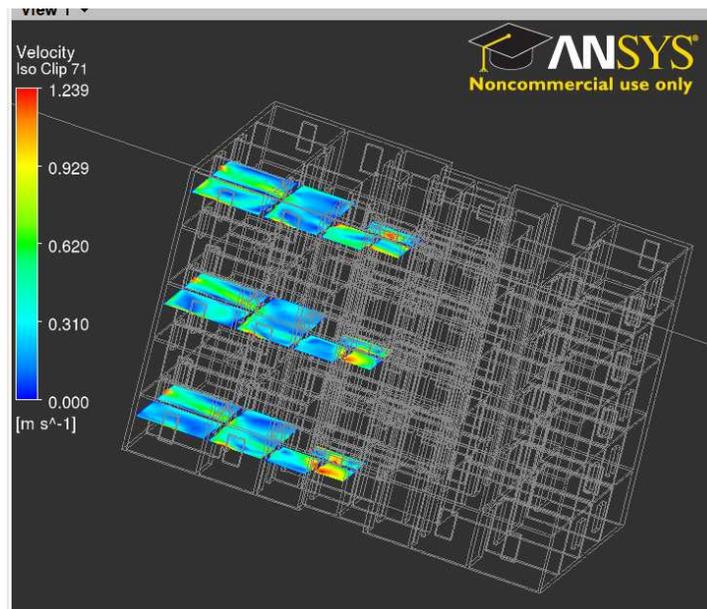


Figura 70: Visualização de isoclips- Plano1, 2 e 3 da tipologia 2. Vento 90°.

4.3.6 Escala cromática de velocidades médias aplicada ao conforto

Além de usar nas análises os dados quantitativos de velocidades médias obtidas na *Isoclips* anteriormente mencionadas, elaborou-se uma escala cromática relacionando os valores obtidos ao conforto térmico no intuito de mostrar rapidamente ao projetista como ocorreu internamente a ventilação natural daquele edifício sob aquele ângulo de incidência, sem precisar necessariamente ver todo o banco de dados. Esta escala foi desenvolvida com base no trabalho de Cândido et al (2010), exposto anteriormente no capítulo 2, onde a autora questionou os limites de aceitabilidade do movimento do ar previsto em normas internacionais como ASHRAE 55 e ISO 7730 e, através de experimento prático realizado aqui no Brasil, mostrou que nossos limites são diferentes dos praticados em países europeus, aos quais se aplicam as normas supracitadas.

Assim nossa escala cromática (mostrada da Figura 71) se divide em quatro níveis de velocidades médias: de 0 à 0,2m/s pode-se dizer que a ventilação natural é imperceptível (cor vermelha); de 0,21 à 0,4 m/s se caracteriza como ventilação natural apenas existente (cor amarela); de 0,41 à 0,8m/s ocorre realmente ventilação natural satisfatória pois nesta faixa de valores é realmente possível afirmar que há redução de carga térmica consequentemente contribui para o conforto (cor verde); e por fim de 0,81m/s em diante é de comum consenso que deve haver um controle por parte do usuário, pois nestas velocidades o vento passa a levantar papéis, cabelos, roupas e objetos (cor azul).

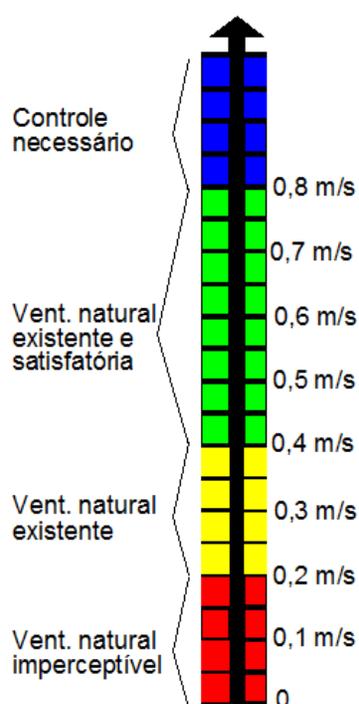


Figura 71: escala cromática de velocidades médias aplicada ao conforto térmico.

Esta escala foi usada sempre no final de cada análise como forma resumida de apresentar os resultados de cada tipologia para cada ângulo de incidência do vento.

4.3.7 Dificuldades encontradas

O software ANSYS CFX é considerado uma excelente ferramenta para avaliação da ventilação natural no edifício e no espaço urbano. Possibilita uma grande flexibilidade nas condições de análise, fornecendo resultados quantitativos e qualitativos. Além disso, o modelo do CFX não sofre limitações de escala, como ocorre nos experimentos em túnel de vento.

No entanto, apesar das inúmeras vantagens é importante ressaltar as desvantagens do software. Primeiro, por ser um software internacional, a licença comercial possui um custo elevado. Além disso, exige uma disponibilidade de tempo para aprofundar nos conhecimentos de mecânica dos fluidos. Por outro lado, é necessária uma alta capacidade computacional para gerar

a malha e rodar modelos de simulação mais complexos. Isto foi crucial nesta tese, pois como havia necessidade de alta capacidade computacional, as simulações foram realizadas no Laboratório PQGe, havendo necessidade de agendar previamente todas as visitas e simulações.

É importante ressaltar ainda que a verificação e a validação dos resultados são indispensáveis para garantir sua confiabilidade.

Apesar de todos estes cuidados e dificuldades de se trabalhar com CFD, não se pode negar que trata-se de uma poderosa ferramenta que pode ser muito útil ao projetista, principalmente na identificação de problemas e busca de soluções ainda na fase de projeto para questões de ventilação. O grande desafio que fica para as futuras gerações é aproximar este tipo de ferramenta da vida cotidiana dos projetistas levando-se em consideração as dificuldades acima citadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são expostos e discutidos os resultados obtidos nesta pesquisa através das simulações computacionais da ventilação natural interna das três tipologias de edifícios do PMCMV.

As análises de resultados são apresentadas em 3 direções de vento incidente: 0° (usou-se banco de dados do vento norte), 90° (usou-se banco de dados do vento leste), incidência de vento oblíquo à 135° (usou-se banco de dados do vento sudeste). Como os edifícios estudados são simétricos, os resultados destas três incidências de vento poderão orientar os projetistas, caso o vento numa dada localidade, ocorra na incidência oposta. Além disso, conhecendo os valores de referência do vento a 10 m de altura na localidade estudada, tem como se ter noção se a situação é pior ou melhor do que a que foi apresentada nestes resultados.

A intenção final é realizar uma análise e discutir o que ocorreu do ponto de vista da ventilação natural interna nas três tipologias sempre visando à ventilação para conforto térmico dos usuários. Sendo assim, a variável mais evidente é a velocidade do ar, uma vez que é um dos fatores da promoção do conforto térmico.

Para tal adotou-se uma metodologia de análise dos resultados que inicialmente é aplicada a cada tipologia isolada e posteriormente realiza análise comparativa estatística entre as três tipologias. A análise isolada de cada tipologia seguiu os seguintes passos:

- 1) Comportamento do fluxo de ar externo ao se deparar com o volume do edifício (para tal foram usadas imagens obtidas na simulação computacional de “linhas de corrente” ou *streamlines*, além de imagens em planos estratégicos);
- 2) Percurso do fluxo de ar interno nos apartamentos (para tal usou-se imagens obtidas na simulação computacional de vetores que simulam a direção velocidade do vento);
- 3) Análise quantitativa da velocidade média do ar por ambiente (os valores de velocidade média foram obtidos na simulação computacional através das *isoclips* de cada ambiente);
- 4) Uso da escala cromática de valores de velocidade média aplicada ao conforto térmico (desenvolvida nesta tese e explicada no capítulo 4).

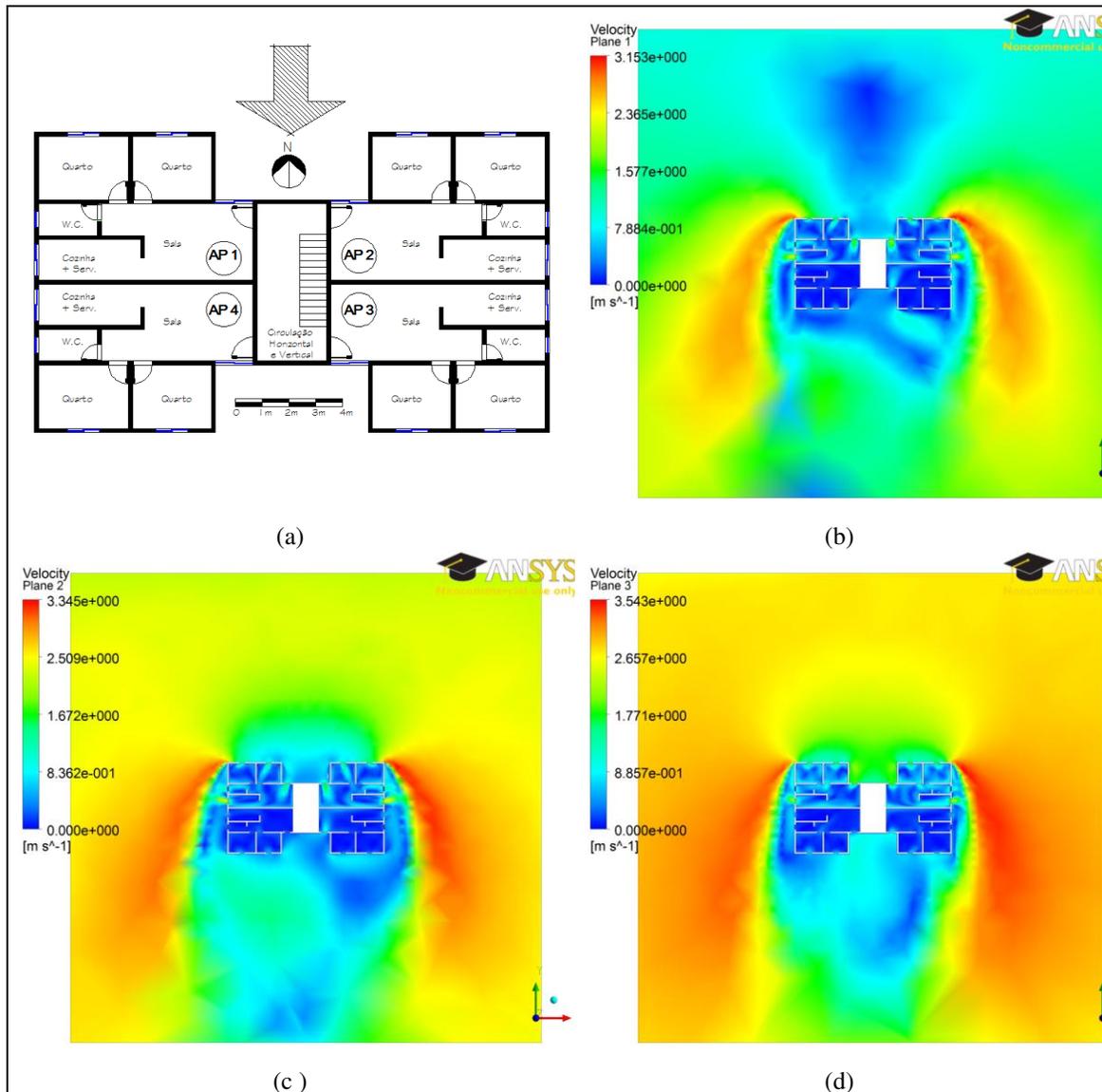
Ao final de cada tipologia elaborou-se um quadro resumo com as três respostas de ventilação natural segundo ângulo de incidência do vento. Neste quadro registrou-se também valores de aproveitamento do vento externo no ambiente interno baseado no estudo do Givoni (1962), onde se faz uma proporção entre a velocidade média interna no cômodo em relação ao vento externo incidente livre (na mesma altura). Assim o projetista terá uma noção real do comportamento da ventilação em cada tipologia e em cada ângulo de incidência.

5.1 Tipologia 1- Planta em “H”

5.1.1 Vento incidente a 0° (Norte)

Inicialmente discute-se o fluxo de ar externo ao edifício quando o vento incide a 0°. Para tal elaborou-se o Quadro 01, que reúne a imagem da geometria da tipologia 1 e imagens do fluxo de ar externo nos pavimentos estudados. Observou-se que no primeiro pavimento, considerando-se dois fatores (menores velocidades e a influência da proximidade com o piso do modelo), a massa de ar tende a subir e se divide também nas laterais do edifício, devido ao efeito de borda, abrindo uma “esteira” muito larga nas laterais. No terceiro pavimento a esteira lateral diminuiu e a “sombra de vento” concentrou-se mais na parte traseira do edifício. No quinto pavimento (maior velocidade), a esteira diminuiu ainda mais, e o fluxo externo aproximou-se mais do corpo do edifício.

Quadro 01: Análise de fluxo externo ao edifício da tipologia 1. Vento incidente 0°.



Legenda:

- (a) Planta Baixa da Tipologia 1. Vento incidente à 0°.
- (b) Imagem do fluxo de ar externo no primeiro pavimento
- (c) Imagem do fluxo de ar externo no terceiro pavimento
- (d) Imagem do fluxo de ar externo no quinto pavimento

Ainda na análise do fluxo externo ao edifício, devido a existência de turbulência, origina-se um vórtice na região à sotavento do edifício que oscila de um lado para outro, atingindo ora a região do apartamento 3, como mostra a Figura 72, ora do apartamento 4.

Mudando o foco de análise, as Figuras 73, 74 e 75 apresentam com mais detalhes o que ocorre no interior dos apartamentos, respectivamente no primeiro, terceiro e quinto pavimentos.

Devido ao ângulo de incidência do vento (0°), o mesmo entra pelas aberturas da sala e quartos dos apartamentos 1 e 2 (posicionados a barlavento), saindo pelas aberturas da cozinha e banheiro, localizadas na zona de pressão negativa, funcionando, portanto, como saídas de ar. Nos apartamentos 3 e 4 (posicionados a sotavento), o vento também entra pelos quartos e sala (por sucção) e sai pela cozinha e banheiros.



Figura 72: Imagem de “linhas de correntes” vistas do sul para vento incidente norte $h=1,5\text{m}$.

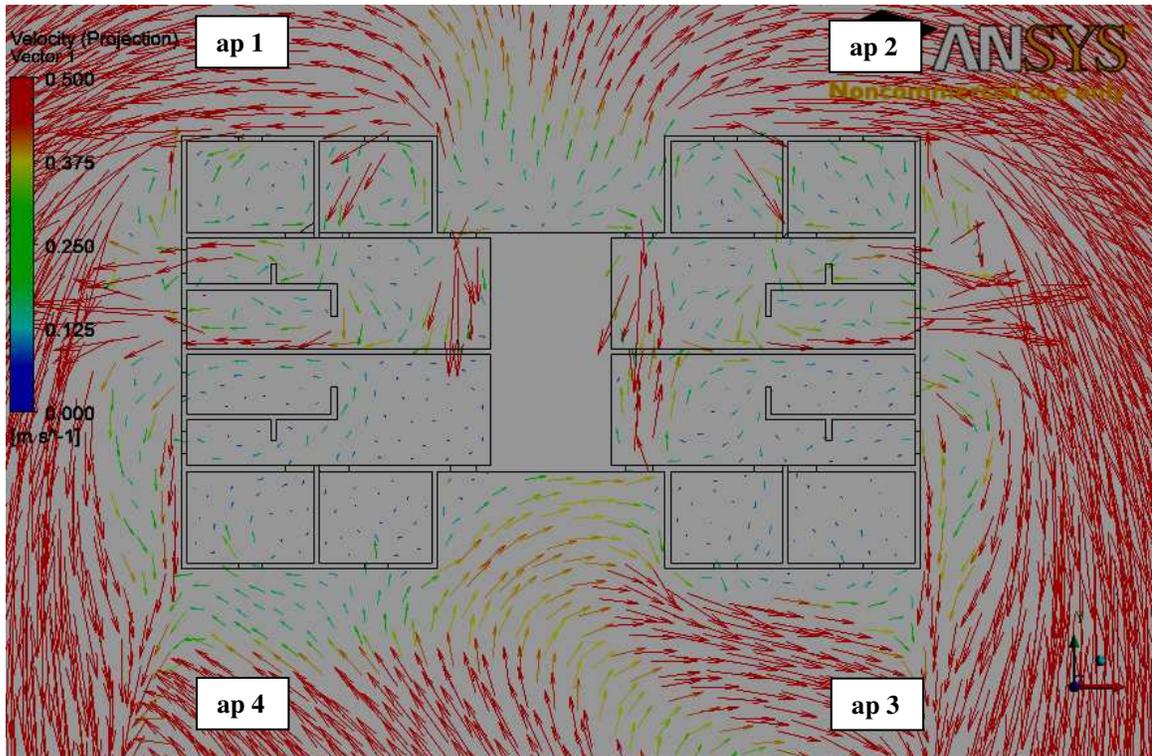


Figura 73: Visualização dos vetores no estudo de caso 1 para vento incidente Norte h=1,5m.

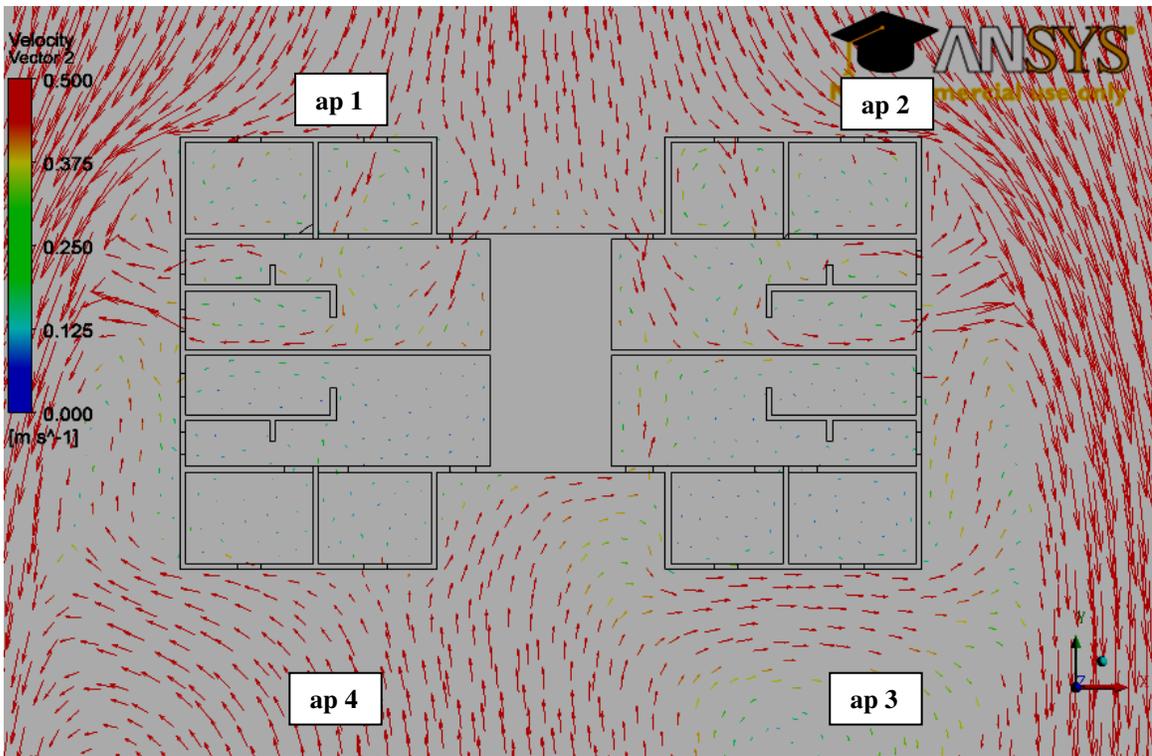


Figura 74: Visualização dos vetores no estudo de caso 1 para vento incidente Norte h=6,5m.

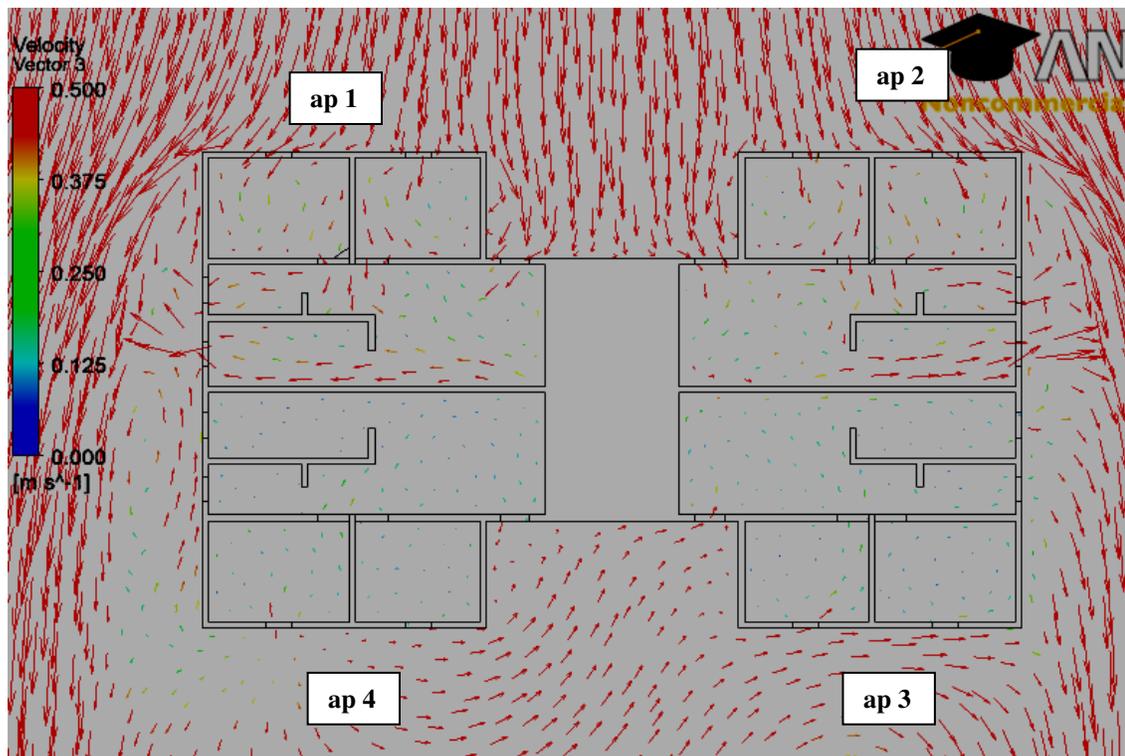
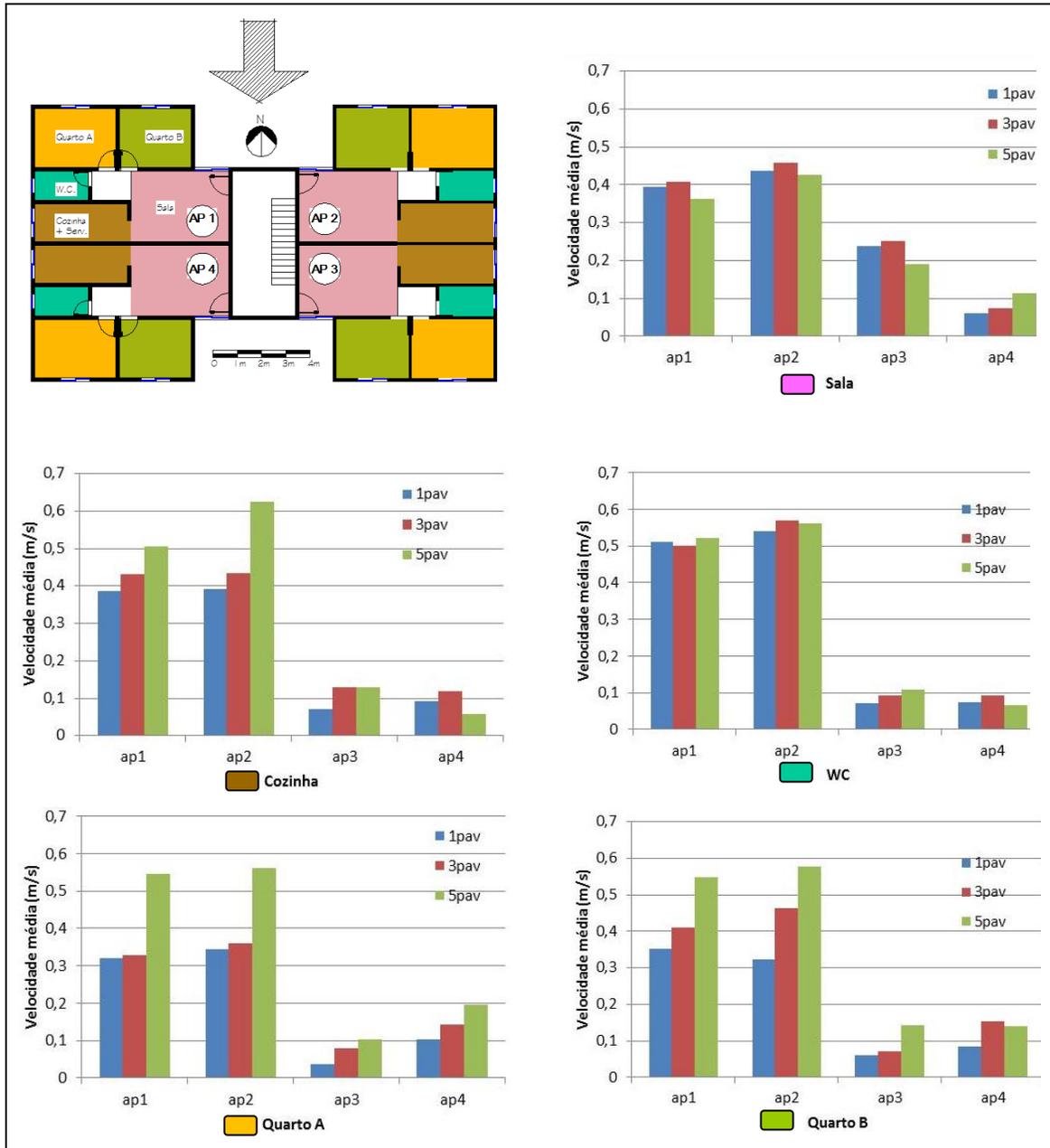


Figura 75: Visualização dos vetores no estudo de caso 1 para vento incidente Norte h=11,5m.

Quanto aos valores de velocidade média registrados nos ambientes internos, os gráficos do Quadro 02, confirmam as análises anteriores. Os ambientes de entrada de ar – quartos e salas- e de saída de ar –cozinhas e banheiros- apresentaram velocidades consideráveis apenas nos apartamentos à barlavento (ap1 e ap2). Os apartamentos 3 e 4 , posicionados à sotavento, apresentaram em seus ambientes velocidades médias muito baixas o que indica que nestas unidades, independentemente dos pavimentos, a ventilação natural é bastante deficiente. Isto indica que estas unidades estão propensas ao desconforto térmico e ao consequente aumento do consumo de energia para condicionamento de ar ou acionamento de sistema mecânico de ventilação.

Quadro 02: resultados de velocidades médias da tipologia 1 com vento incidente 0°



Para melhor visualização do resultado da ventilação natural para conforto térmico, sob incidência de vento 0° (Norte), aplicou-se a escala cromática de velocidades médias. A Figura 76 refere-se ao resultado final filtrado como maioria entre as velocidades médias obtidas no primeiro, terceiro e quinto pavimentos de cada ambiente desta tipologia.

Percebe-se que nos apartamentos à barlavento a combinação da posição de aberturas e da configuração interna promoveu bons resultados de ventilação interna, no entanto, esse resultado poderia ser melhorado se houvesse adição ou mesmo substituição da abertura de um dos quartos para lateral do edifício, o que incrementaria mais a diferença de pressão e consequentemente a ventilação dos mesmos. No entanto nos apartamentos 3 e 4 é nítida a inexistência de ventilação natural na maior parte dos ambientes, o que nos leva a considerar o aumento do uso de energia elétrica para implantação de sistemas artificiais de ventilação/exaustão.

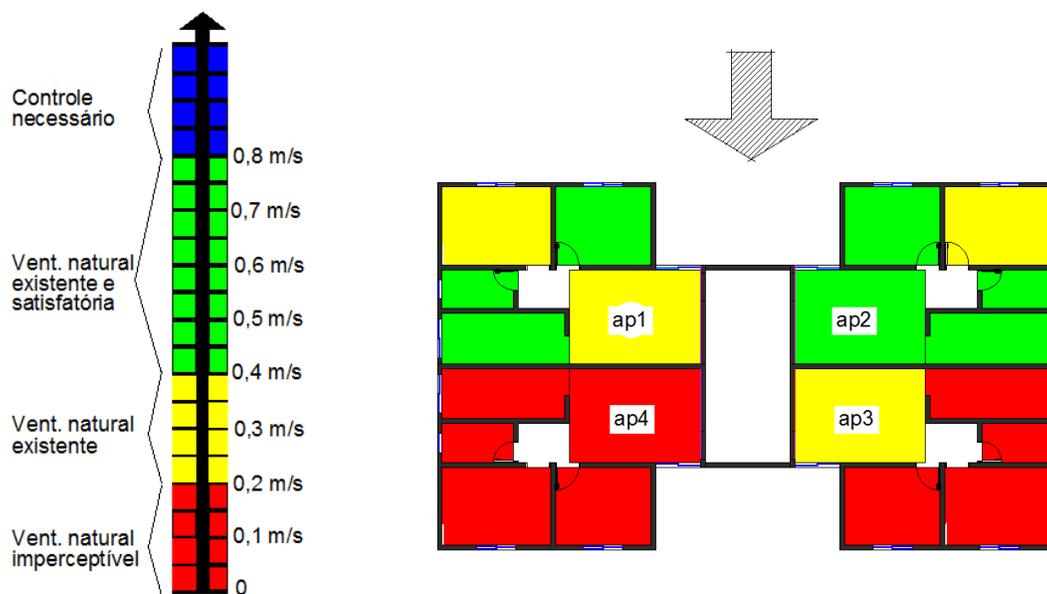


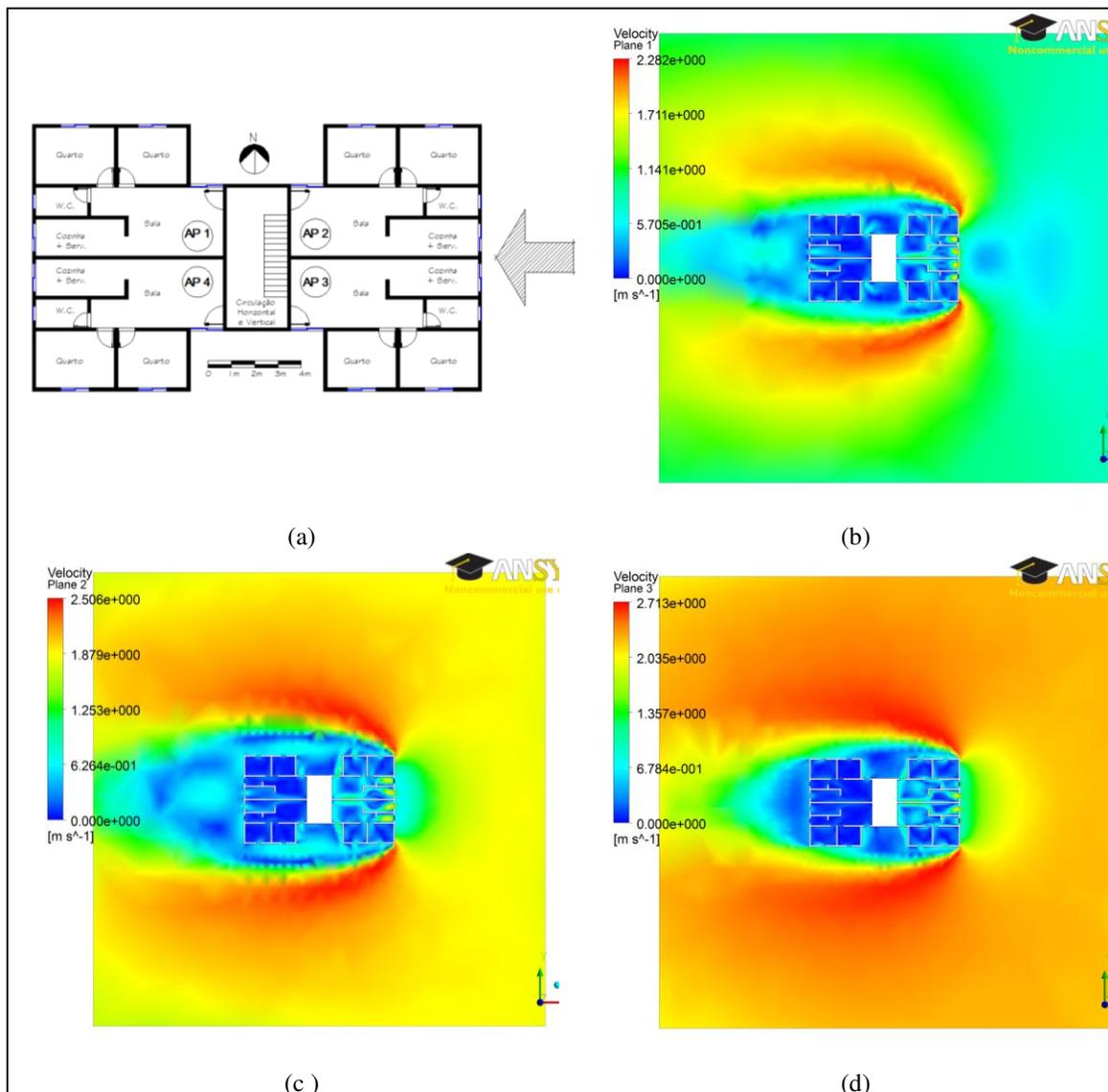
Figura 76: Aplicação da escala cromática de velocidades médias para conforto- tipologia 1-vento0°

O percentual geral de apartamentos ventilados desta tipologia para incidência de vento a 0° é de 50% dos apartamentos apenas. Isto é ocasionado, dentre outros motivos, devido a simetria formal do edifício que compromete os apartamentos à sotavento. O fato de existir a grande reentrância central bem como a abertura nela posicionada foram fatores decisivos para este resultado.

5.1.2 Vento incidente a 90° (Leste)

Para nova posição do vento incidente (à 90°), o Quadro 03 traz informações sobre geometria do edifício (a) e o fluxo de ar externo no primeiro (b), terceiro (c) e quinto (d) pavimentos. No primeiro pavimento, fica evidente o efeito de borda e a formação de turbilhões menores gerados à sotavento, a medida que o pavimento aumenta (e a velocidade de incidência também), diminui o efeito de borda e a esteira formada pela sombra de vento.

Quadro 03: Análise de fluxo externo ao edifício da tipologia 1. Vento incidente 90°.



Ainda neste contexto, a Figura 77 traz imagem complementar da formação clara de turbilhões à sotavento do edifício no primeiro pavimento.



Figura 77: “linhas de corrente” de vento incidente Leste com vórtices à sotavento (oeste) no primeiro pavimento

Voltando-se agora para uma análise no interior dos apartamentos, as imagens do fluxo de ar interno são mostradas nas Figuras 78, 79 e 80. O que ocorre em linhas gerais é que, nos apartamentos 2 e 3 (posicionados à barlavento), o vento entra fortemente pelas aberturas de cozinhas e banheiros e sai pelas aberturas de quartos e salas (nesta com mais velocidade devido a maior diferença de pressão). Este não deve ser o fluxo priorizado pelos projetistas, pois parte de zona de “área molhada” e com produção de odores (cozinhas e banheiros), em direção a “zona seca” e de permanência mais prolongada (quartos e salas).

No primeiro pavimento das unidades habitacionais 1 e 4, as quais estão à sotavento, o turbilhão gerado pela geometria do edifício consegue retornar e atingir as aberturas de cozinhas e banheiros promovendo o mesmo sentido de fluxo de ar promovido nos apartamentos 2 e 3. Porém

com o aumento do pavimento (aumento de velocidade de incidência) este movimento fica cada vez mais suave e com velocidades internas menores.

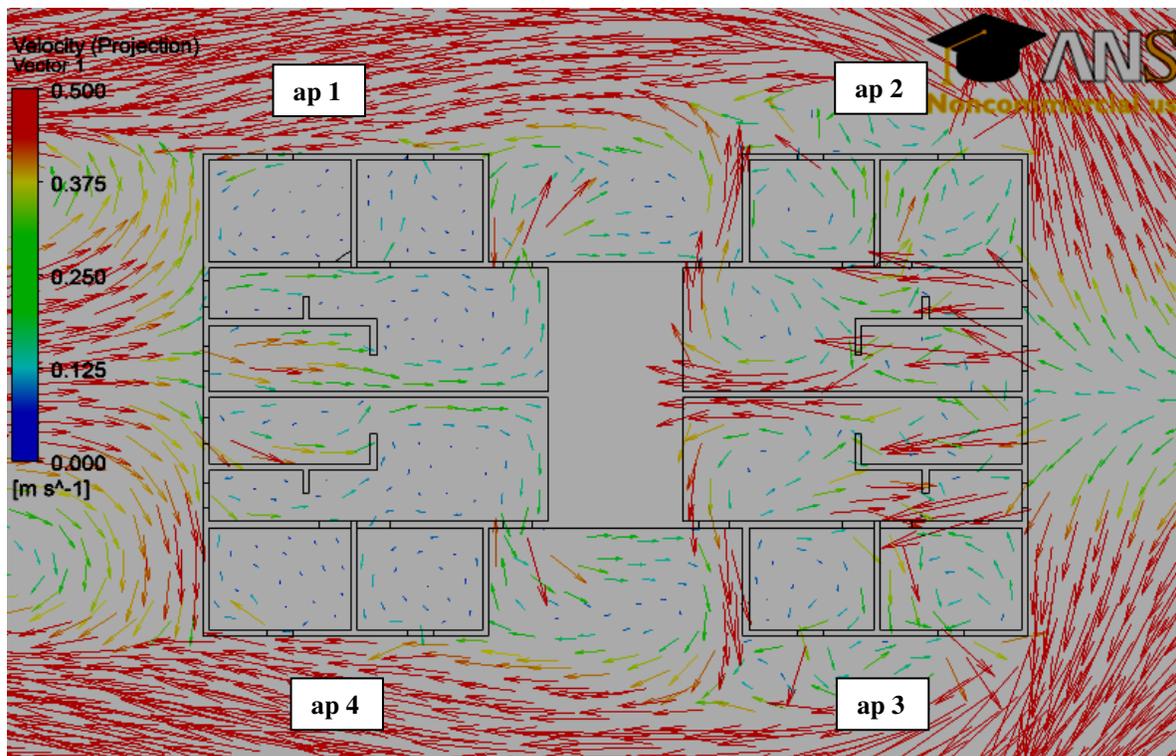


Figura 78: visualização (vetores) do fluxo de ar interno $H=1,5\text{m}$. Vento Leste.

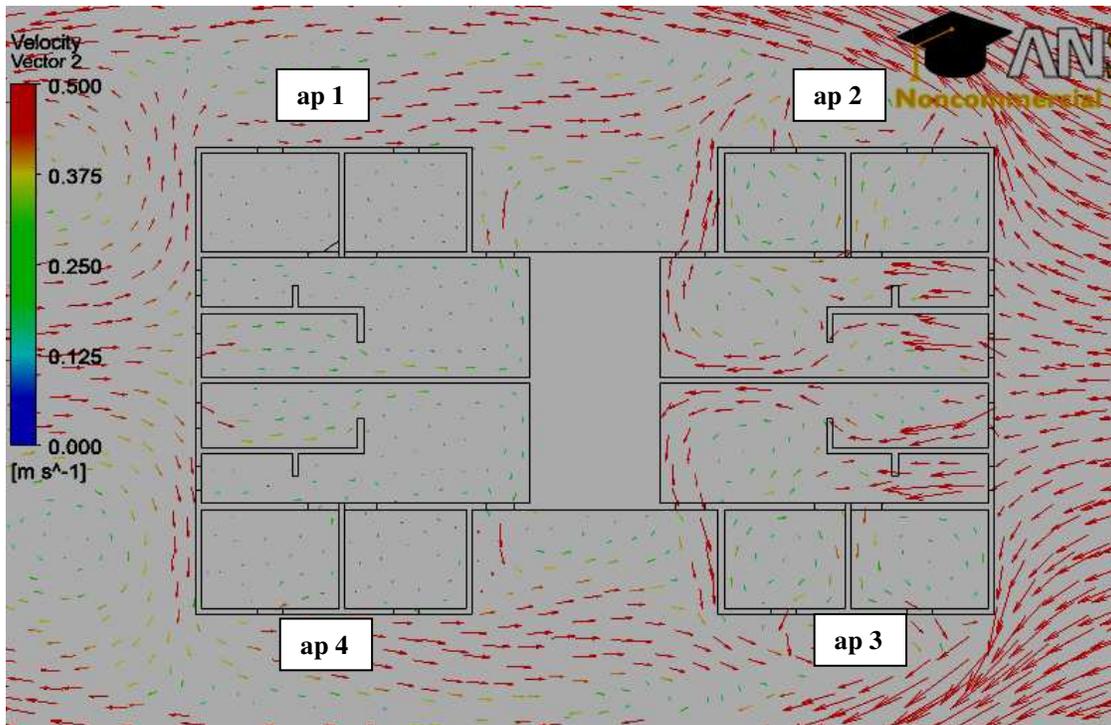


Figura 79: visualização (vetores) do fluxo de ar interno H=6,5m. Vento Leste.

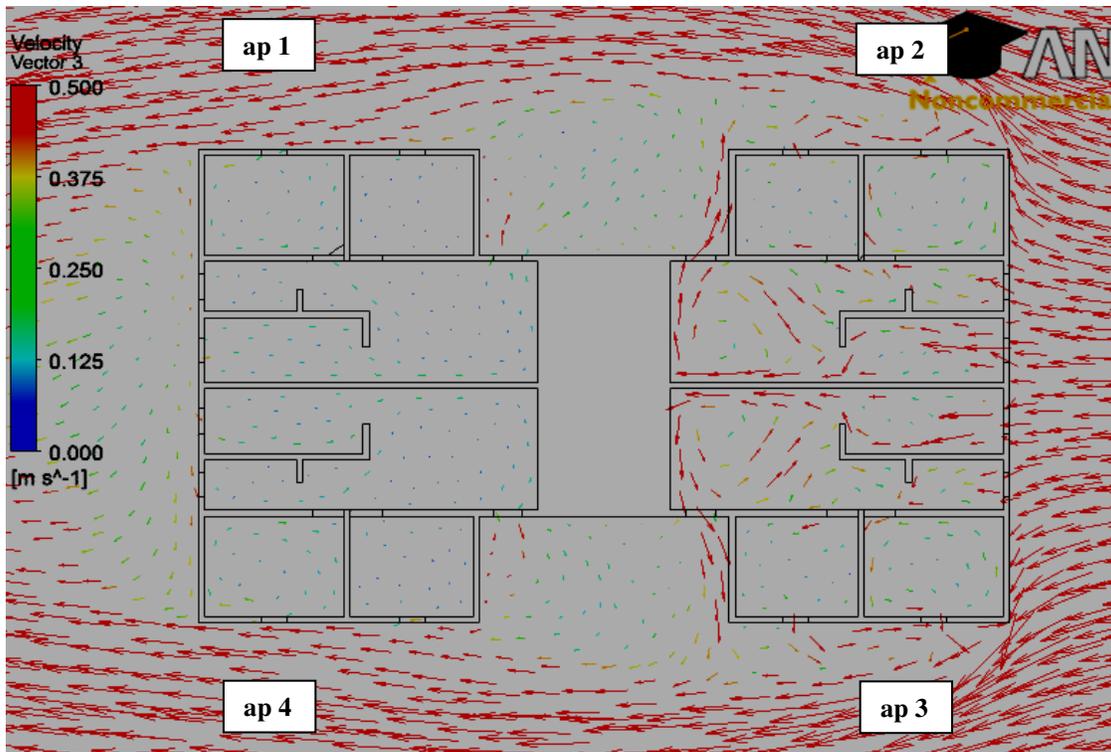
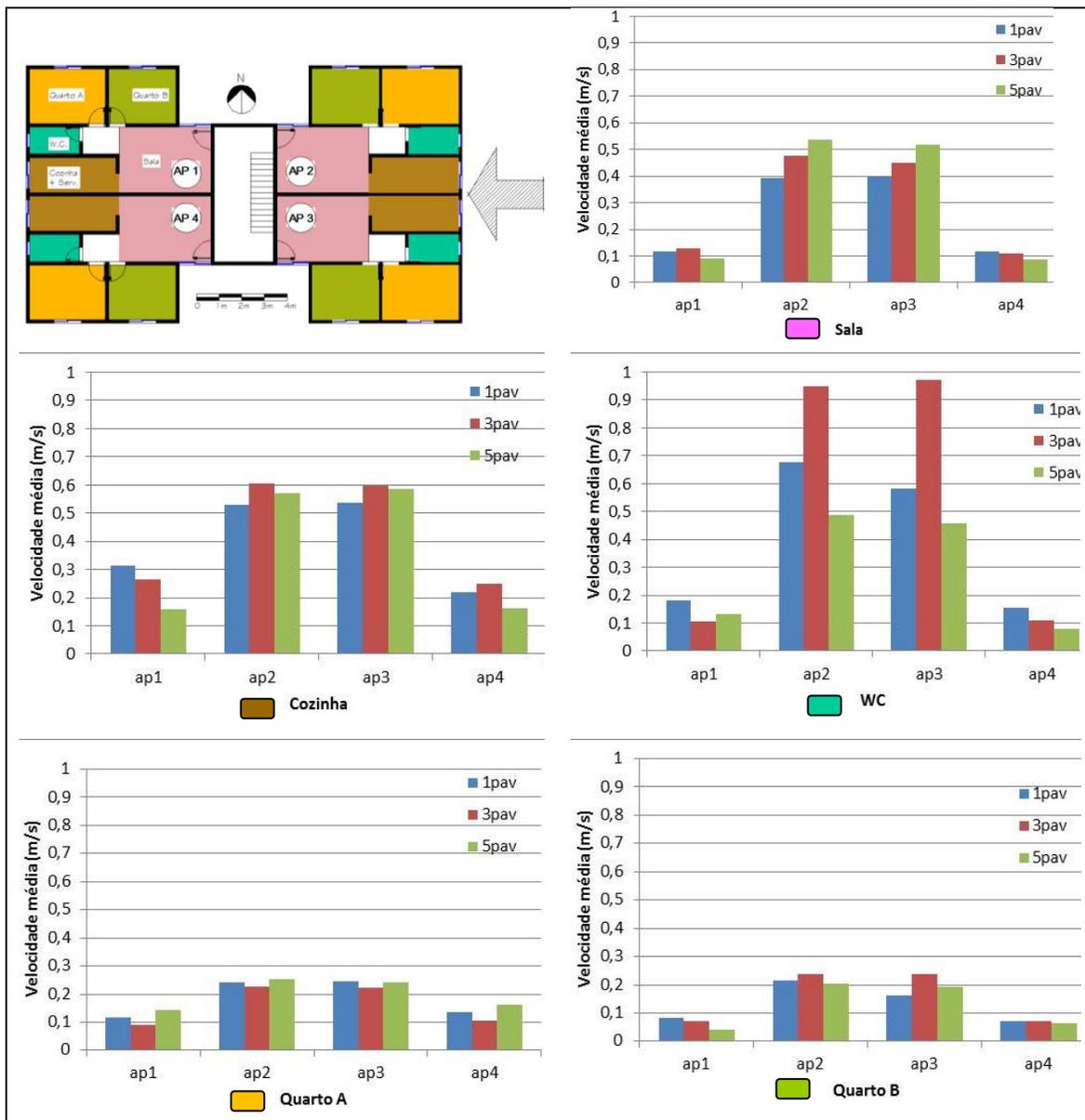


Figura 80: visualização (vetores) do fluxo de ar interno - H=11,5m. Vento Leste.

O quadro 04 traz gráficos de resultados dos valores de velocidade média registrados nos ambientes internos. Novamente ressalta-se a eficiência somente dos ambientes dos apartamentos localizados à barlavento (ap 2 e ap3), especialmente de cozinhas e banheiros. Os últimos, devido a sua pequena abertura, apresentam efeito de canalização do vento acentuado no terceiro pavimento, indicando controle por parte do usuário. Por ser um banheiro isto potencializa o desconforto para frio, além disso, a alta velocidade proporciona a dispersão dos contaminantes deste tipo de ambiente nos demais ambientes do apartamento. Nos apartamentos à sotavento (ap1 e ap2) o desempenho da ventilação é muito ruim, indicando acúmulo de umidade e odores nestes ambientes.

Nas salas, como já esperado, os valores mais altos encontram-se nos apartamentos 2 e 3 que estão situados a favor do vento incidente estando os apartamentos 1 e 4 praticamente sem ventilação. No que diz respeito aos quartos é interessante notar que, mesmo nos apartamentos à barlavento, os quais possuem aberturas que tangenciam o vento incidente, obtiveram-se péssimos resultados. A ventilação por outros mecanismos artificiais como ventiladores, exaustores ou ar condicionado, torna-se uma realidade para usuários destes ambientes, uma vez que trata-se de ambientes de longa permanência.

Quadro 04: resultados de velocidades médias da tipologia 1 com vento incidente 90°



Aplicou-se também para esta incidência de vento a 90° (leste) a escala cromática de velocidades. A Figura 81 refere-se ao resultado final filtrado como maioria entre as velocidades médias obtidas no primeiro, terceiro e quinto pavimentos de cada ambiente.

É interessante observar que mesmo nos apartamentos à barlavento (2 e 3), o circuito interno que o vento realiza com eficiência é dado pelos ambientes que possuem maior diferença de pressão em suas aberturas: a cozinha e banheiro (aberturas com pressão positiva) e sala (com

abertura localizada na reentrância e por isso maior pressão negativa). Os quartos possuem ventilação inexpressiva.

Outro detalhe pode ser observado em relação à geometria do próprio edifício, é que os turbilhões gerados à sotavento ocasionam entrada de ar pelas cozinhas, o que incrementa um pouco a ventilação das mesmas nos apartamentos 1 e 4.

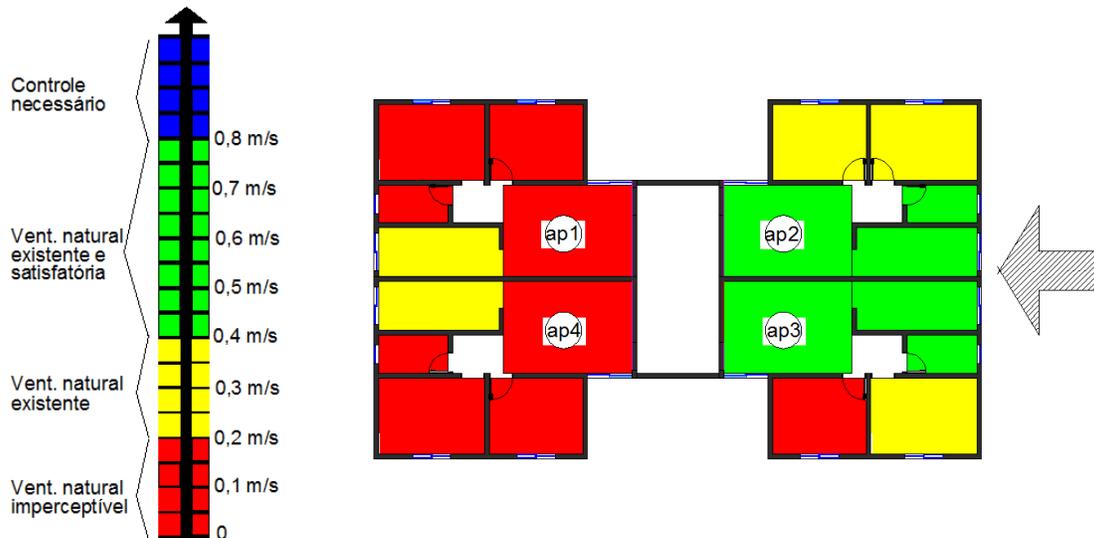


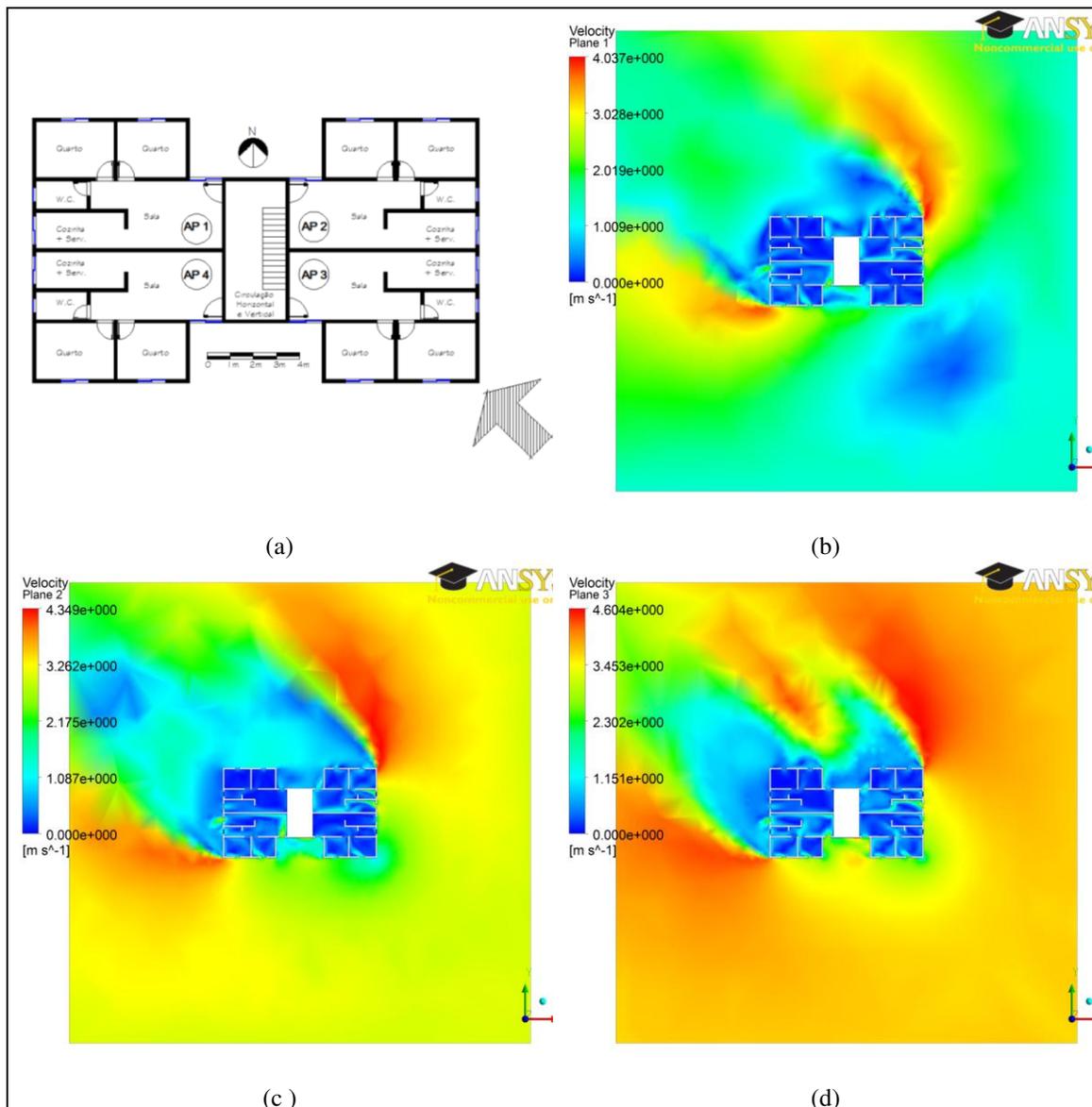
Figura 81: diagrama cromático de velocidade média aplicada ao conforto-Tipologia 1-Vento 90°

Em linhas gerais o desempenho desta tipologia para esta incidência de vento foi ainda pior que na incidência a 0°. Vale a mesma observação quanto a possível melhora de desempenho dos quartos com adição e/ou substituição de uma das aberturas para fachada de vento incidente.

5.1.3 Vento incidente a 135° (Sudeste)

O quadro 05 apresenta o comportamento do fluxo de ar externo ao edifício, na mesma metodologia das direções anteriores. Observa-se que no primeiro pavimento (Figura b) o efeito de borda é bastante evidente (proporcional à diagonal do edifício) e longo. Já no terceiro e quinto pavimentos (Figuras c e d), conforme aumenta a velocidade do vento (altura de pavimento), reduz-se a esteira que se forma na parte de trás do edifício.

Quadro 05: Análise de fluxo externo ao edifício da tipologia 1. Vento incidente 135°.



Legenda:

- (a) Planta Baixa da Tipologia 1. Vento incidente à 135°.
- (b) Imagem do fluxo de ar externo no primeiro pavimento
- (c) Imagem do fluxo de ar externo no terceiro pavimento
- (d) Imagem do fluxo de ar externo no quinto pavimento

Quando o vento incide obliquamente ao edifício, devido à forma do mesmo, forma-se um pequeno turbilhão na reentrância à barlavento (Figura 82), gerando diferença de pressão entre as aberturas desta fachada. Um vórtice maior é formado à sotavento (Figura 83). Devido a grande pressão negativa, o ar é succionado pelas aberturas das salas dos apartamentos 1 e 2.



Figura 82: “linha de corrente” à barlavento $h=1,5\text{m}$. Vento Sudeste.

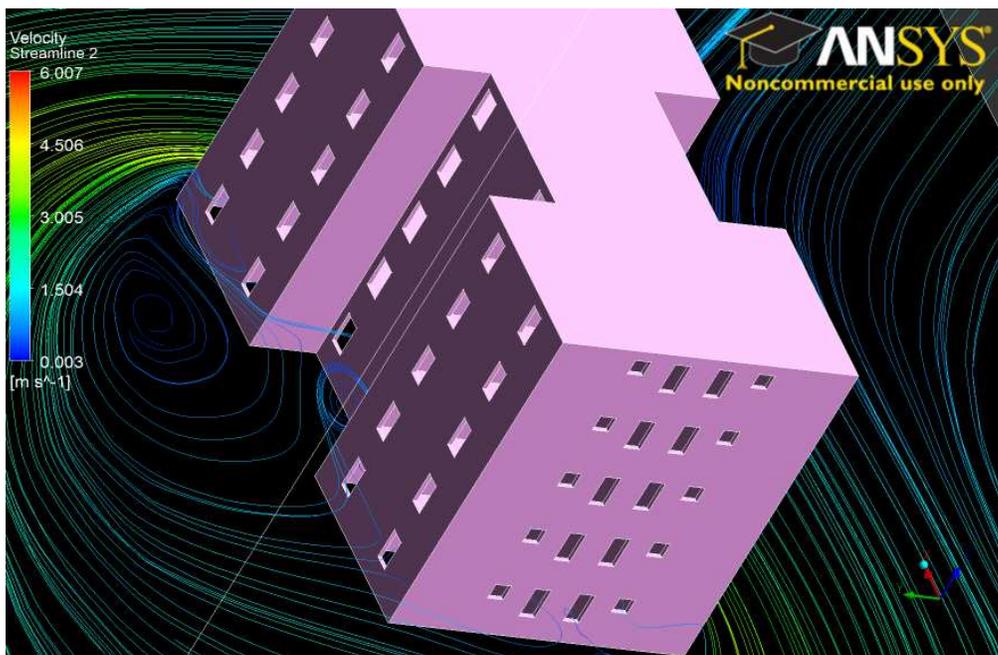


Figura 83: “linha de corrente” à sotavento $h=1,5\text{m}$. Vento sudeste.

O comportamento do vento internamente nos apartamentos do primeiro, terceiro e quinto pavimentos pode ser visto nas Figuras 84, 85 e 86 respectivamente. Os comentários que seguem

dizem respeito ao sentido do fluxo de ar que foi observado nos três pavimentos, claro que com velocidades diferentes em cada um deles.

A grande reentrância central fez com que as aberturas posicionadas nas salas fossem decisivas para a ventilação dos apartamentos, pois proporcionou aumento de diferença de pressão entre as aberturas do edifício. A ventilação ocorreu de forma mais bem distribuída nos apartamentos 2 e 4, porém em sentidos diferentes. No apartamento 2, o fluxo de ar entrou pela abertura da cozinha e saiu pela sala, e/ou entrou pelo banheiro e saiu pelos quartos, constituindo assim ventilação cruzada, porém num sentido que prejudica os usuários, pois vem de zonas de “áreas molhadas”, onde são produzidos gases e vapores, para zonas “secas” e de grande permanência. No apartamento 4, observou-se uma corrente de ar vinda da abertura da sala, saindo pela cozinha e banheiro, sendo este o sentido correto e desejado pelos usuários e projetistas.

No apartamento 1, apesar de se encontrar numa situação de sombra de vento e, conseqüentemente ter uma ventilação mais deficiente, a diferença de pressão entre as aberturas da cozinha e da sala promoveu um claro fluxo de ar no mesmo. No apartamento 3 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.

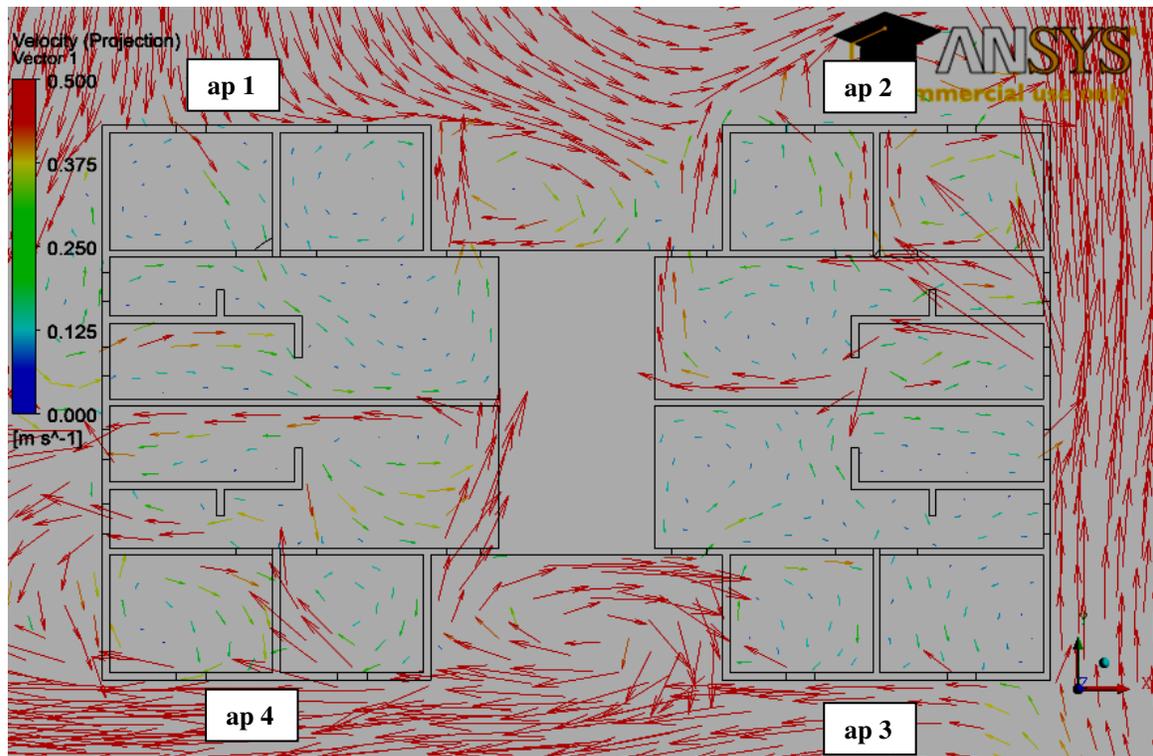


Figura 84: Visualização do fluxo de ar interno H=1,5m. Vento sudeste.

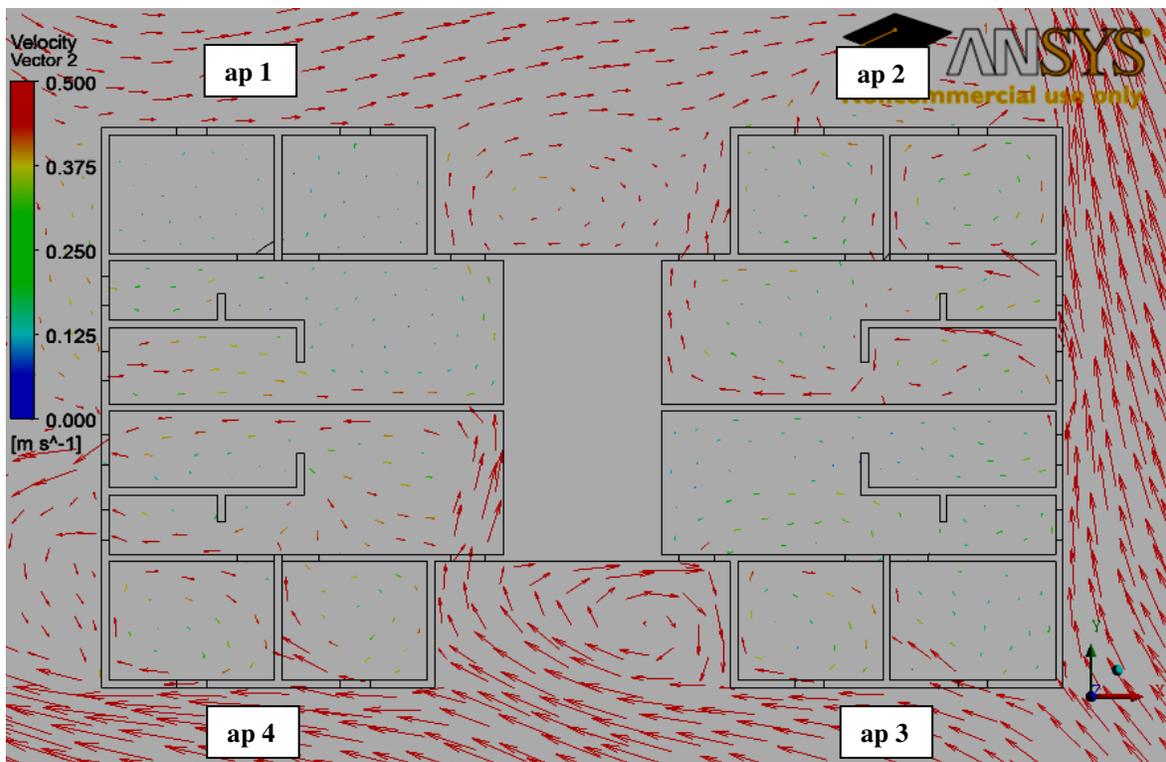


Figura 85: Visualização do fluxo de ar interno H=6,5m. Vento sudeste.

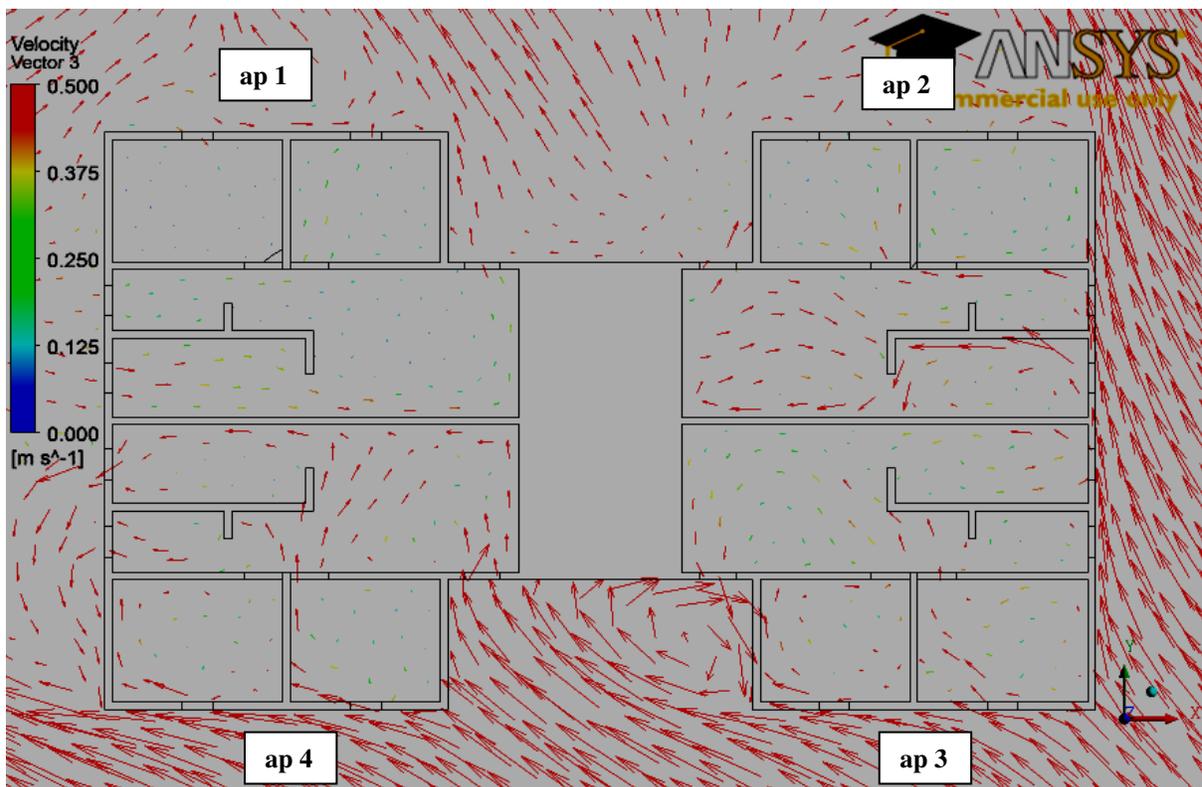


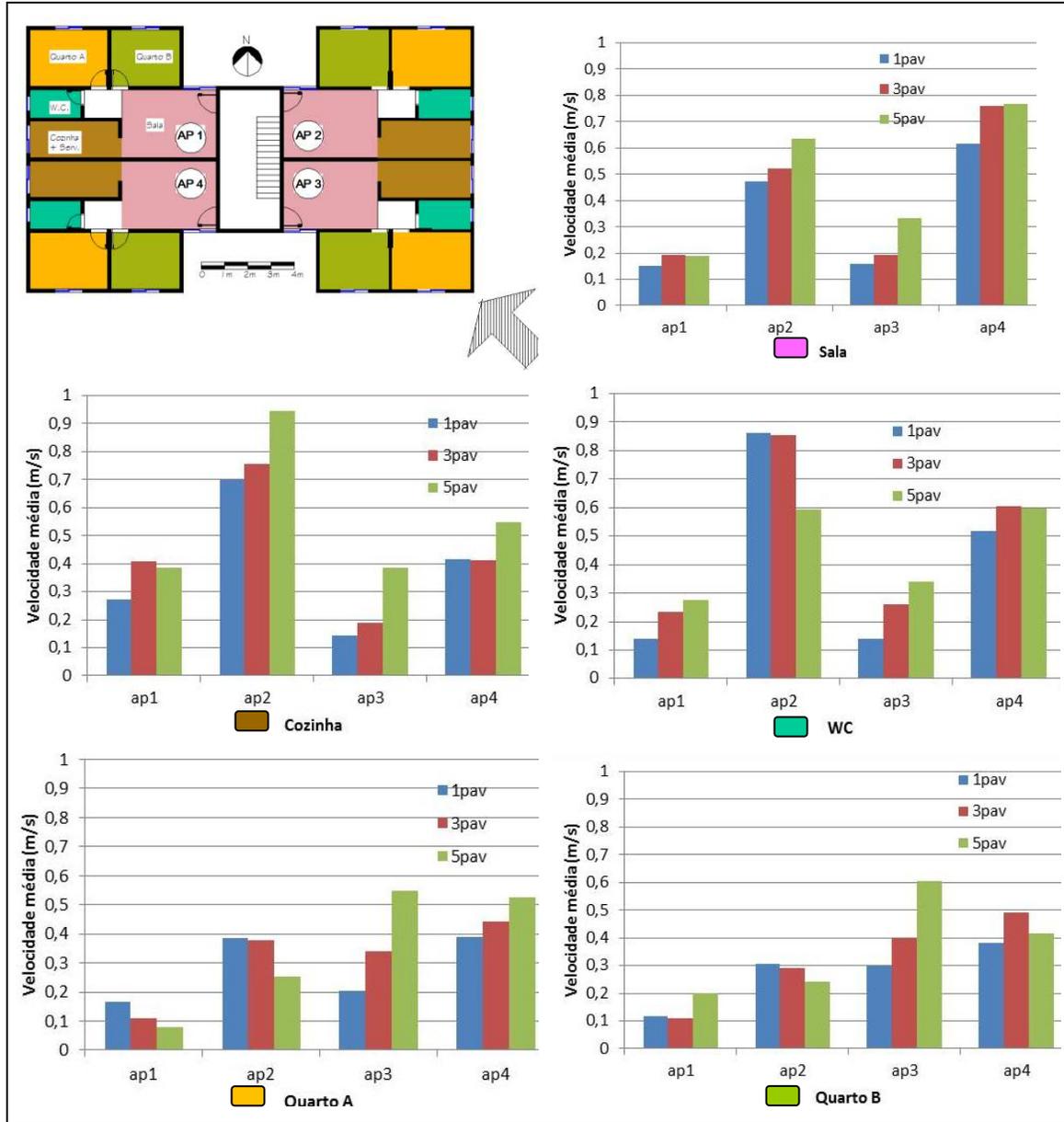
Figura 86: Visualização do fluxo de ar interno H=11,5m. Vento sudeste.

O Quadro 06 apresenta os valores de velocidade média registrados nos ambientes internos. De uma maneira geral as salas, cozinhas e banheiros dos apartamentos 2 e 4 apresentaram bom desempenho de ventilação (o posicionamento em relação do vento dominante proporcionou maior diferença de pressão entre as aberturas destes ambientes).

Especificamente abordando as cozinhas, os resultados demonstraram que os valores mais altos foram registrados no apartamento 2 (abertura da cozinha funcionou como entrada de ar), principalmente no quinto pavimento, onde inclusive deve ser promovido algum controle por parte do usuário. No apartamento 4 a abertura da cozinha funcionou como saída de ar e atingiu valores também satisfatórios. Curiosamente a cozinha do apartamento 1, posicionado à sotavento, atingiu valores consideráveis no terceiro e quinto pavimentos. Este fato foi associado ao grande vórtice que conseguiu entrar pela sala e sair pela cozinha, atingindo boa velocidade. O pior desempenho foi justamente no apartamento com total exposição de suas aberturas ao vento dominante, o apartamento 3.

Os quartos A e B tiveram perfil de resultados para cada apartamento bem próximos, justamente devido ao posicionamento de aberturas para mesma fachada.

Quadro 06: resultados de velocidades médias da tipologia 1 com vento incidente 135°



Especificamente nos quartos B, localizados próximos à reentrância do edifício, as velocidades médias foram maiores nos apartamentos 3 e 4, porém pelas análises qualitativas houve apenas recirculação de ar nestes ambientes, principalmente no apartamento 3. No apartamento 1 registrou-se baixíssima ventilação. No quarto A, localizado nos cantos do edifício,

observou-se uma melhora no apartamento 2, justamente porque nesta situação, sua abertura funcionou como saída de ar.

Aplicou-se também para esta incidência de vento a escala cromática de velocidades. O diagrama cromático apresentado na Figura 87 refere-se ao resultado final filtrado como maioria entre as velocidades médias obtidas no primeiro, terceiro e quinto pavimentos de cada ambiente. Confirma-se que os apartamentos 2 e 4 obtiveram melhores resultados, no entanto para conforto térmico o apartamento 4 é ainda melhor que o apartamento 2, pois apresenta ventilação adequada e bem distribuída em todos os seus cômodos. Os apartamentos 1 e 3 não apresentaram resultados muito diferentes apesar de estarem em posições opostas.

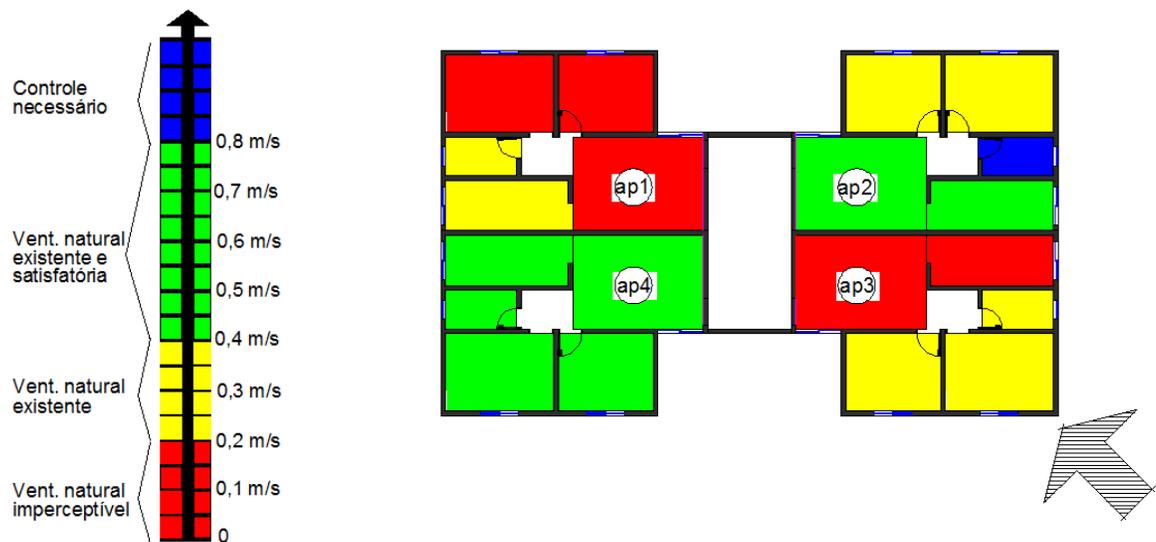
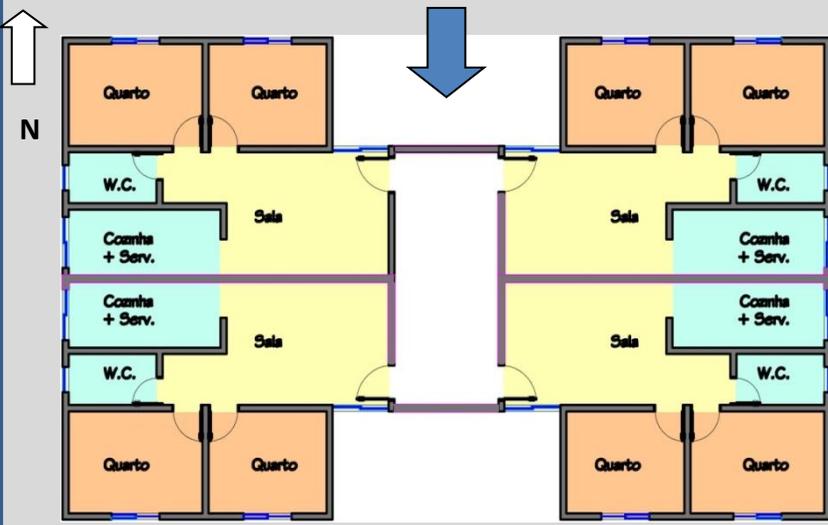


Figura 87: diagrama cromático de velocidades para Tipologia 1. Vento incidente 135°.

Portanto o rendimento geral desta tipologia frente ao vento dominante oblíquo (de 135°) foi de 50% dos apartamentos, assim como ocorreu nas demais direções de vento. No entanto, considerando os apartamentos 1 e 3, o rendimento não foi tão ruim como ocorreu nos apartamentos à sotavento das demais direções, o que nos leva a crer que as direções oblíquas de vento incidente neste tipologia funcionaram melhor que ventos ortogonais (0° ou 90°).

A seguir apresenta-se o resumo do desempenho desta tipologia sob os três ângulos de incidência. Indicam-se ainda os aproveitamentos internos que podem informar rapidamente o que os resultados quantitativos apontaram. Os aproveitamentos internos, baseados em Givoni (1962),

são uma relação de proporção entre os valores registrados de velocidade média do vento no ambiente sobre a velocidade do vento na mesma altura, livre de qualquer obstrução (valores de referência obtidos na entrada de vento). Os aproveitamentos servem como balizadores para projetistas que pensam em utilizar esta tipologia em outras localidades e querem ter um rápido panorama do desempenho de ventilação de cada ambiente em relação ao vento de entrada.



CARACTERIZAÇÃO:

Este empreendimento localiza-se na macrorregião Sudoeste de Campinas e possui um total de 2.380 unidades habitacionais distribuídas em 119 blocos. Sua obra foi concluída no fim de 2011 estando os blocos totalmente entregues à população.

RESULTADOS:

Nesta tipologia o melhor resultado se deu na direção Sudeste. Isto se deve principalmente a forma "H" do edifício associada ao posicionamento da abertura da sala na grande reentrância, gerando diferença de pressão nas aberturas. A ventilação dos quartos poderia ser melhorada com aberturas adicionais ou mudança de posição de abertura de um dos quartos para fachada lateral.

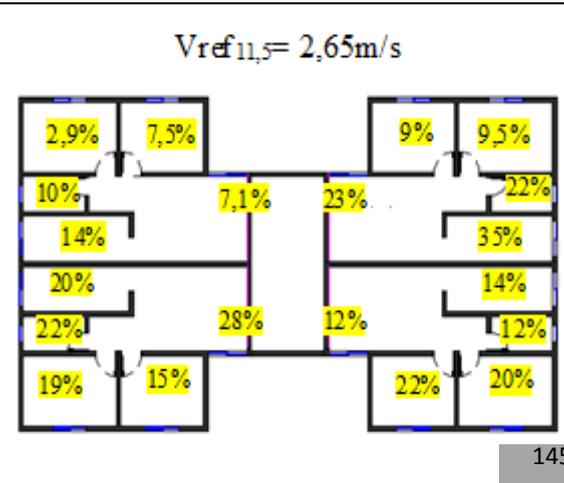
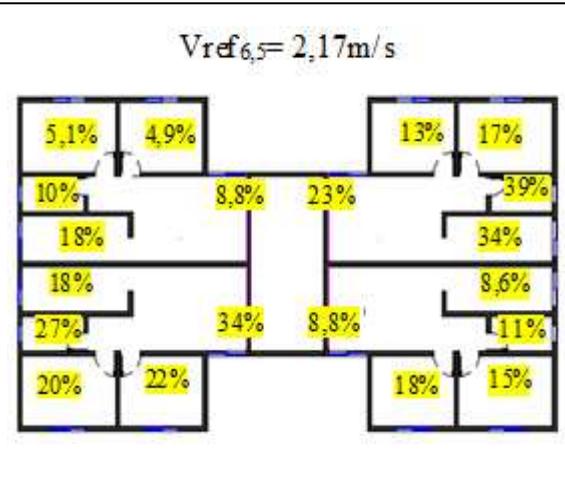
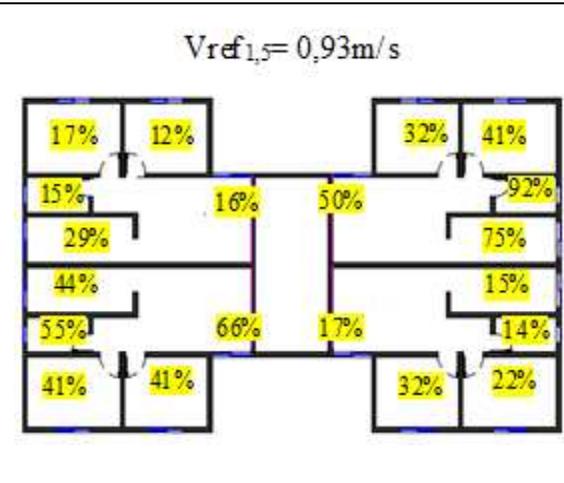
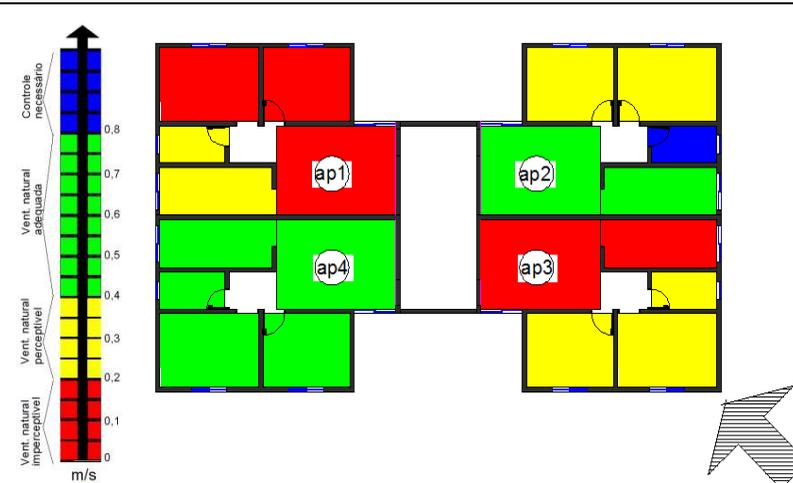
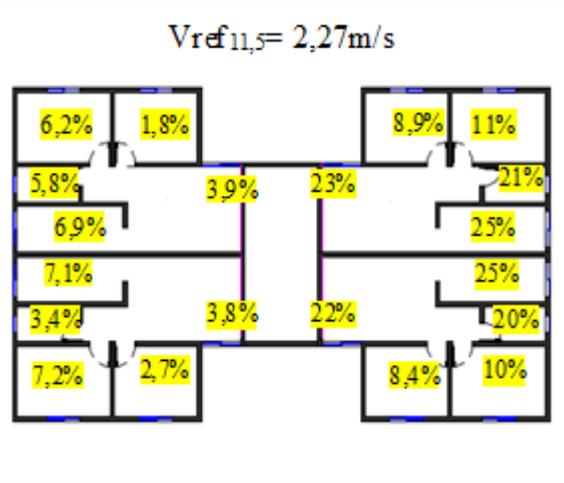
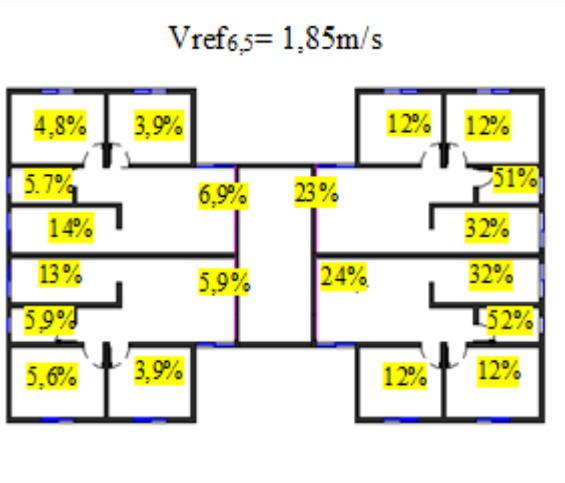
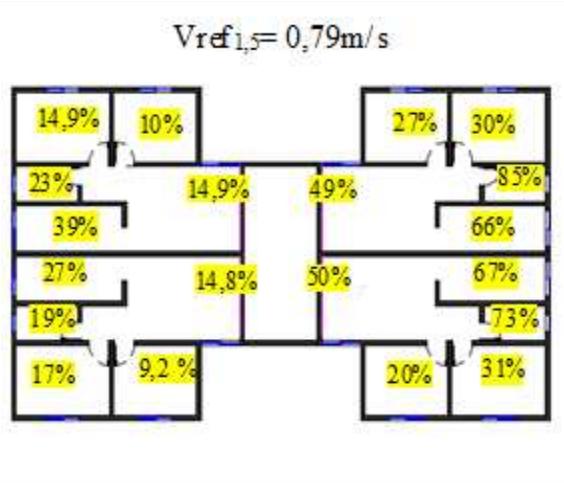
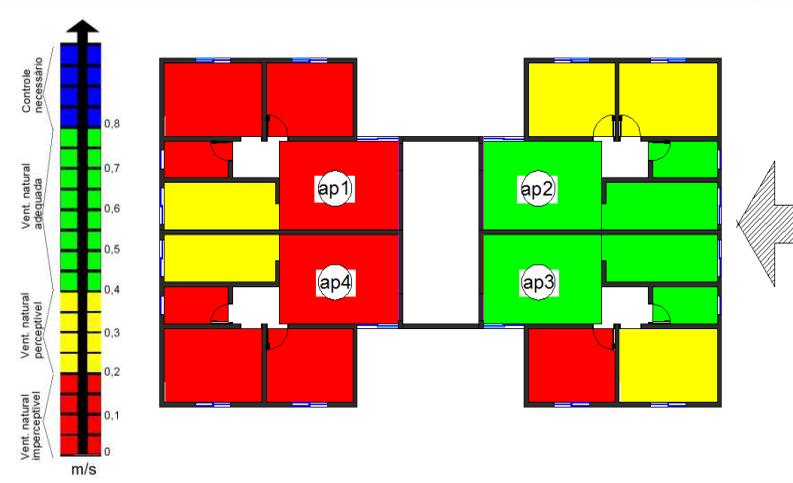
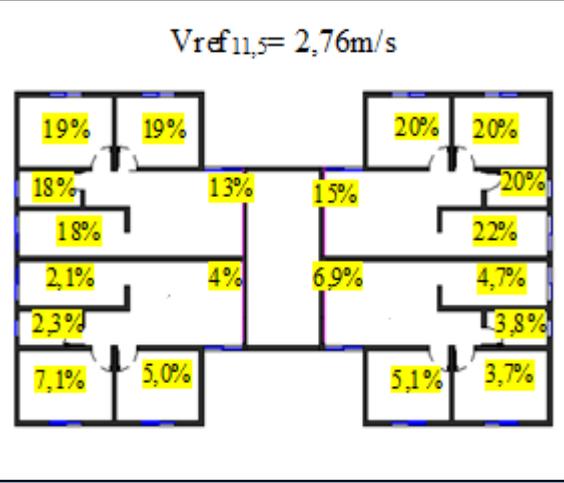
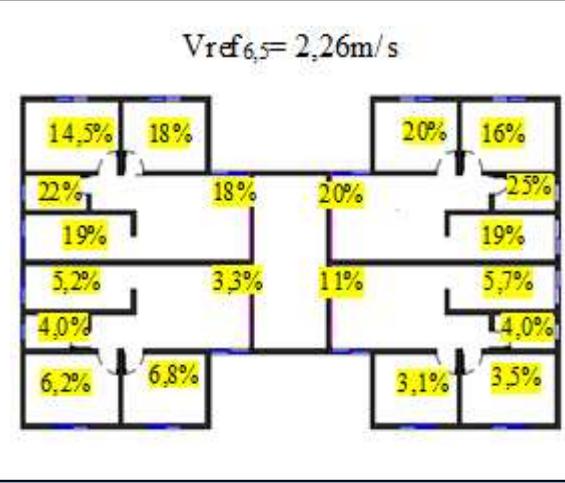
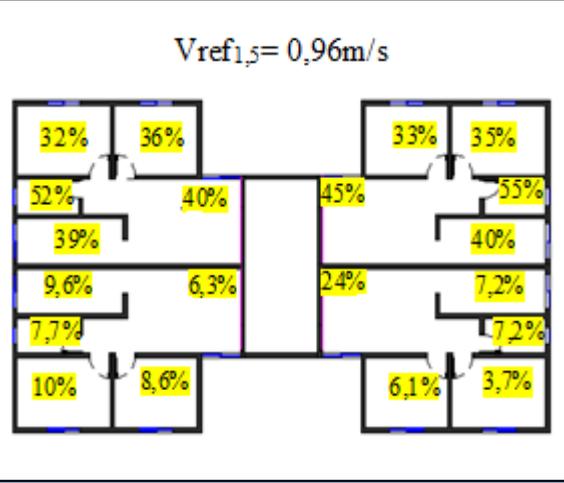
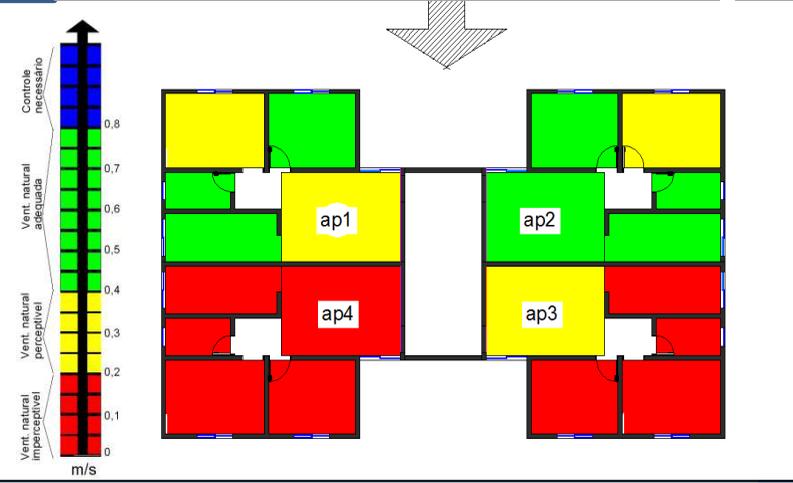
Aproveitamentos internos (GIVONI,1962)

Ventilação x Conforto

1º Pavimento

3º Pavimento

5º Pavimento



5.2 Tipologia 2

5.2.1 Vento incidente 0° (Norte)

Quando o vento incidiu a 0° nesta tipologia, devido ao seu posicionamento, os apartamentos com pressão positiva foram os apartamentos 1 e 2, estando os apartamentos 3 e 4 na zona de pressão negativa (ver Figura 88). Devido à geometria do edifício, originou-se um turbilhão à sotavento do mesmo, como mostra a Figura 89.

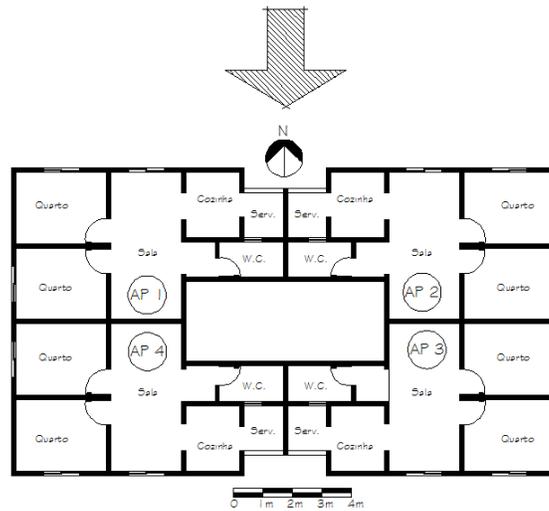


Figura 88: Planta baixa da tipologia 2 com vento incidente a 0°.

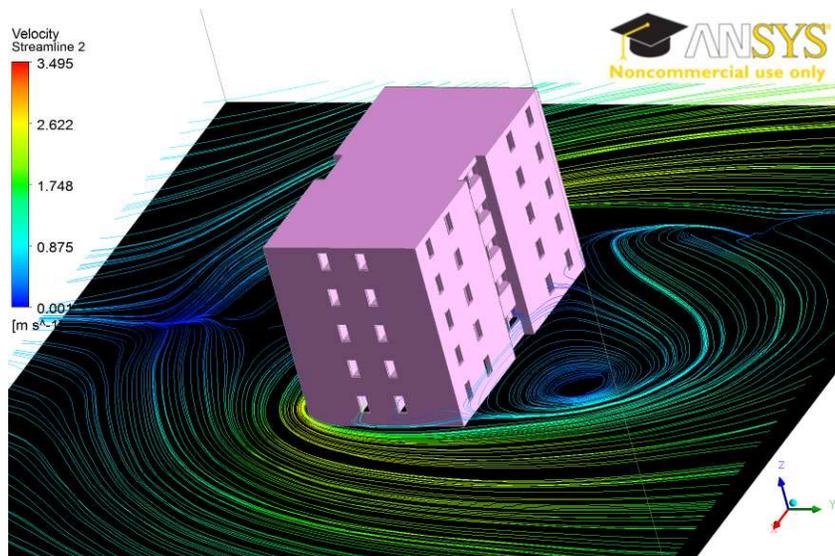


Figura 89: “linha de corrente” com vento Norte e formação de turbilhão à sotavento (face Sul) H=1,5m.

Numa análise sobre o comportamento do fluxo de ar interno, apresentam-se as Figuras 90, 91 e 92, respectivamente para primeiro, terceiro e quinto pavimentos. De uma maneira geral, ocorreu que nos apartamentos com pressão positiva (ap 1 e ap2), o vento entrou pelas aberturas da sala e área de serviço (esta com mais força devido a sua localização na pequena reentrância), percorreu os ambientes de cozinha e banheiro, e saiu pela abertura do quarto B, localizado na zona de pressão negativa.

Nos apartamentos 3 e 4, o percurso foi o mesmo, com fluxo saindo também pelo quarto B, devido à diferença de pressão proporcionada pela localização da abertura. Este percurso foi bem mais definido à baixas velocidades de incidência (como ocorreu no primeiro pavimento), porém conforme a velocidade externa aumentou, houve aumento de turbulência e perdeu-se a nitidez do sentido do fluxo, bem como registrou-se diminuição da velocidade do ar no interior dos apartamentos à sotavento (3 e 4).

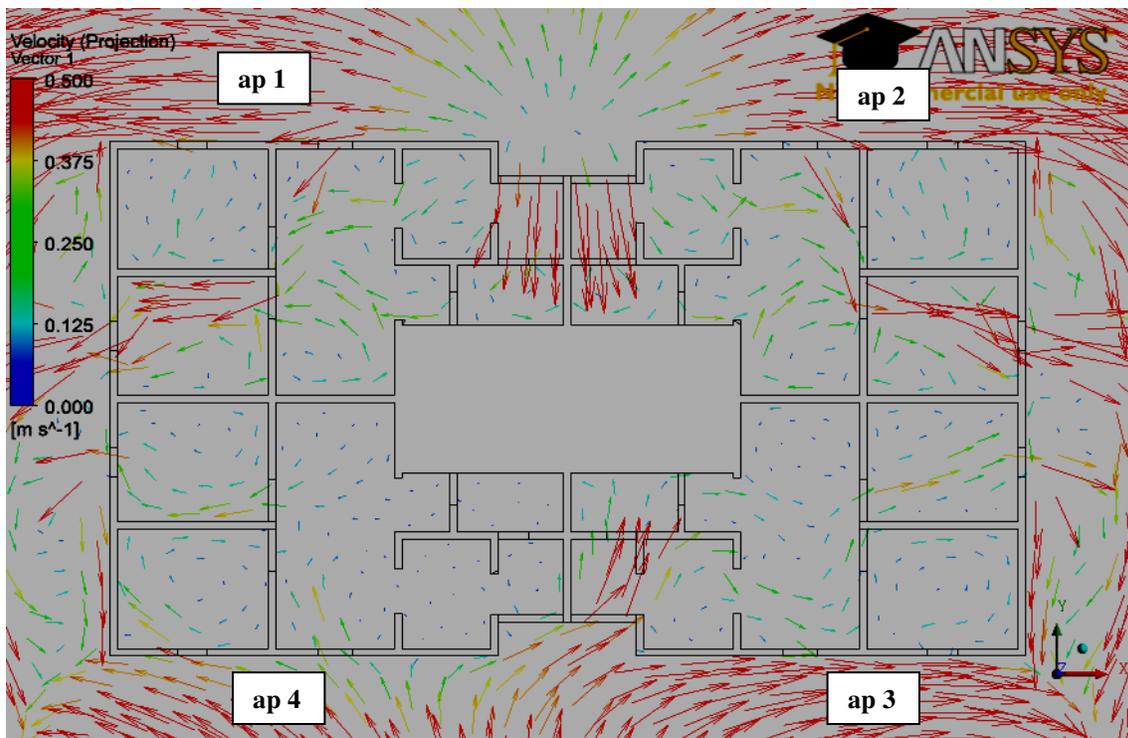


Figura 90: fluxo de ar interno (vetores) no primeiro pavimento - tipologia 2-vento 0°.

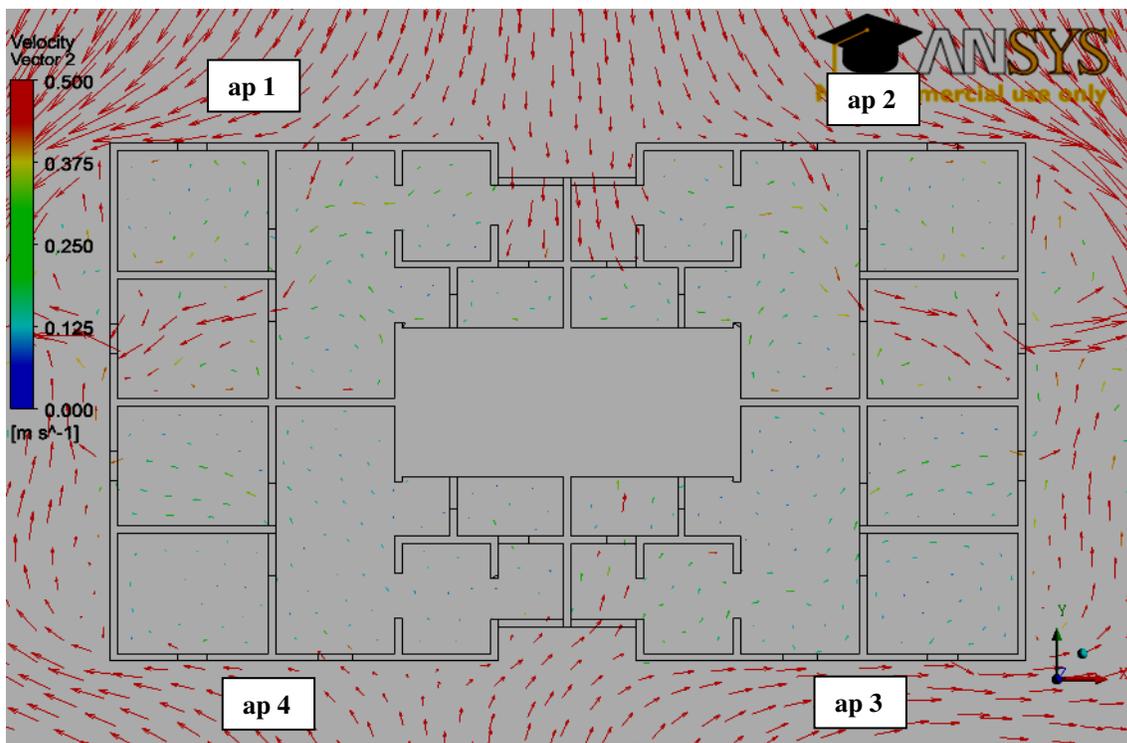


Figura 91: fluxo de ar interno (vetores) no terceiro pavimento- tipologia 2-vento 0° .

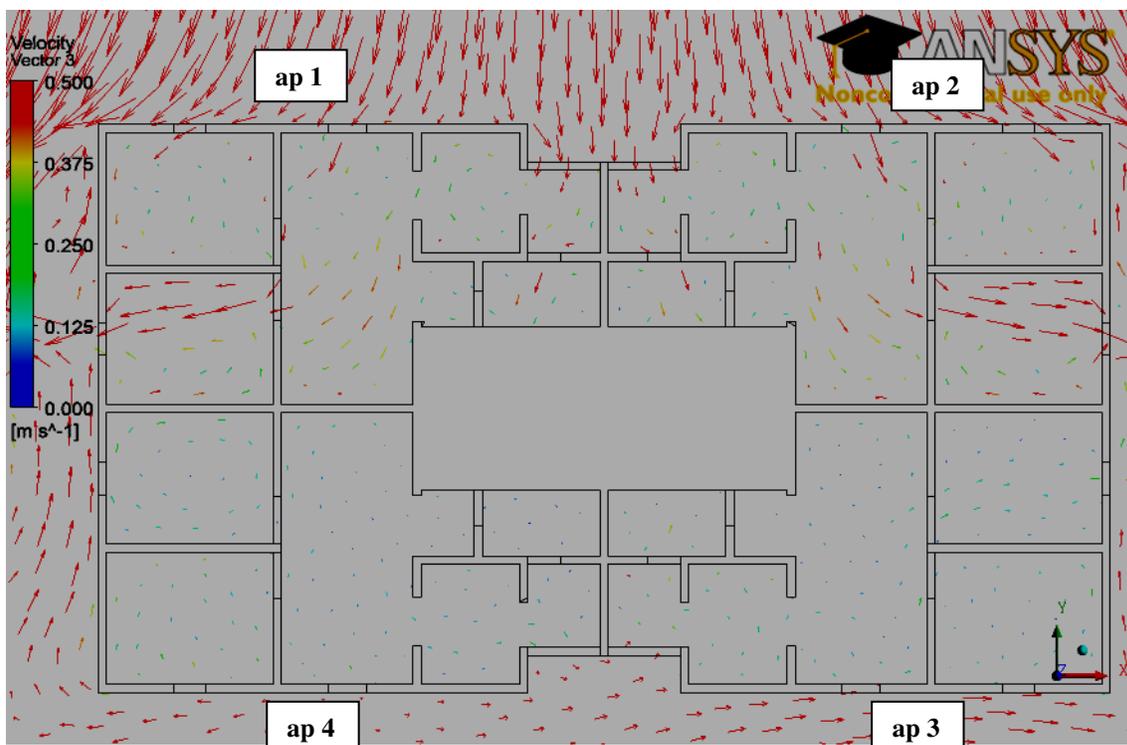


Figura 92: fluxo de ar interno (vetores) no quinto pavimento - tipologia 2-vento 0° .

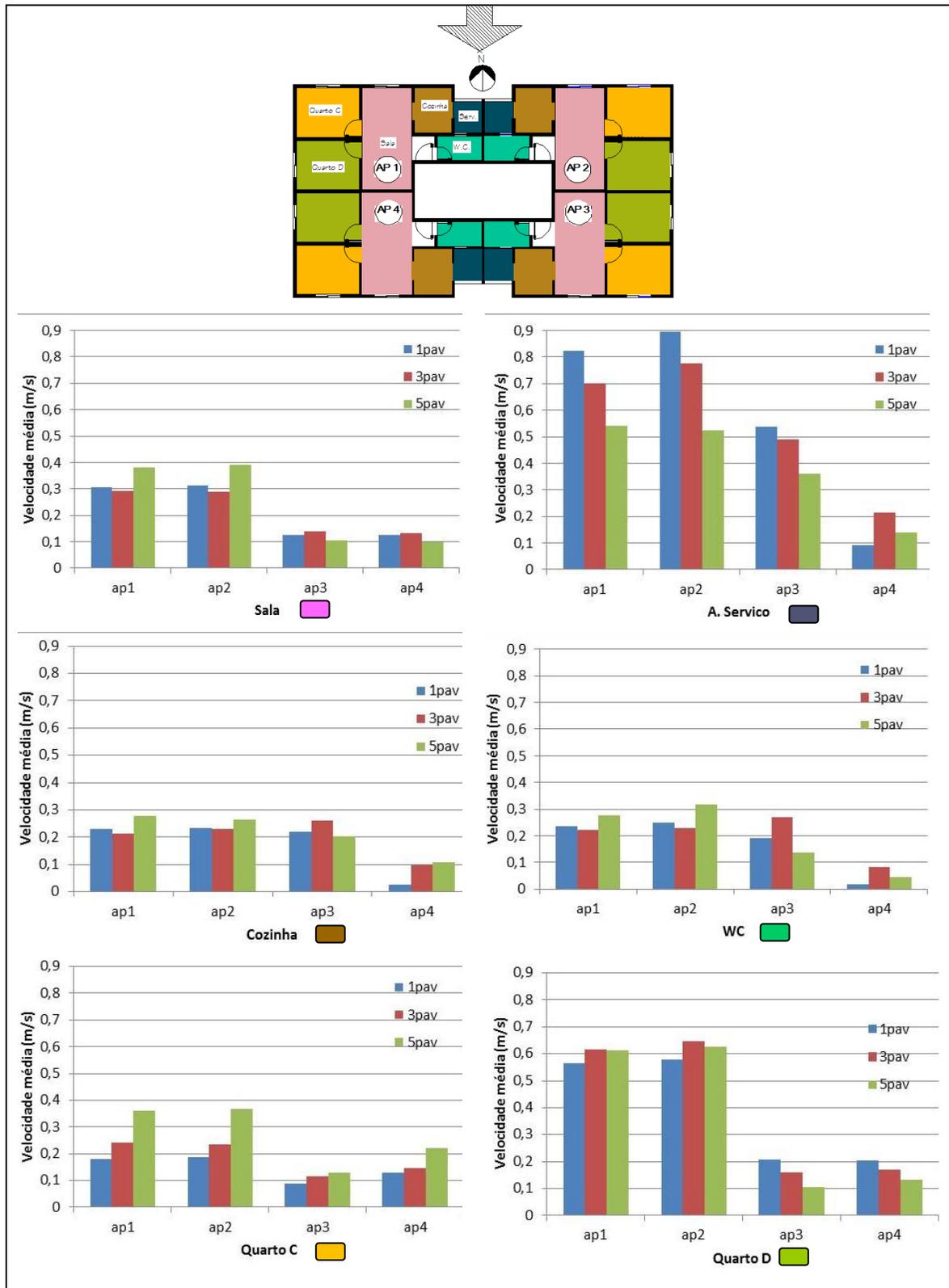
Os gráficos do Quadro 07 mostram valores de velocidade média registrados nos ambientes internos. De uma maneira geral as salas registraram baixos valores de velocidade média, mesmo nos apartamentos à barlavento. Este é um forte indício de que a localização deste ambiente (no meio entre zona de serviço e zona íntima), bem como a forma alongada do ambiente dotado de única abertura externa não culminou numa boa solução de projeto, pelo menos do ponto de vista da ventilação natural.

Nesta tipologia a área de serviço se apresentou como ambiente isolado, já que possui abertura externa independente dos demais cômodos. Os resultados mostraram que, as velocidades médias atingidas neste ambiente, principalmente nos apartamentos à barlavento, foram elevadas. Dois fatores principais contribuíram para este resultado: o posicionamento da abertura na pequena reentrância e o fato desta abertura não possuir esquadrias e por isso ter abertura efetiva maior que as demais. Sobre o alto valor registrado no apartamento 3, o vórtice originado à sotavento devido a geometria do edifício, originou este fato isolado. No apartamento 4 os valores registrados foram baixos.

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 esta incidência de vento a solução projetual de ventilar cozinhas e banheiros pela área de serviço, como foi adotado na tipologia 2, não é benéfica do ponto de vista da ventilação natural, pois a ventilação obtida na área de serviço não foi transferida para estes ambientes vizinhos.

Os quartos também apresentaram resultados ruins de ventilação natural, com exceção dos quartos localizados no eixo longitudinal do edifício (quarto D) dos apartamentos à barlavento (ap 1 e 2). Nestes locais específicos, as aberturas, localizadas em zona de pressão negativa, funcionaram eficientemente como saídas de ar. O ponto negativo disto é que à noite, com a porta do quarto fechada, esta ventilação cruzada dos apartamentos 1 e 2 fica comprometida.

Quadro 07: resultados de velocidades médias da tipologia 2 com vento incidente 0°



Aplicou-se a escala cromática de velocidades médias. O diagrama cromático apresentado na Figura 93 refere-se ao resultado final filtrado como maioria entre as velocidades médias obtidas no primeiro, terceiro e quinto pavimentos de cada ambiente.

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

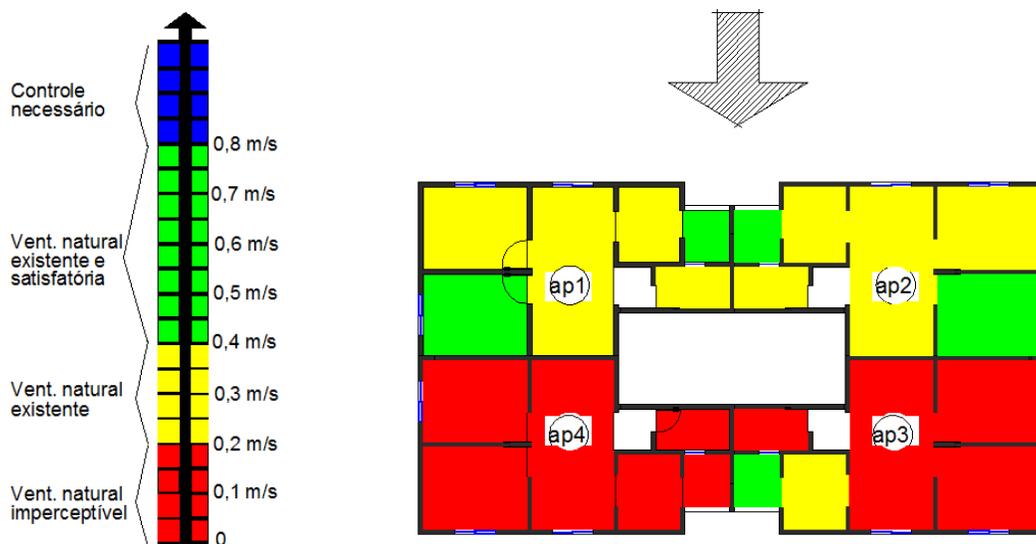


Figura 93: diagrama cromático de velocidades. Tipologia 2. Vento incidente 0°.

O desempenho geral desta tipologia para esta incidência de vento não foi nem de 50% dos apartamentos, uma vez que nem os apartamentos a barlavento apresentaram ventilação natural satisfatória do ponto de vista de conforto.

Por fim pode-se afirmar que, usar aberturas de um ambiente para ventilar ambientes adjacentes, como ocorreu com as cozinhas e banheiros desta tipologia, não garantem resultados

satisfatórios de ventilação natural nos mesmos, independentemente da altura do pavimento, para incidência de vento perpendicular à abertura.

5.2.2 Vento incidente a 90° (Leste)

Quando o vento incide à 90° nesta tipologia, como é o caso do vento Leste, permite que os apartamentos 2 e 3 estejam à barlavento (zona de pressão positiva) e os apartamentos 1 e 4 estejam à sotavento (zona de pressão negativa) como se pode observar na Figura 94 . Formam-se então dois vórtices à sotavento que são maiores à baixas velocidades e menores a altas velocidades (Figura 95).

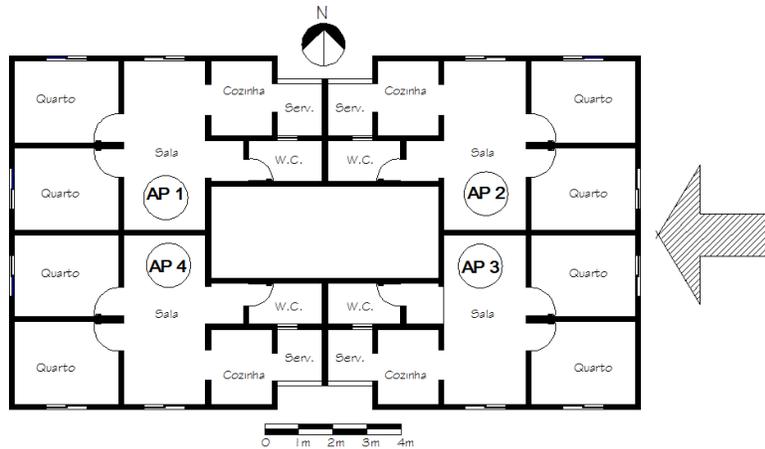


Figura 94: Planta baixa da tipologia 2 com vento incidente a 90°.

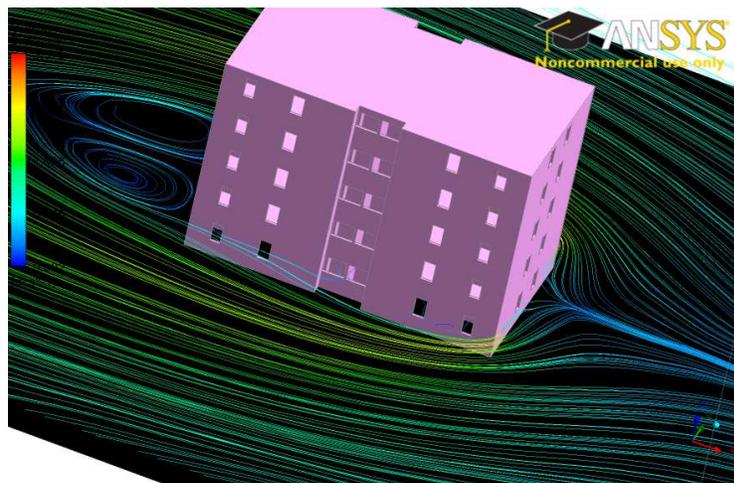


Figura 95: vento incidente Leste e vórtices à Oeste. H-1,5m.

Numa análise sobre o comportamento do fluxo de ar interno, apresentam-se as Figuras 96, 97 e 98 (1º, 3º e 5º pavimentos). Quanto ao sentido do fluxo interno pode-se dizer que:

- nos apartamentos 2 e 3 (localizados à barlavento) a abertura do quarto D (localizado no eixo longitudinal do edifício) funcionou como captadora e as aberturas da sala, área de serviço e do outro quarto funcionaram como saídas de ar. Este sentido fica menos evidente à medida que a velocidade e o pavimento aumentam devido a turbulência.
- nos apartamentos 1 e 4 (localizados à sotavento) o vento desenvolveu o mesmo circuito que nos apartamentos à barlavento pois a posição da abertura do quarto D apesar de estar em zona de pressão negativa como as demais, apresentou diferença de pressão tal que succionou o ar, originando o mesmo movimento. A observação é a mesma quanto ao aumento de velocidade e de pavimento.

O quadro 08 traz gráficos que mostram valores de velocidade média registrados nos ambientes internos. Os valores confirmam a análise anterior. Com exceção dos quartos D, em geral, as velocidades médias registradas foram muito baixas em todos os ambientes. Estes resultados mostram o mau desempenho dessa tipologia nesta incidência de vento quanto à ventilação natural.

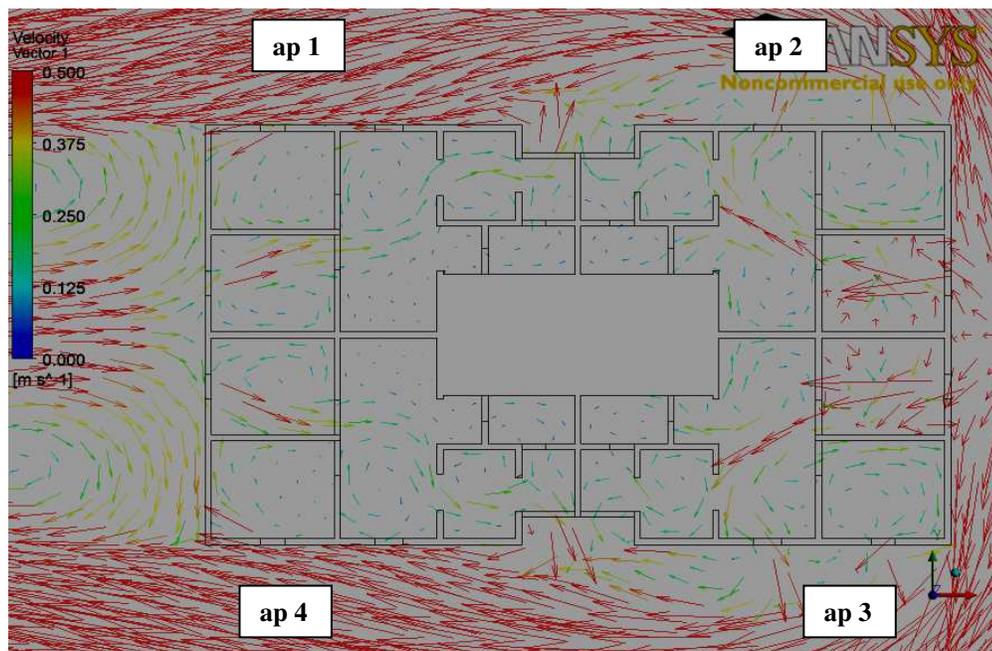


Figura 96: visualização do fluxo de ar interno (vetores) do vento incidente Leste. H-1,5m

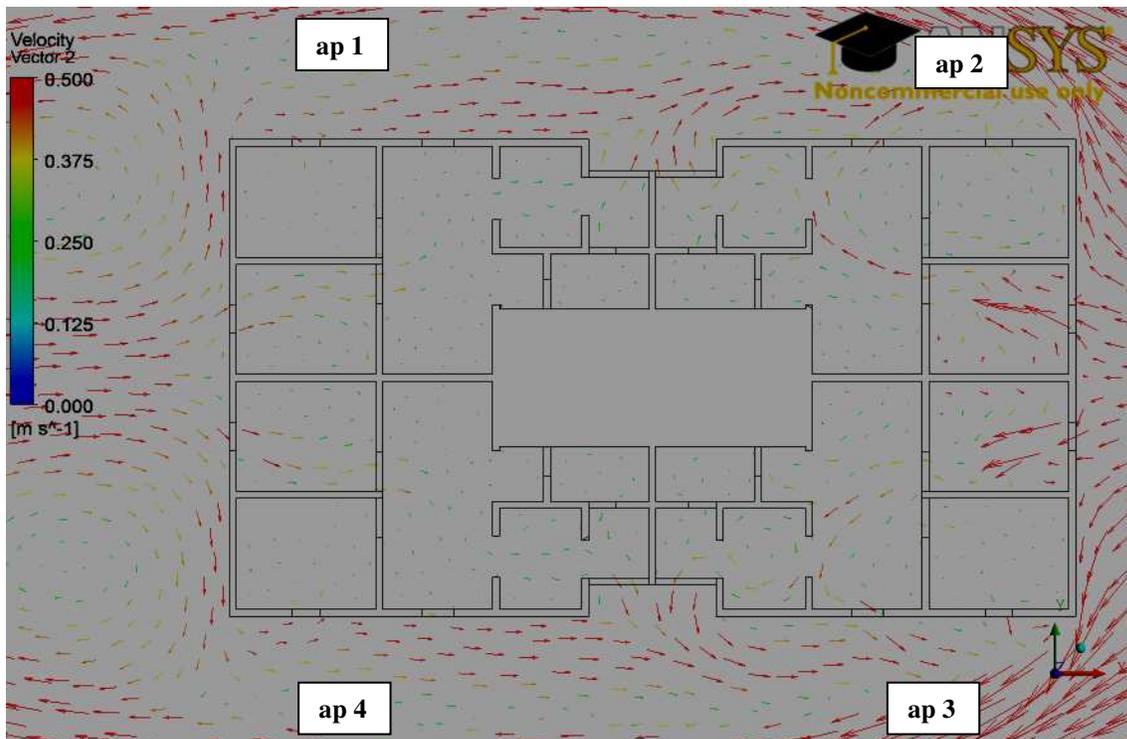


Figura 97: visualização do fluxo de ar interno (vetores) do vento incidente Leste. H-6,5m.

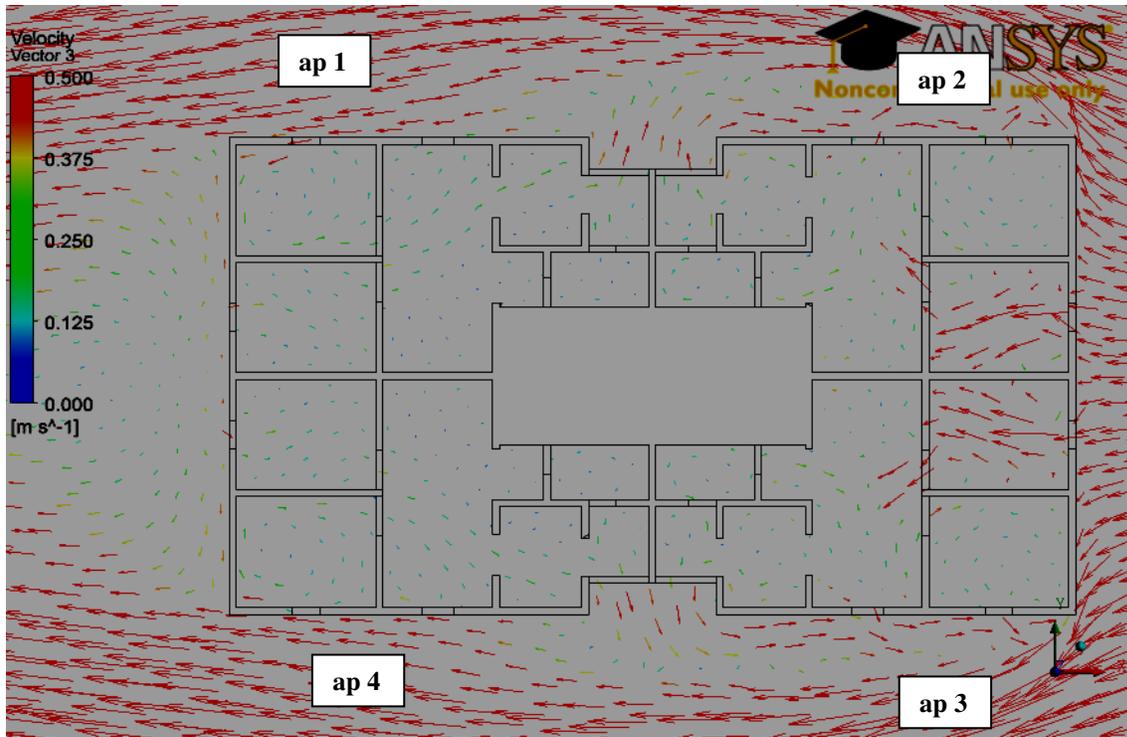
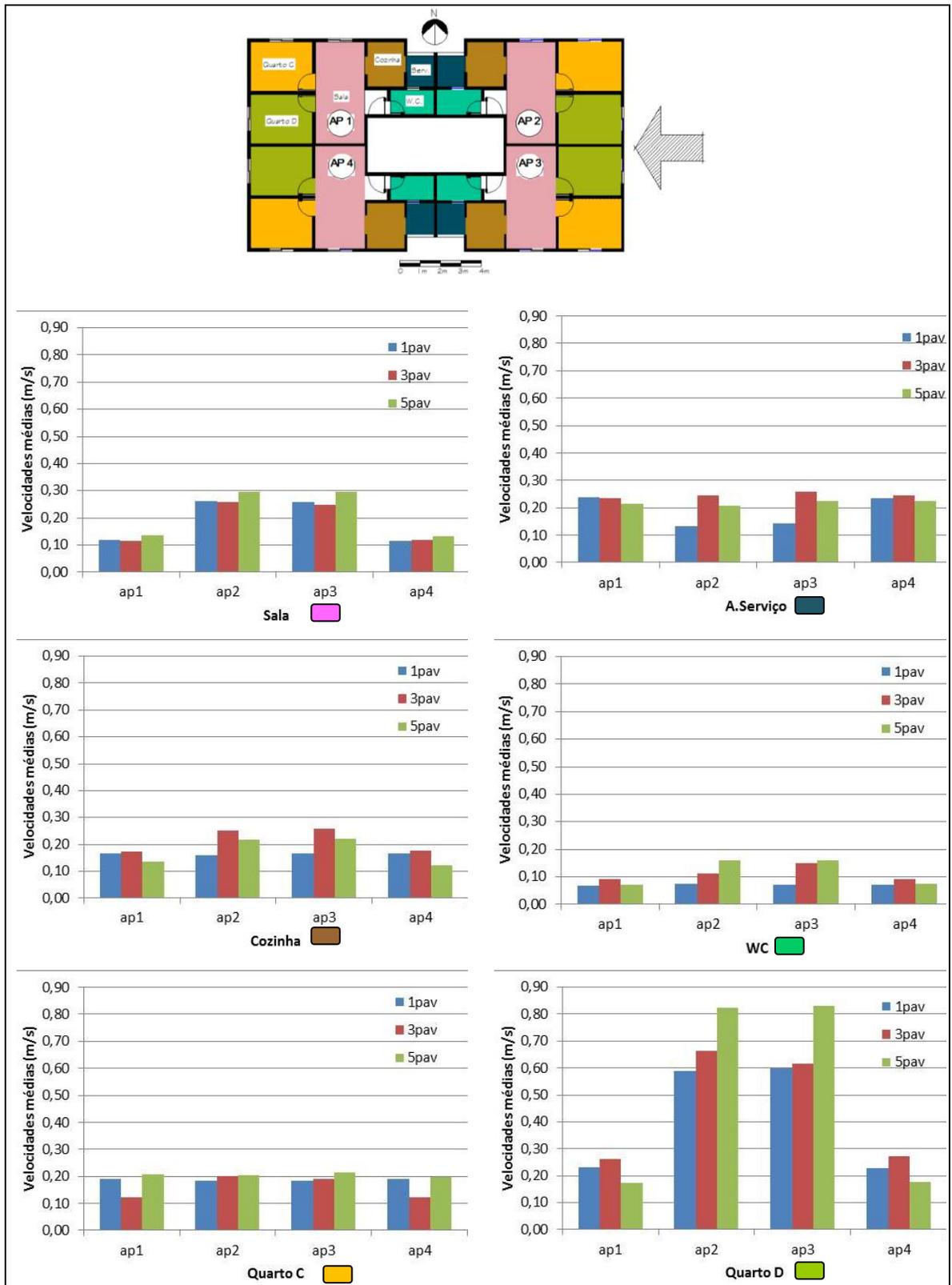


Figura 98: visualização do fluxo de ar interno (vetores) do vento incidente Leste. H-11,5m.

Quadro 08: resultados de velocidades médias da tipologia 2 com vento incidente 90°



Aplicou-se ainda a escala cromática de velocidades médias. O diagrama cromático apresentado na Figura 99 refere-se ao resultado final filtrado como maioria entre as velocidades médias obtidas no primeiro, terceiro e quinto pavimentos de cada ambiente.

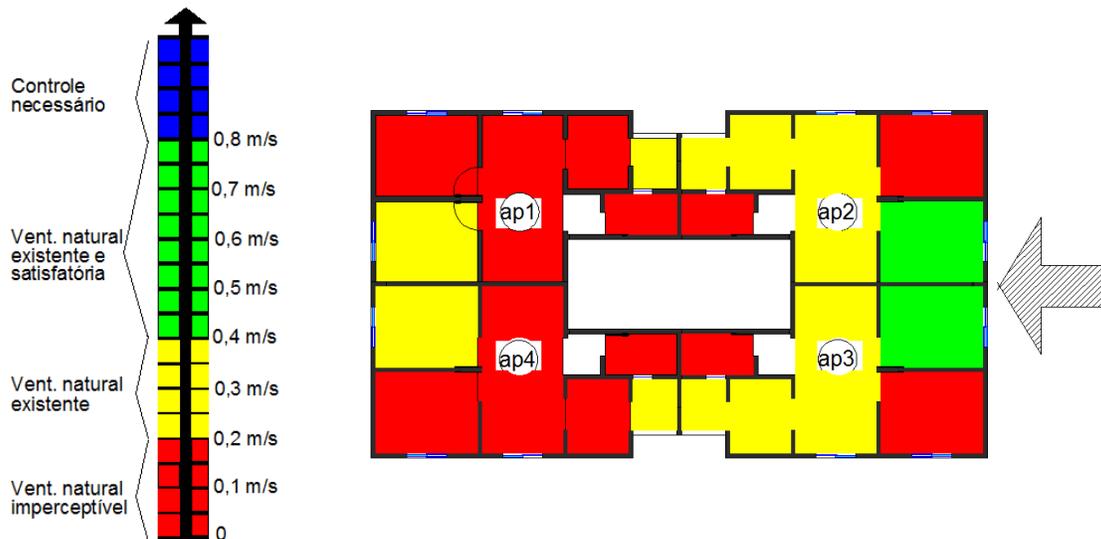


Figura 99: diagrama cromático de velocidades. Tipologia 2. Vento incidente 90°.

Nesta tipologia, com incidência de vento à 90° (Norte), somente os quartos com aberturas localizadas à barlavento (quartos D dos apartamentos 2 e 3) apresentaram resultados satisfatórios do ponto de vista de ventilação natural para conforto térmico. Nos demais ambientes, mesmo nos apartamentos à barlavento, os resultados foram ruins o que indica claramente que os usuários desses ambientes precisam recorrer a sistemas mecânicos de ventilação, sobretudo nos meses mais quentes, o que elevará certamente o consumo energético nessas unidades habitacionais. Assim, o desempenho geral desta tipologia para incidência de vento à 90° é considerado muito baixo.

Reitera-se a afirmação anterior sobre a ineficiência da ventilação das cozinhas e banheiros através da abertura da área de serviço. A simples decisão de dotar a cozinha de abertura externa própria, independente da área de serviço poderia ter melhorado o resultado deste ambiente. Este é mais um exemplo que poderia ter sido evitado através de um projeto mais consciente e comprometido com as condições de habitabilidade deste tipo de edifício.

5.2.3 Vento incidente a 135° (Sudeste)

A incidência oblíqua do vento dominante nesta tipologia de edifício, permitiu que a maior parte das aberturas dos apartamentos 2, 3 e 4 estivessem sob pressão positiva, como mostra a Figura 100, estando o apartamento 1 totalmente na sombra de vento (pressão negativa). A geometria do edifício gerou turbilhão à sotavento na parte central do mesmo, como mostra a Figura 101.

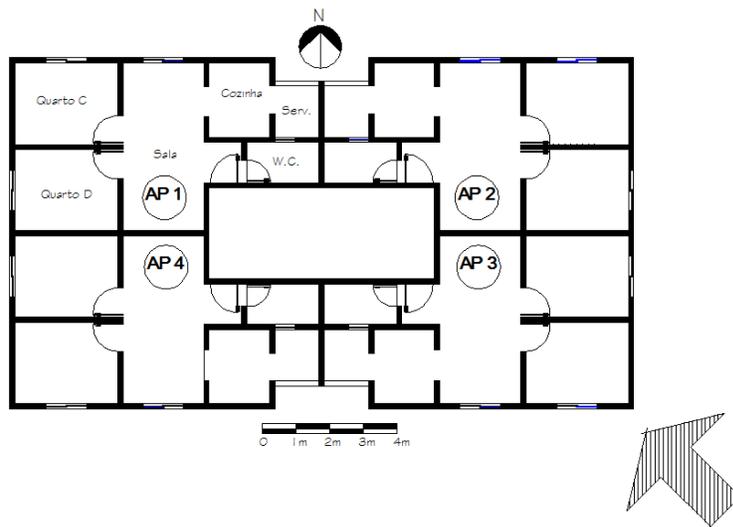


Figura 100: Planta baixa da tipologia 2 com vento incidente a 135°.

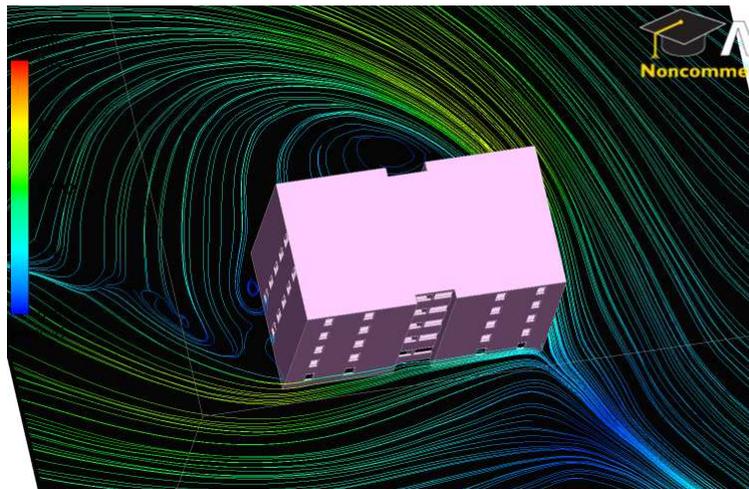


Figura 101: visualização do fluxo de ar externo com vento incidente Sudeste. H=1,5m.

Analisando o fluxo de ar no interior das unidades habitacionais, apresentam-se as Figuras 102, 103 e 104 para primeiro, terceiro e quinto pavimentos respectivamente. De uma maneira geral, observou-se que as unidades mais bem ventiladas foram os apartamentos 2 e 4, devido à diferença de pressão em suas aberturas. No apartamento 2, o posicionamento da abertura do quarto D permitiu que esta funcionasse como entrada de ar, ao passo que as aberturas da sala, área de serviço e do quarto C, funcionassem como saídas de ar. No apartamento 4 observou-se o inverso: a abertura da área de serviço funcionou como captadora de ar e a do quarto D funcionou como extratora, pois estava localizada na zona de pressão negativa.

No apartamento 1, o fluxo de ar entrou pela abertura do quarto D e saiu pela sala e área de serviço, onde estavam as aberturas de saída mais próximas. No apartamento 3 a pequena reentrância gerou diferença de pressão na abertura da área de serviço, o que incrementou um pouco o movimento de ar neste apartamento. Neste caso, a posição dos quartos, com aberturas para fachadas diferentes, possibilitou o maior movimento do ar no quarto D. Por outro lado, o posicionamento da cozinha e do banheiro, ambos sem aberturas diretas para o exterior, prejudicou a ventilação destes ambientes.

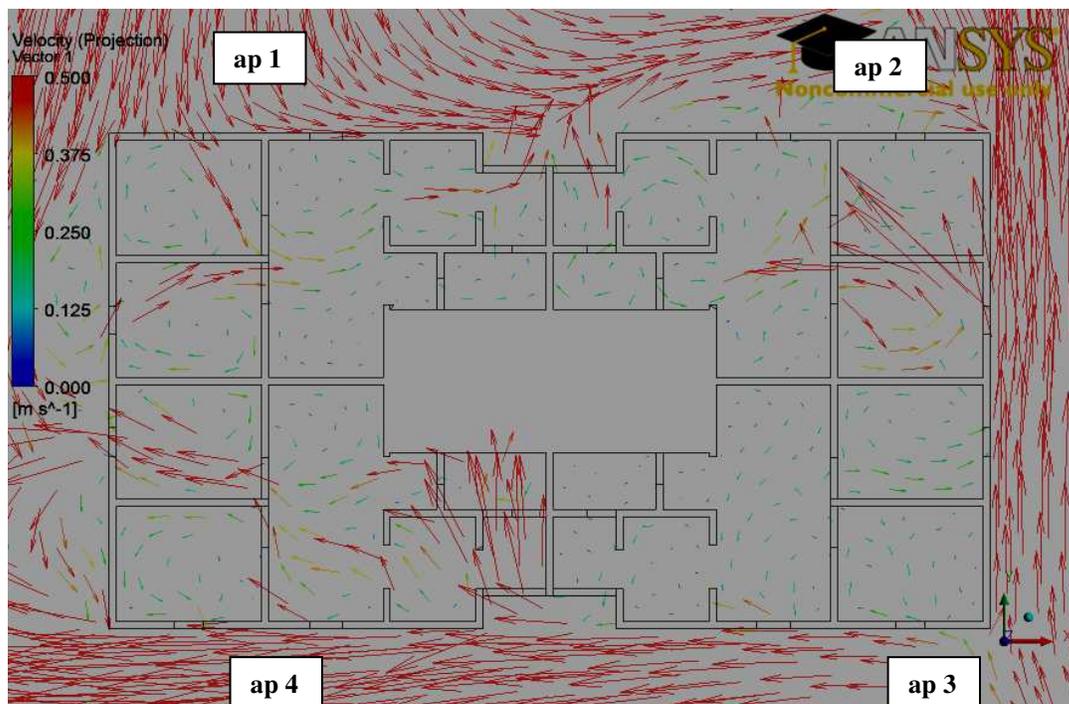


Figura 102: visualização do fluxo de ar interno. H=1,5m.

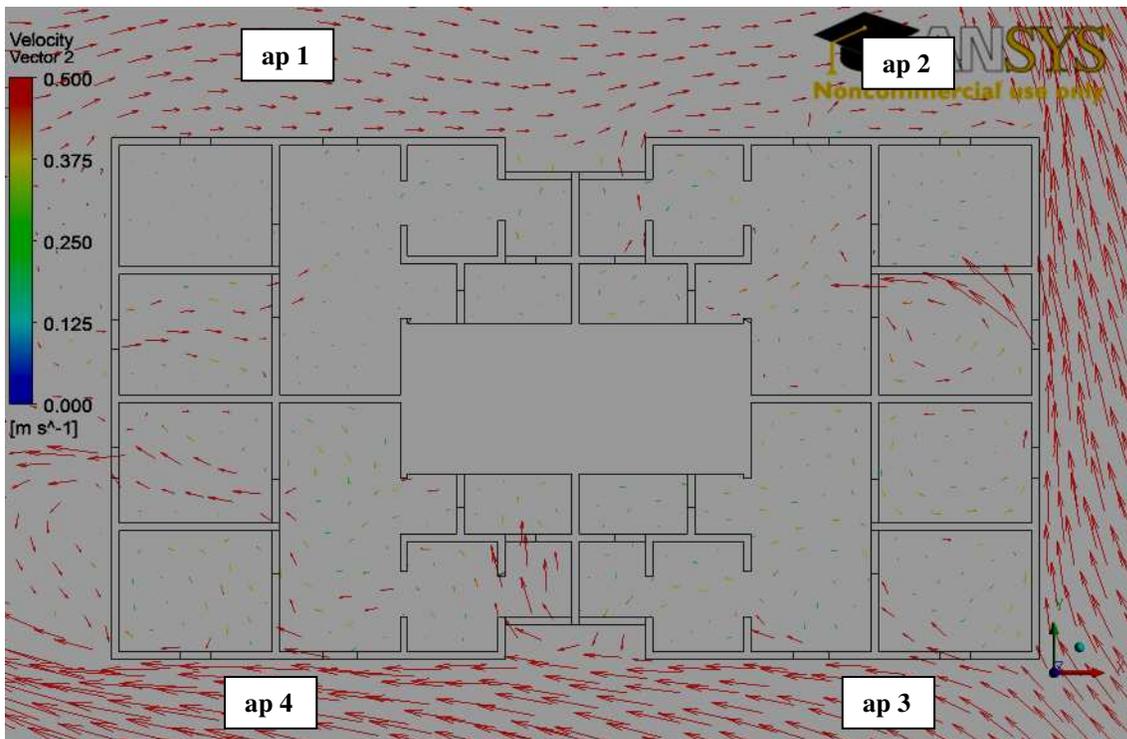


Figura 103: visualização do fluxo de ar interno. H=6,5m.

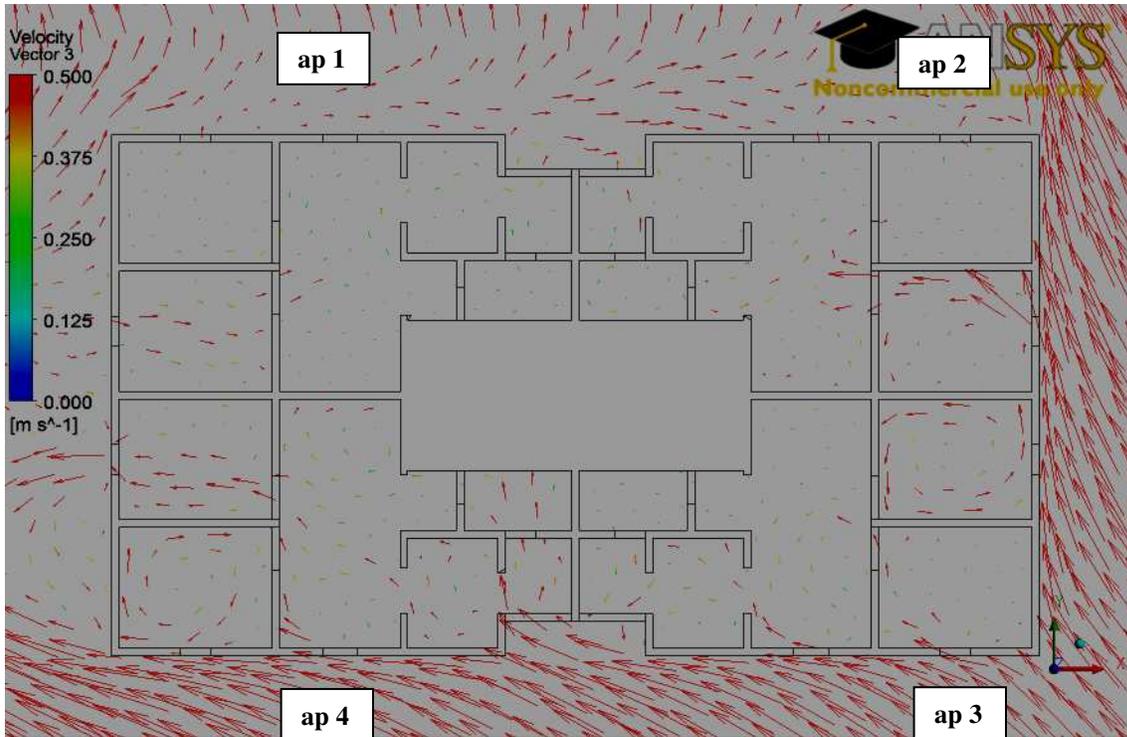


Figura 104: visualização do fluxo de ar interno. H=11,5m.

O quadro 09 traz gráficos com os valores de velocidade média registrados nos ambientes internos. Na sala, os valores de velocidade média foram, em geral, baixos. Nesta tipologia, a sala é vista como um ambiente de passagem tendo sua ventilação muito relacionada ao movimento de ar entre a área de serviço e os quartos. Faltou-lhe uma maior autonomia devido à própria configuração interna em planta, o que não é interessante para um ambiente de permanência prolongada. A situação pode ainda ser piorada se o usuário fechar as portas do banheiro e dos quartos, deixando o sistema praticamente como ventilação unilateral.

Quanto à área de serviço, os resultados mostraram excelente ventilação no apartamento 4, onde provavelmente a roupa ali exposta secará em poucos minutos, devendo inclusive haver controle por parte do usuário deste local. É importante lembrar que a abertura efetiva deste ambiente é maior que os demais devido à falta de esquadria. No entanto nos demais apartamentos o desempenho cai para menos que um terço.

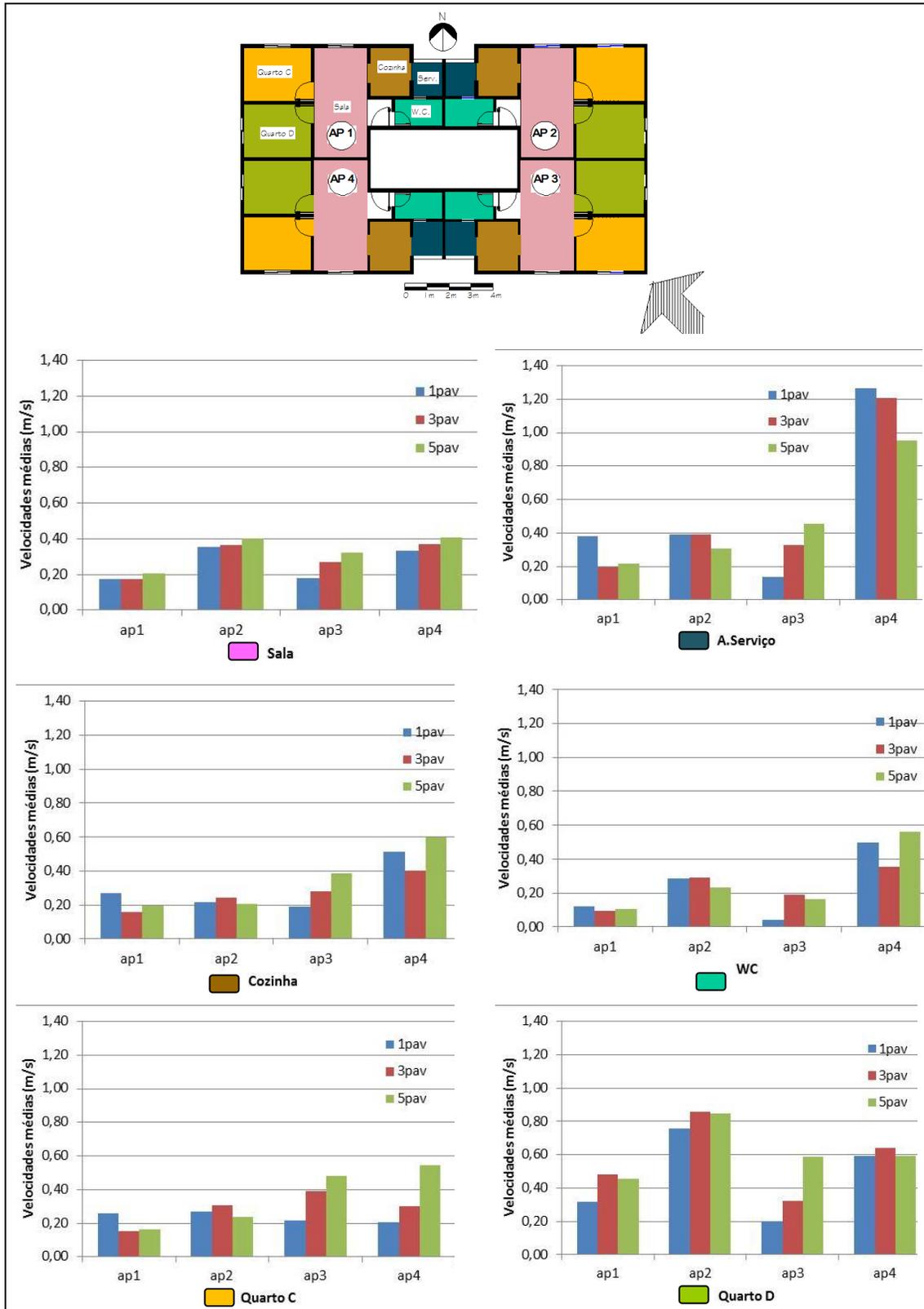
Consequentemente o resultado das cozinhas seguiu pelo mesmo caminho. Somente o apartamento 4 apresentou boa ventilação no local, embora seja um ambiente de passagem de ar, sem aberturas próprias externas. Neste caso, às altas velocidades incidentes na área de serviço deste apartamento que foram transferidas para a cozinha.

Ainda como complemento da área de serviço, os resultados dos banheiros demonstraram valores razoáveis apenas na unidade habitacional 4. Nos demais apartamentos faz-se necessário auxílio de outro mecanismo para obtenção de ventilação natural, sendo esta tão importante para ambientes desta natureza devido à alta umidade e liberação de odores.

O quarto C, posicionado nos cantos do edifício, não apresentou de uma maneira geral um bom desempenho em nenhum dos apartamentos. Complementando a análise qualitativa, a ventilação que ocorre nestes ambientes é muitas vezes o resultado de uma recirculação de ar e não de troca efetiva de ar proveniente da ventilação cruzada. Tratando-se de quartos, que são ambientes de permanência prolongada, isto é grave.

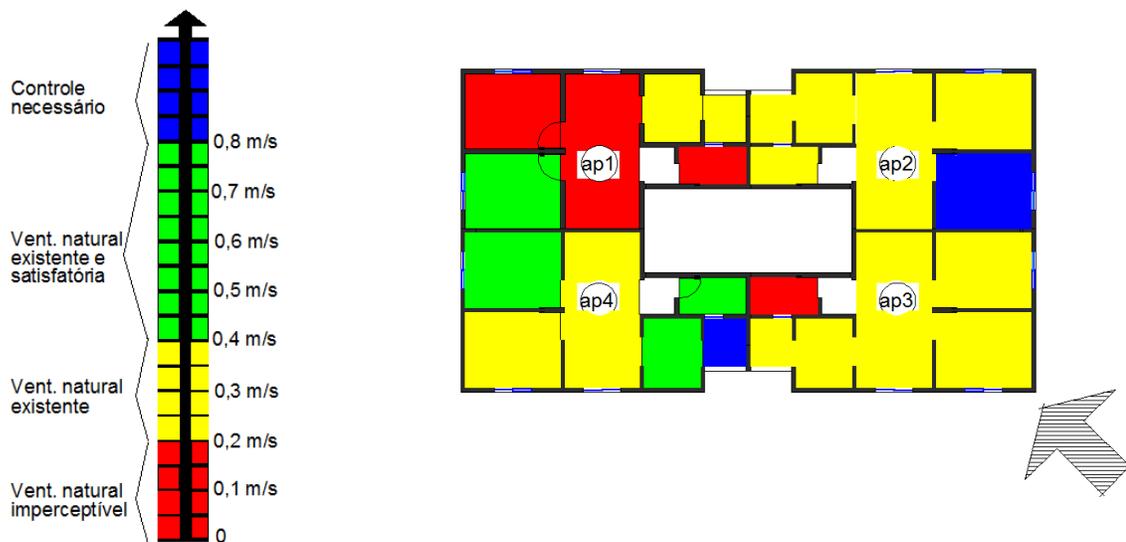
Referente ao quarto D, localizado no eixo longitudinal do edifício, os valores indicaram boa ventilação nestes ambientes, com exceção do apartamento 3. No apartamento 2 possivelmente haverá controle do vento por parte do usuário, uma vez que as velocidades médias foram altas indicando possivelmente desconforto térmico para frio.

Quadro 09: resultados velocidades médias nos ambientes da tipologia 2. Vento 135°.



Aplicou-se a escala cromática de velocidades médias. O diagrama cromático apresentado na Figura 105 refere-se ao resultado final filtrado como maioria entre as velocidades médias obtidas no primeiro, terceiro e quinto pavimentos de cada ambiente. Neste caso, é importante dizer que para efeito de desempate, quando cada pavimento resultou em velocidade em faixas cromáticas diferentes, usou-se a média aritmética entre as três velocidades como valor final para ser usado na escala cromática.

Esta análise confirmou que o apartamento mais bem ventilado nesta tipologia para vento incidente à 135° foi o apartamento 4. Ainda assim a sala e o quarto C apresentaram deficiência de ventilação indicando provável desconforto térmico para calor nestes ambientes. O apartamento 2 apresentou o quarto D com extrema ventilação, tendo inclusive que ser controlada de alguma maneira pelo usuário, no entanto, devido ao posicionamento de aberturas e configuração interna, esta ventilação não foi transferida aos demais ambientes. O apartamento 3 por ter a maior parte das aberturas sob pressão positiva, não apresentou boa ventilação. O apartamento 1, como já era esperado por localizar-se à sotavento, também não obteve bons resultados, com exceção do quarto D (eixo do edifício) o qual apresentou ventilação adequada. A seguir apresenta-se o resumo dos resultados desta tipologia sob os três diferentes ângulos de incidência do vento. Apresentam-se os aproveitamentos internos bem como os diagramas cromáticos de velocidades médias aplicadas ao conforto térmico.



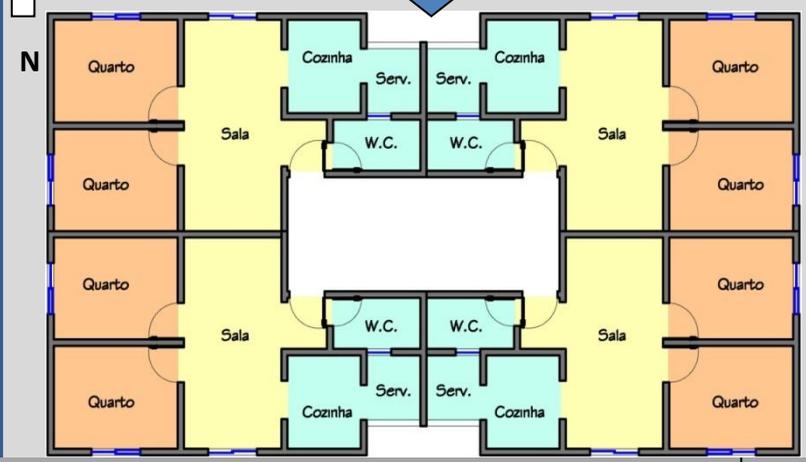
Tipologia 2

CARACTERIZAÇÃO:

O estudo de caso 2, também localizado na região Sudoeste, é um empreendimento que possui 2700 unidades habitacionais dispostas em 135 blocos. Sua planta é retangular (com leve reentrância), porém apresenta um grande diferencial das demais tipologias, pois a ventilação da cozinha e do banheiro se dá pela abertura da área de serviço (ver figura ao lado).

RESULTADOS:

De uma maneira em geral a ventilação das cozinhas e banheiros é prejudicada pela localização desses Ambientes e pela falta de aberturas diretas para o exterior. As salas também não apresentam boa ventilação. O melhor desempenho encontrado nesta tipologia é para incidência de vento Sudeste.

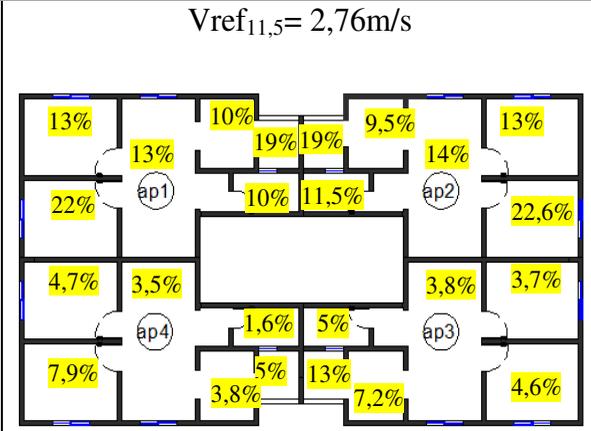
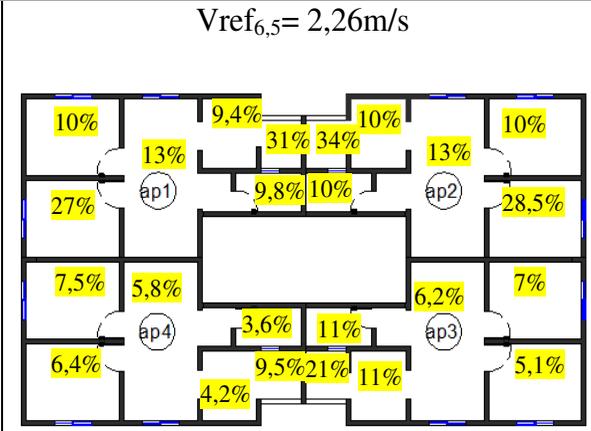
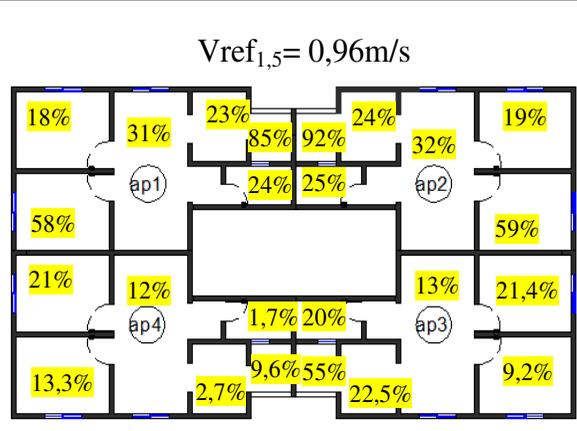
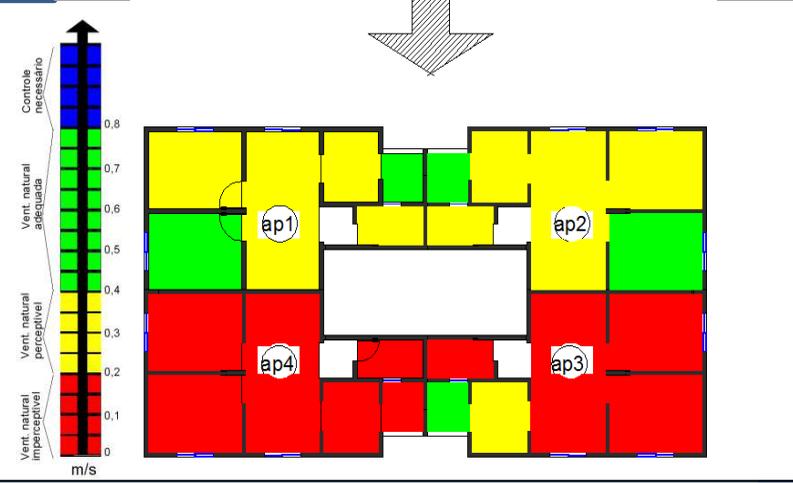


Ventilação x Conforto

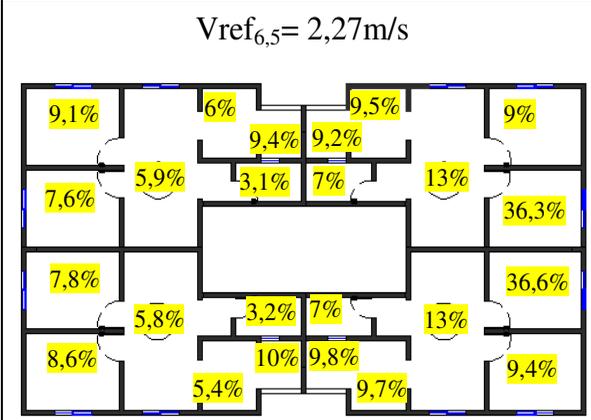
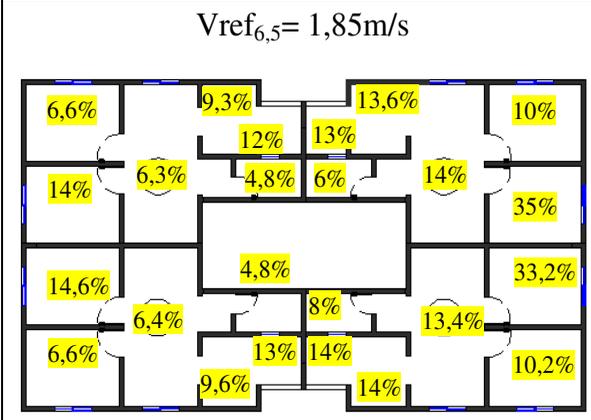
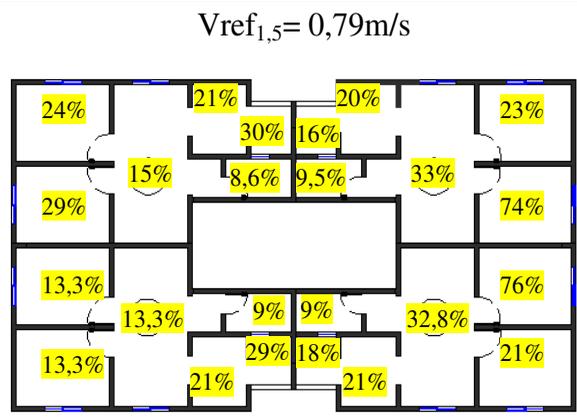
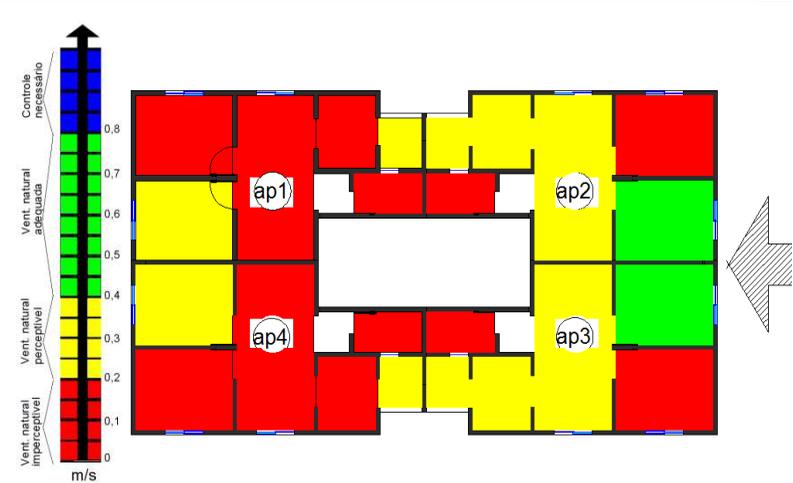
Aproveitamentos internos (GIVONI,1962)

1° Pavimento 3° Pavimento 5° Pavimento

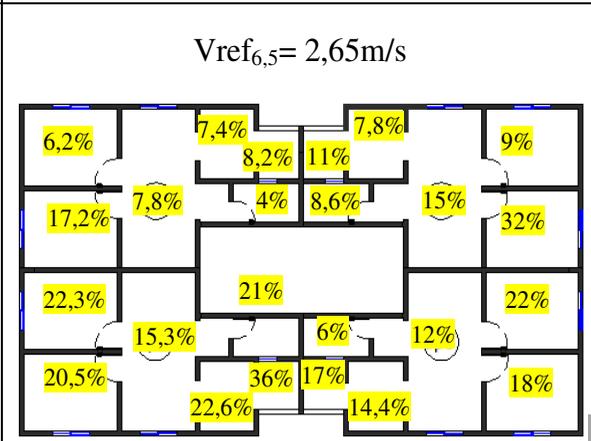
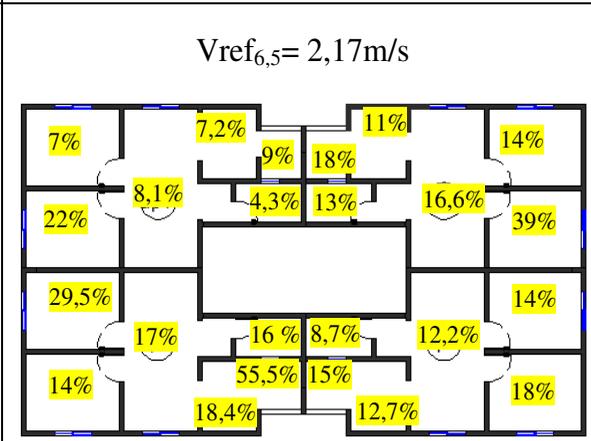
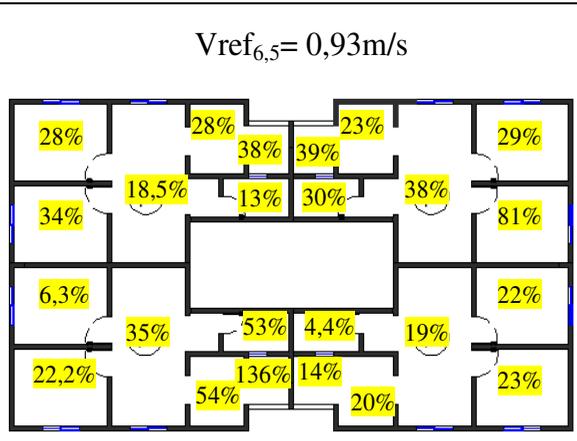
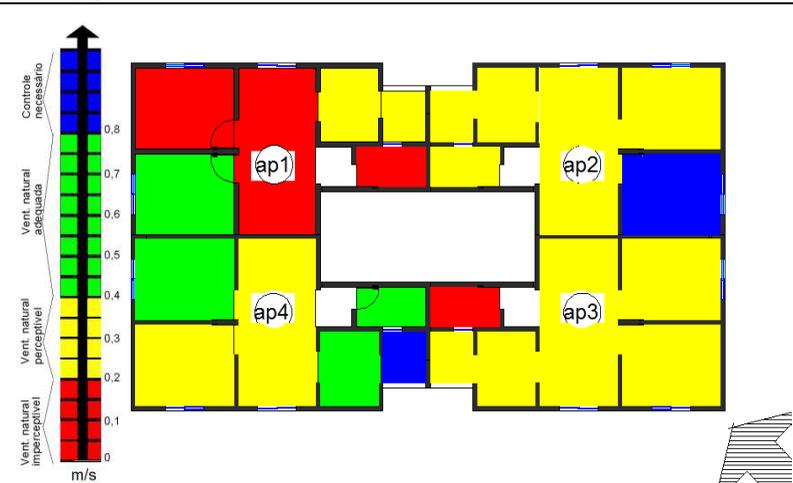
Vento 0°



Vento 90°



Vento 135°



5.3 Tipologia 3

5.3.1 Vento incidente a 0° (Norte)

Este edifício apresenta tipologia acentuadamente retangular com leve reentrância central e maior nos cantos. Para relembrar, diferentemente dos demais, nesta tipologia decidiu-se agrupar 8 unidades habitacionais por pavimento, ao contrário de 4 unidades como ocorreu nas outras tipologias, por isso, apresenta-se configuração interna distinta para os apartamentos do canto e os do centro do edifício. Com incidência de vento a 0°, os apartamentos à barlavento são os apartamentos 1, 2, 3 e 4, e à sotavento estão os apartamentos 5, 6, 7 e 8, como mostra a Figura 106. Inicialmente, através de imagens do quadro 10, discute-se a relação da geometria do edifício com o fluxo de ar externo nos pavimentos estudados.

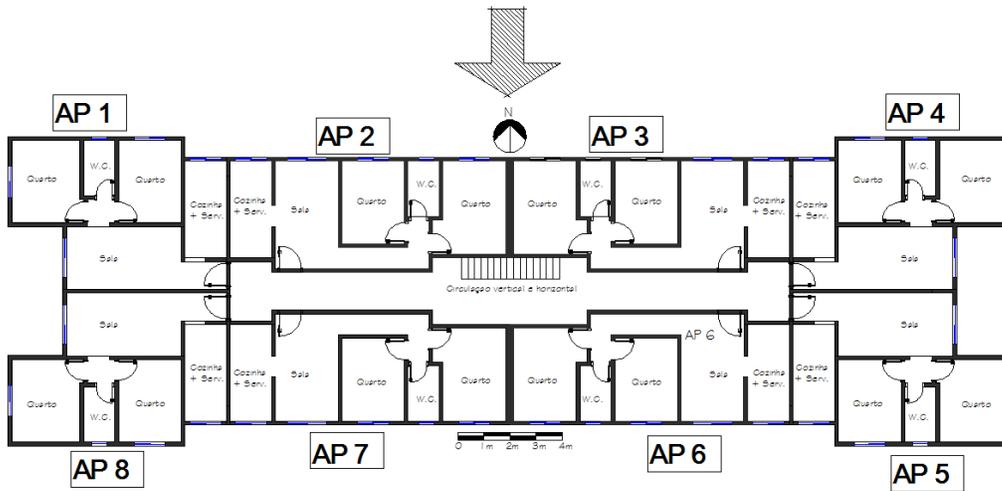
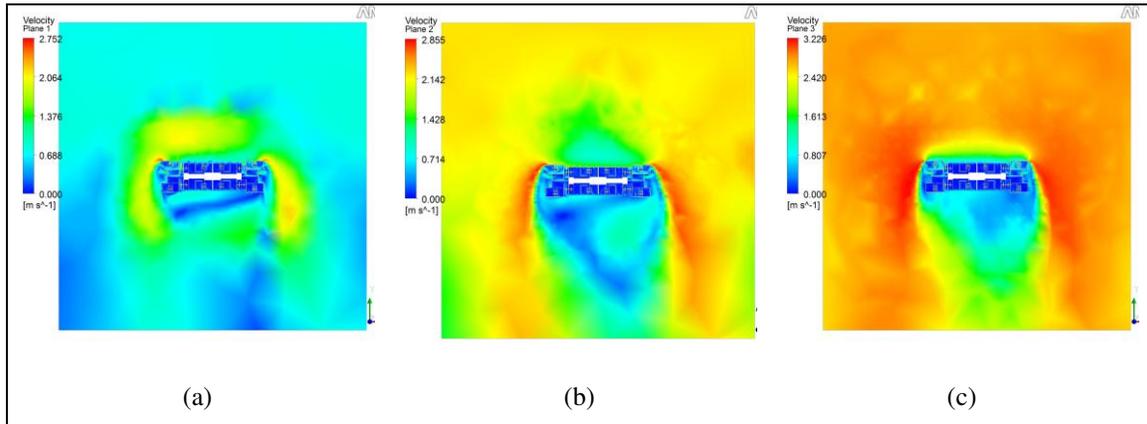


Figura 106: Planta baixa da Tipologia 3. Vento incidente 0°.

Quadro 10: fluxo de ar externo incidente na tipologia 3. Vento incidente 0°.



Legenda:

- (a) Imagem do fluxo de ar externo no primeiro pavimento
- (b) Imagem do fluxo de ar externo no terceiro pavimento
- (c) Imagem do fluxo de ar externo no quinto pavimento

Percebe-se no primeiro pavimento, que houve a influência da proximidade com o piso associada à geometria alongada do edifício, o que ocasionou formação do efeito de borda nas esquinas à barlavento e de um “cinturão” de baixas velocidades em torno do edifício. As imagens 107 e 108 mostram respectivamente a massa de ar incidindo na grande fachada e o grande turbilhão gerado pelo volume do edifício o que, devido a turbulência, não ocorre de maneira simétrica no edifício. Com o aumento do pavimento e das velocidades externas o descolamento da camada limite das esquinas do edifício é menor e a sombra de vento à sotavento tende também a diminuir.



Figura 107: Visualização do fluxo de ar externo H=1,5m na fachada à barlavento

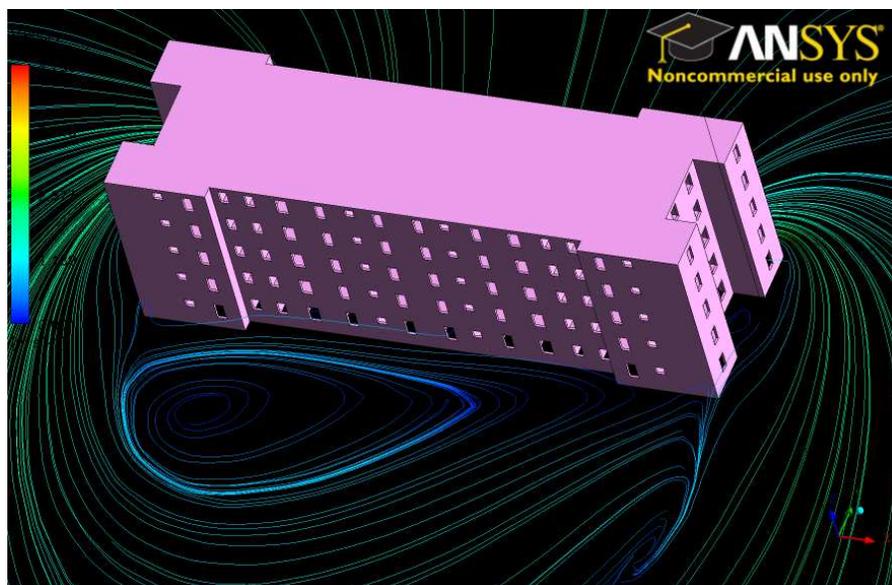


Figura 108: Visualização do fluxo de ar externo H=1,5m na fachada à sotavento.

Uma análise mais pontual sobre o comportamento do vento na parte interna do edifício foi realizada a partir das Figuras 109, 110 e 111. Observou-se que, a baixas velocidades (primeiro pavimento), a movimentação de ar nos apartamentos do centro foi mais intensa que nos demais pavimentos, embora não apresente um sentido definido, uma vez que todas as aberturas localizavam-se numa mesma fachada e praticamente sob mesma pressão. Nos apartamentos do canto à barlavento (ap1 e ap4), o sentido assumido pelo vento foi bastante

definido, onde a abertura da cozinha e do quarto próximo à ela funcionaram como entradas de ar e as aberturas da sala e do outro quarto funcionaram como saídas de ar (pressão negativa). Nos apartamentos de canto a sotavento (ap5 e ap8) o mesmo ocorreu, porém com menor velocidade, pois a diferença de pressão não foi tão expressiva. Ressalta-se, portanto a importância de criar reentrâncias nas fachadas e localizar aberturas próximas às mesmas.

Nos pavimentos mais altos (terceiro e quinto), o mesmo fenômeno ocorreu nos apartamentos de canto, tanto à barlavento quanto à sotavento. Nos apartamentos centrais devido à velocidade de incidência mais alta, perde-se totalmente a noção de sentido do fluxo, e praticamente torna-se ventilação unilateral, uma vez que todas as aberturas estão na mesma fachada sob a mesma pressão (praticamente). Daí ressalta-se que com vento incidente perpendicularmente à fachadas monolíticas e bastante alongadas, quando não se tem a saída de ar pela fachada oposta ao edifício, compromete-se muito a ventilação interna dos apartamentos do centro do edifício.

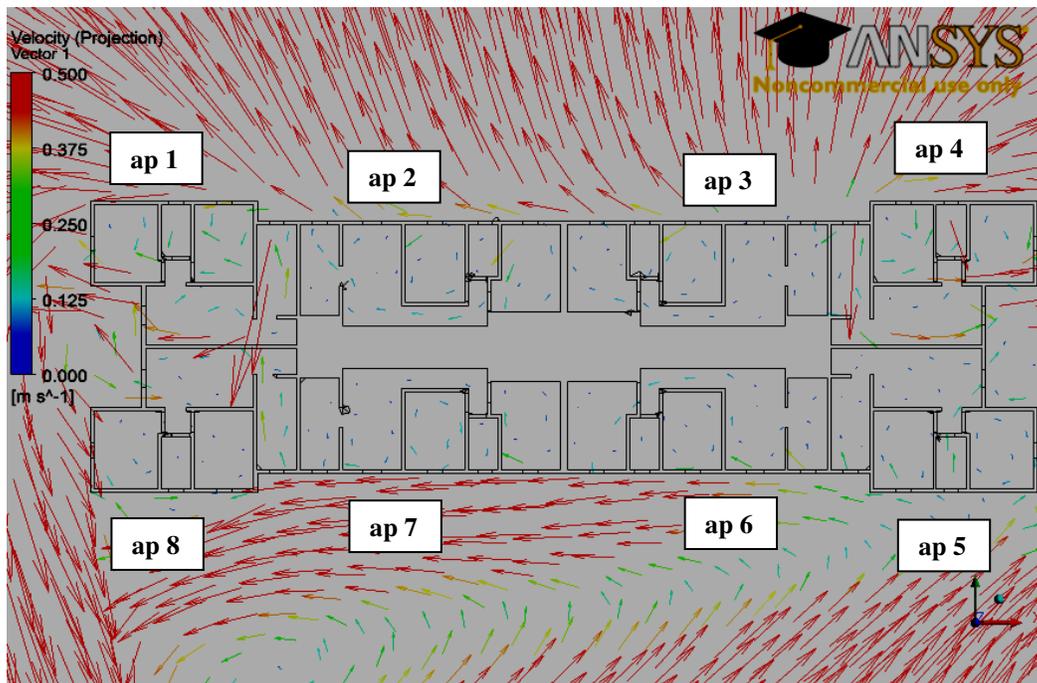


Figura 109: Visualização do fluxo de ar interno (vetores) H=1,5m.

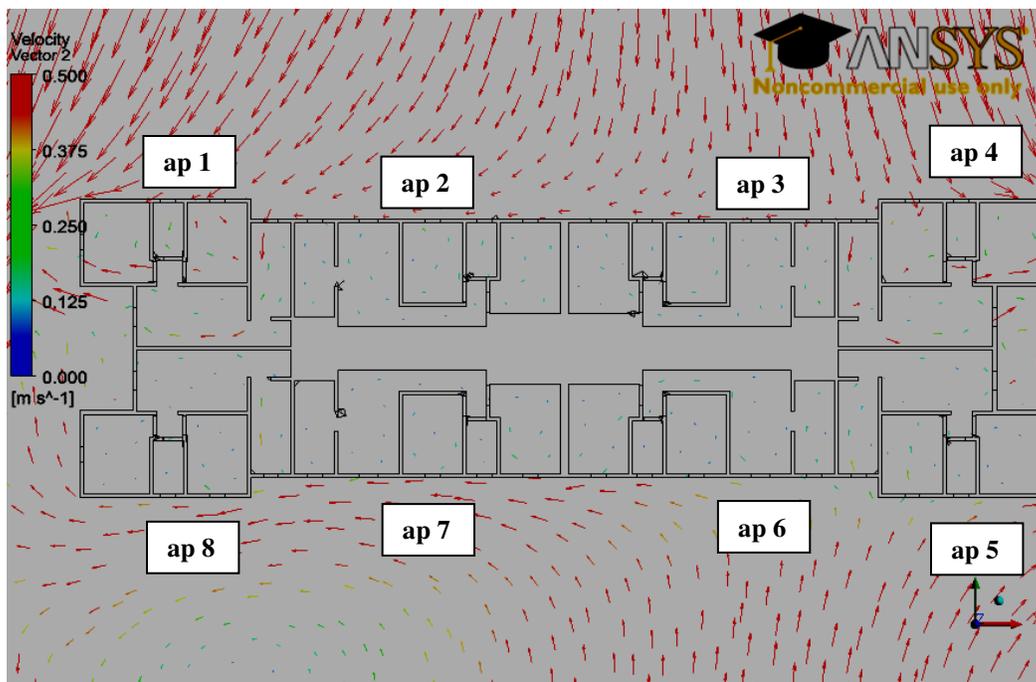


Figura 110: Visualização do fluxo de ar interno (vetores) H=6,5m.

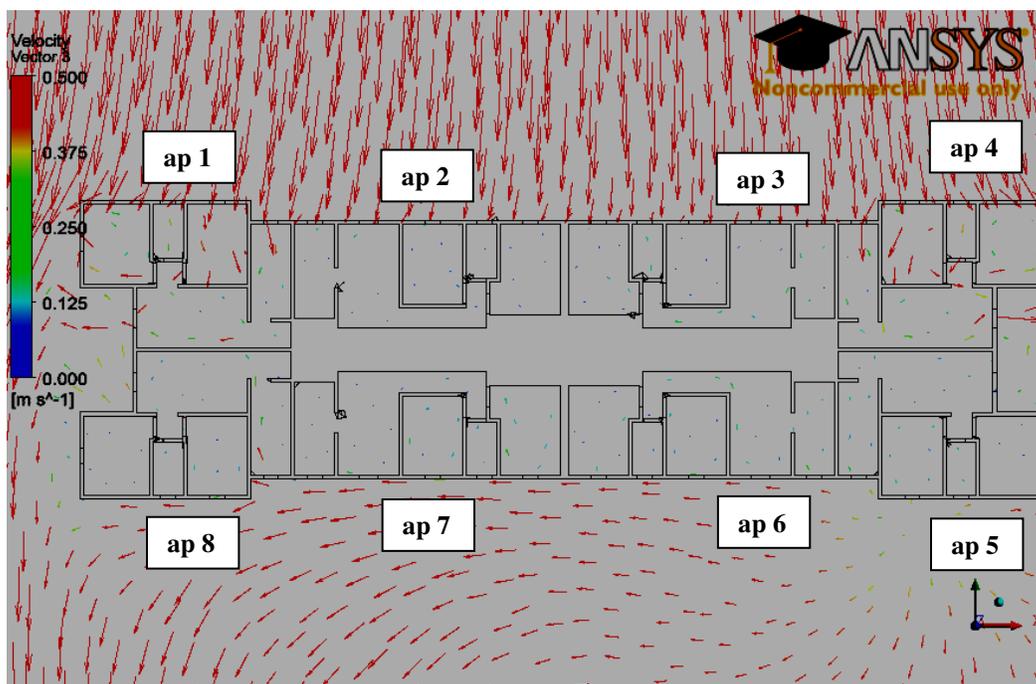


Figura 111: Visualização do fluxo de ar interno (vetores) H=11,5m.

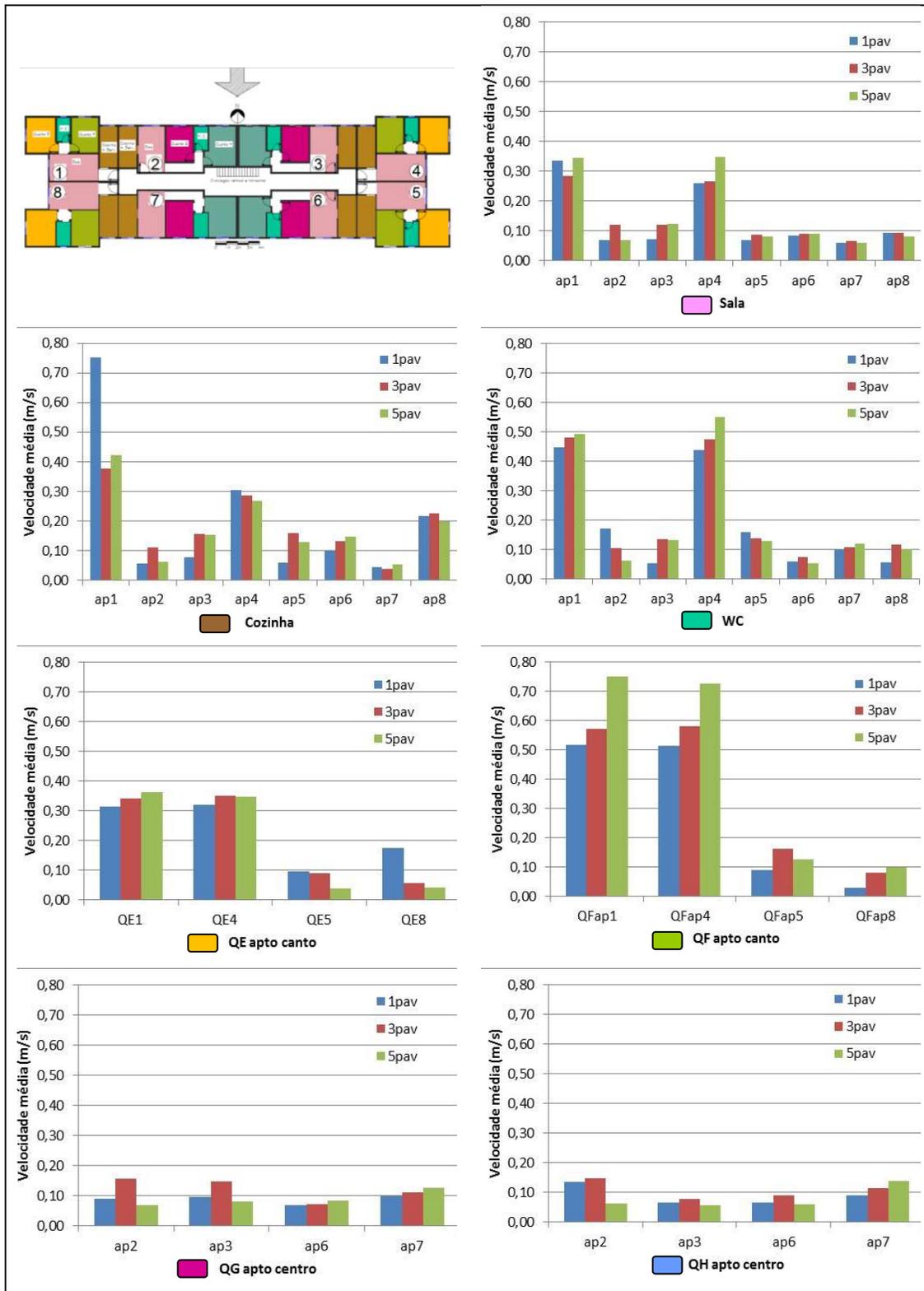
Uma análise mais pontual por ambiente pode ser acompanhada pelo Quadro 11 que traz gráficos de velocidades médias. Quanto às salas, as velocidades médias atingidas foram muito baixas e indicativas de sérios problemas de conforto térmico devido à falta de ventilação. Observou-se um leve aumento de velocidade média do ar nas salas dos apartamentos 1 e 4 (apartamentos de canto à barlavento) devido ao posicionamento das aberturas destes ambientes terem funcionado com saídas de ar, gerando uma ventilação cruzada com o vento que incidiu na abertura da cozinha. Salienta-se que o sentido deste fluxo parte de uma zona molhada para zonas secas. Isto deve ser observado pelo projetista.

Em relação às cozinhas, novamente o melhor desempenho foi nos apartamentos 1 e 4 (barlavento), principalmente à baixas velocidades (primeiro pavimento). No apartamento 8, embora esteja localizado na sombra de vento, como foi mencionado anteriormente o turbilhão originado pela geometria do edifício atinge novamente a abertura da cozinha proporcionando uma ventilação melhor que no apartamento 5, porém ainda insuficiente para retirada de calor deste ambiente. Nos apartamentos do centro do edifício a ventilação é praticamente inexistente.

Basicamente somente os banheiros dos apartamentos à barlavento do canto (ap1 e ap4) apresentam um bom resultado. Nos demais banheiros será necessária à implantação de um sistema mecânico de ventilação (aumento no consumo energia).

Os quartos foram divididos em duas categorias: os quartos E (cor laranja) e F (cor pistache) pertencentes aos apartamentos de canto (ap1, ap4, ap5 e ap8) ;e quartos G (cor magenta) e H (cor cinza azulado) pertencentes aos apartamentos de centro (ap2, ap3, ap6 e ap7). No sistema composto pelos quartos E e F, o pequeno hall funcionou como condutor entre eles, permitindo que o ar entre pela abertura do quarto F e saia pela abertura do quarto E. Este efeito ficou evidente nos apartamentos à barlavento (ap1 e ap4) onde as velocidades médias atingidas principalmente nos quartos que contém as aberturas de entrada foram bem elevadas. Nos demais quartos (ap 5 e ap8), as velocidades médias indicaram ausência de ventilação.

Quadro 11: resultados velocidades médias nos ambientes da tipologia 3. Vento 0°.



Nos quartos G e H as velocidades médias atingidas foram muito baixas, atingindo valor máximo de 0,13m/s. A ausência de diferença de pressão é responsável direta pela falta de ventilação. Este resultado é muito grave uma vez que quartos são ambientes de longa permanência e devem ser arejados até por questões de salubridade. Certamente sistemas mecânicos de ventilação serão acionados pelos usuários o que culminará no aumento no consumo de energia destes apartamentos.

Realizando análise voltada para o conforto térmico, aplicou-se escala cromática no edifício em questão sob incidência de vento a 0°. Observou-se que de uma maneira geral, os apartamentos do canto, localizados, próximos às reentrâncias, apresentaram resultados que indicaram condições de ventilação para conforto térmico, apesar de possuírem ambientes com deficiência. Afirma-se então que nesta tipologia com vento incidente a 0°, apenas 25% dos apartamentos apresentaram condições de ventilação natural razoáveis do ponto de vista do conforto térmico (Figura 112).

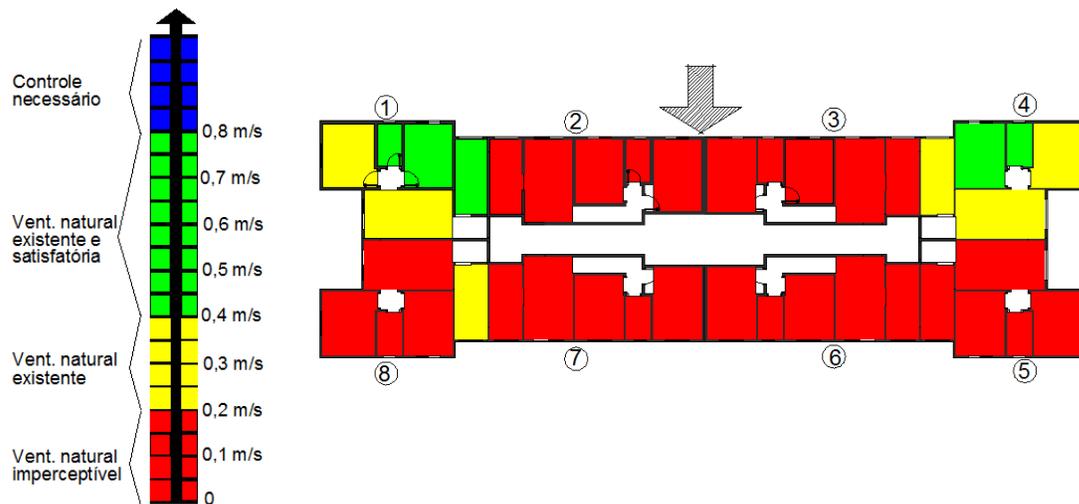


Figura 112: diagrama cromático de velocidades. Tipologia 3. Vento incidente 0°.

Esta constatação é bastante grave e deve ser divulgada não somente dentre os projetistas, mas também para a sociedade como um todo, para que haja uma reflexão sobre o uso desta tipologia e como podemos melhorá-la do pronto de vista de projeto.

5.3.2 Vento incidente a 90° (Leste)

Nesta tipologia, com incidência de vento Leste, os apartamentos 4 e 5 estão na zona de pressão positiva (à barlavento) e os demais apartamentos na zona de pressão negativa (Figura 113). O fluxo de ar externo ao edifício é mostrado no Quadro 12. No primeiro pavimento (baixa velocidade de vento incidente) o efeito de borda ficou bastante evidente nas laterais do edifício, já no terceiro pavimento, com o aumento da velocidade, a sombra de vento que se formou é extensa e localizada atrás do mesmo, por fim, no quinto pavimento (velocidades ainda maiores), a sombra de vento atingiu menores proporções e voltou a se aproximar do edifício. As figuras 114 e 115 mostram divisão do fluxo de ar ao se deparar com o volume do edifício no primeiro pavimento.

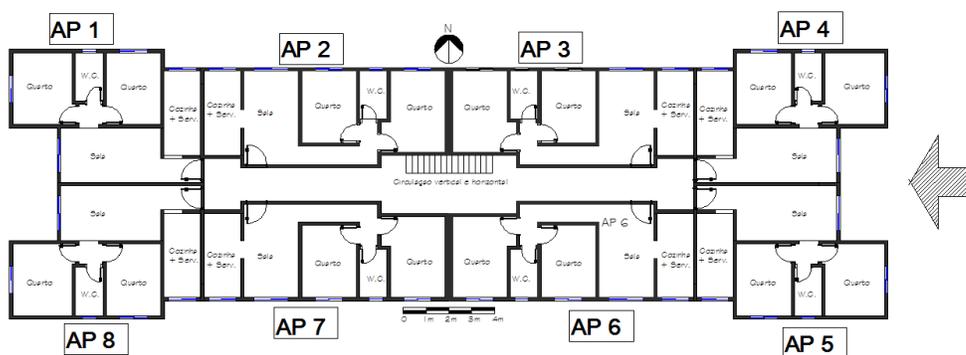
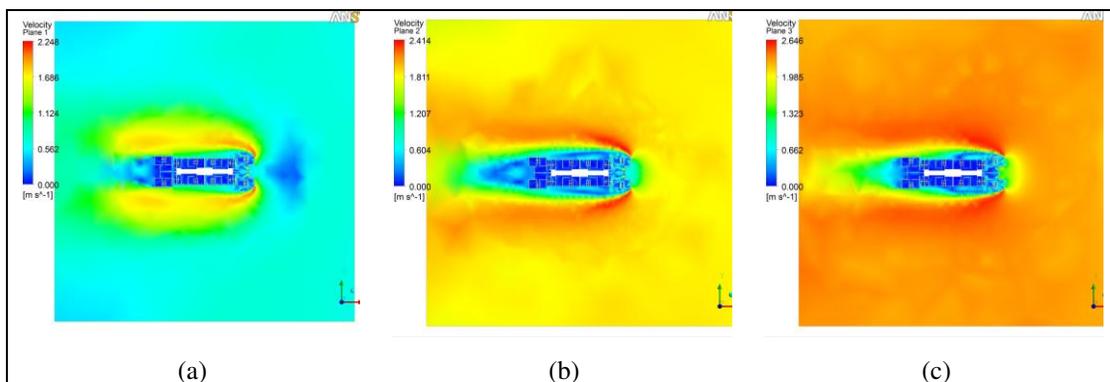


Figura 113: Planta do pavimento tipo da Tipologia 3. Vento incidente 0°.

Quadro 12: fluxo de ar externo incidente na tipologia 3. Vento incidente 0°.



Legenda:

- (a) Imagem do fluxo de ar externo no primeiro pavimento
- (b) Imagem do fluxo de ar externo no terceiro pavimento
- (c) Imagem do fluxo de ar externo no quinto pavimento

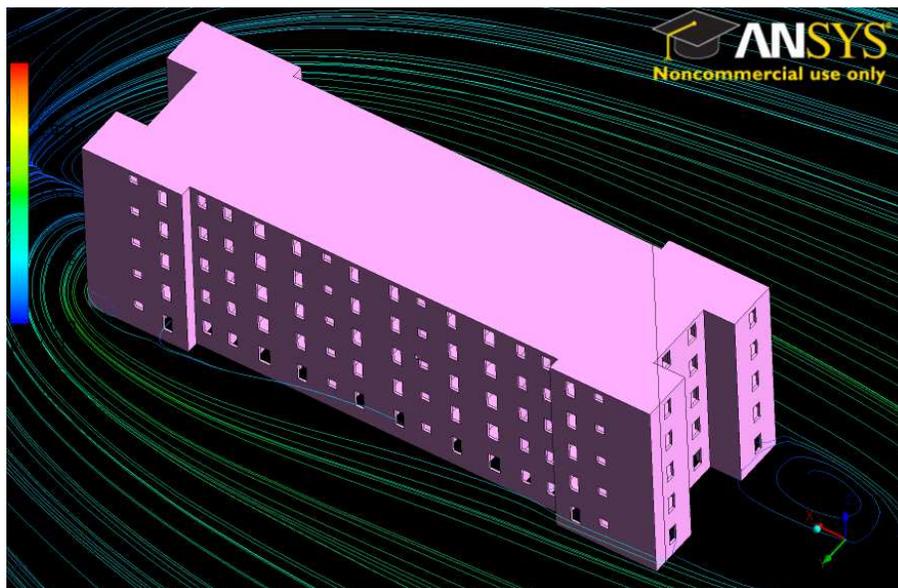


Figura 114: Visualização de “linhas de corrente” para vento incidente leste. Primeiro pavimento.



Figura 115: Visualização de “linhas de corrente” para vento incidente leste. Primeiro pavimento.

Diante dessas informações, analisou-se o fluxo de ar interno nos apartamentos, mostrados nas Figuras 116, 117 e 118. No primeiro pavimento a velocidade externa é menor e há influência da proximidade com o piso. Nos apartamentos à barlavento (ap4 e ap5), o vento

entrou pela abertura da sala (localizada na reentrância) e saiu pela abertura da cozinha. Nos apartamentos 1 e 8 o vento conseguiu entrar pela abertura da cozinha e sair pela sala. Nos apartamentos 2 e 7 o vento entrou pela cozinha e sala saindo pelos quartos. Nos apartamentos 3 e 6 entrou pelo quarto maior saindo pela sala e cozinha. Nos apartamentos à barlavento (ap4 e ap5), o vento entrou pela abertura da sala (localizada na reentrância) e sai pela abertura da cozinha.

No terceiro e quinto pavimentos, quando a velocidade do vento externa é maior, praticamente só os apartamentos 4 e 5 conservaram sua ventilação, nos demais apartamentos, a ventilação foi mínima. Isto porque a o descolamento do fluxo de ar da lateral do edifício deixou todas as aberturas pertencentes a maior fachada na zona de pressão negativa. E como não havia diferença de pressão, o fluxo não adentrou as aberturas.

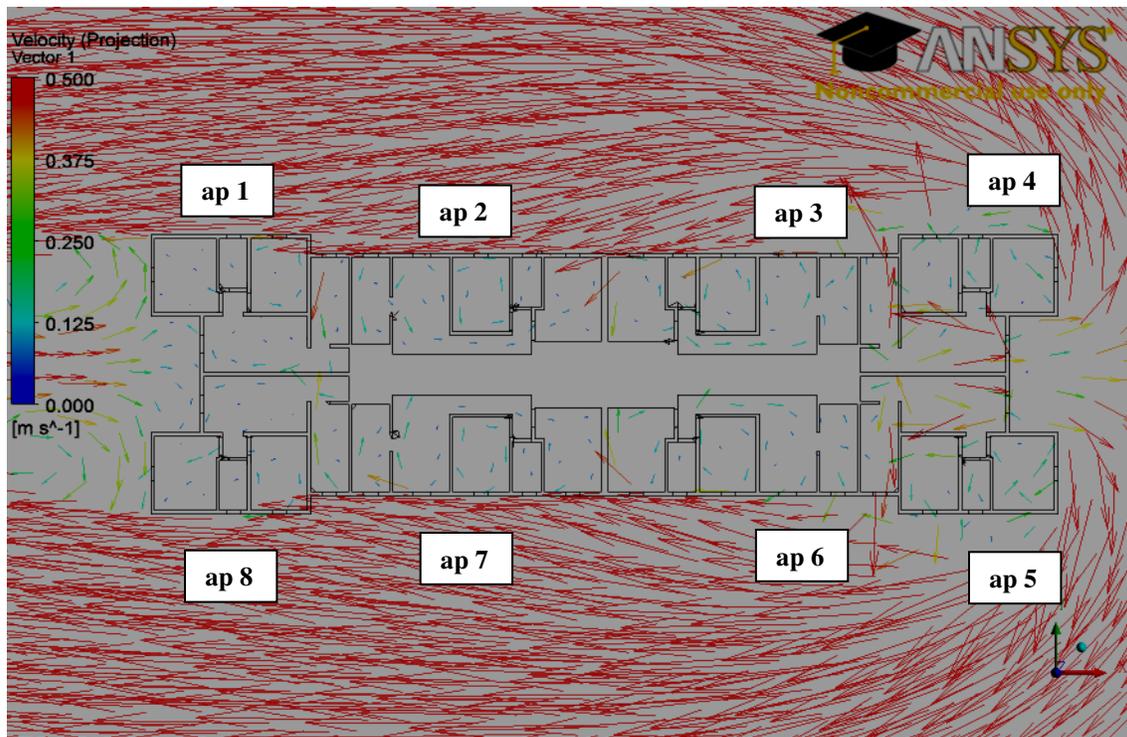


Figura 116: Visualização do fluxo de ar (vetores) com vento 90°. Primeiro pavimento.

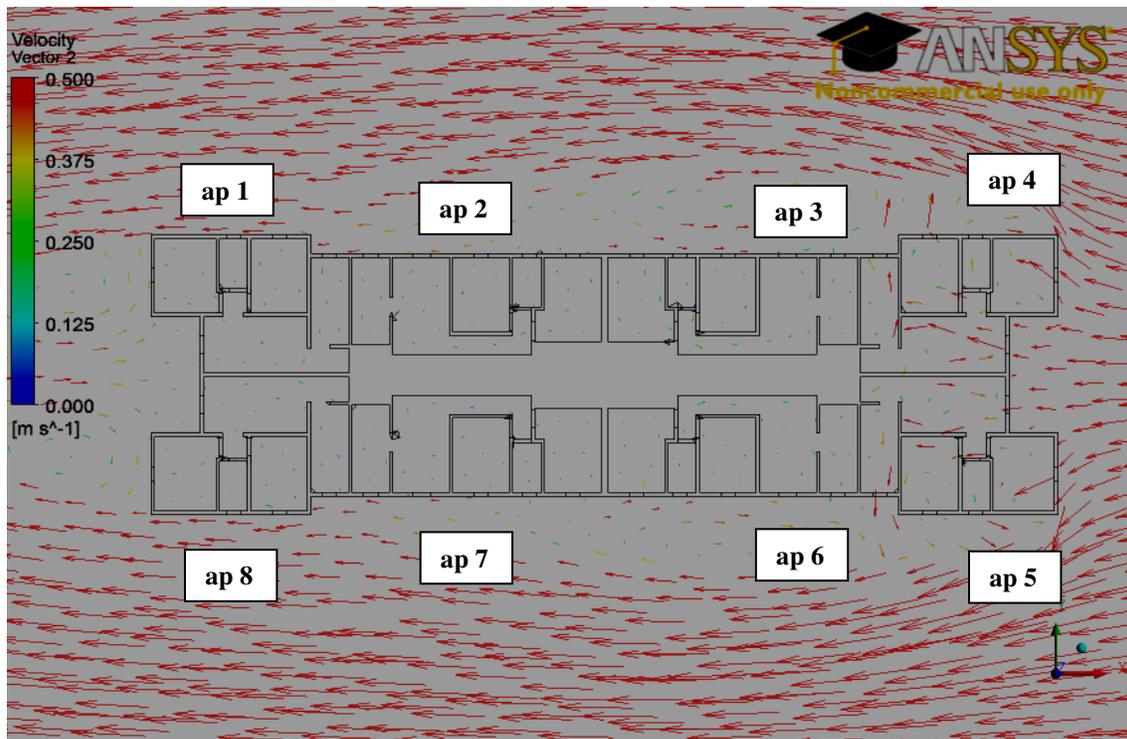


Figura 117: Visualização do fluxo de ar (vetores) com vento incidente 90°. Terceiro pavimento.

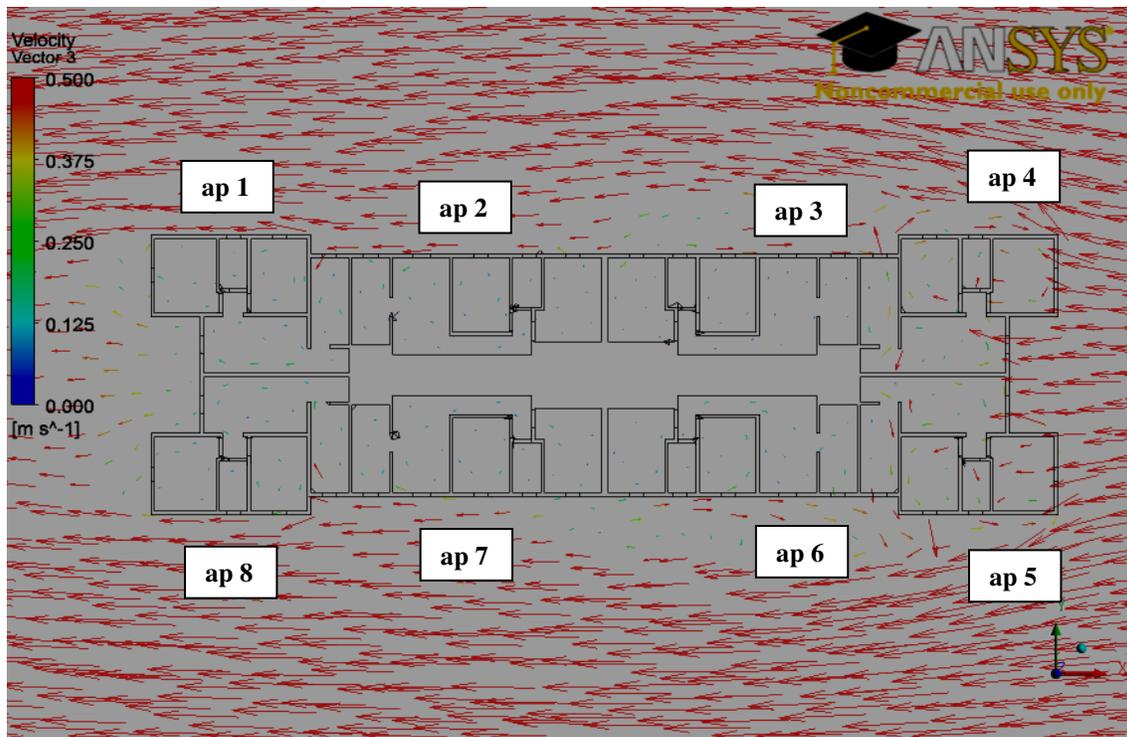


Figura 118: Visualização do fluxo de ar (vetores) com vento incidente 90°. Quinto pavimento.

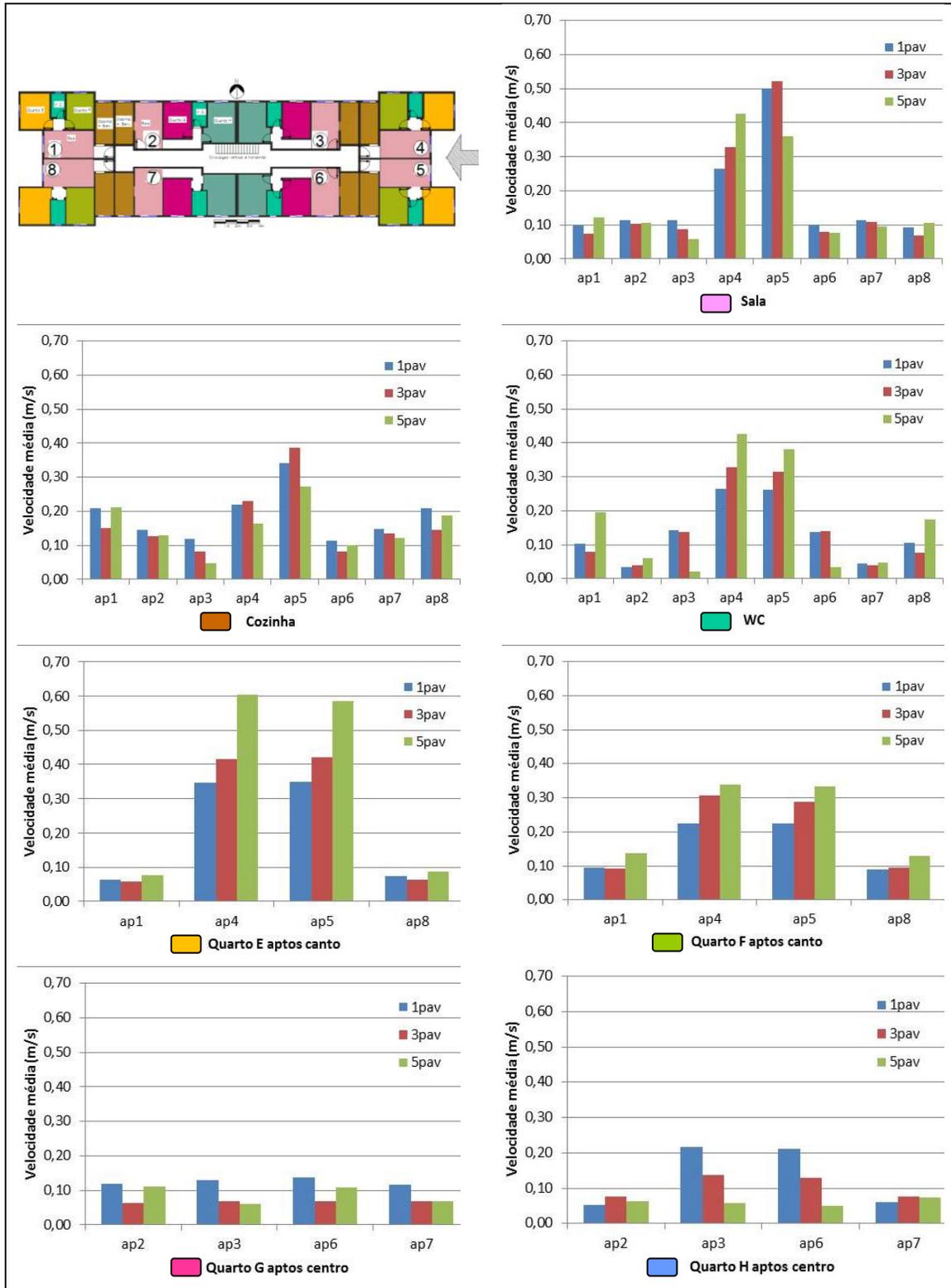
O quadro 13 traz gráficos que mostram resultados de velocidade média nos ambientes desta tipologia. Quanto às salas, no apartamento 4, localizado à barlavento, os valores registrados foram razoáveis. No apartamento 5, também localizado à barlavento, os resultados foram melhores, apesar da diminuição da velocidade no quinto pavimento. Porém nas demais unidades habitacionais os valores foram muito baixos, inaceitáveis para este tipo de ambiente.

Em relação às cozinhas, de uma maneira geral, o que se verificou foram baixíssimas velocidades médias do ar, com exceção do apartamento 5 que registrou valor razoável.

Nos banheiros, apenas os apartamentos 4 e 5 apresentaram valores de velocidade média razoáveis, indicando ventilação existente. Nas demais unidades habitacionais foram registradas velocidades muito baixas que indicam a ausência de ventilação cruzada e sinalizam para a grande problemática de como ventilar estes ambientes.

Em seguida discutem-se os resultados dos quartos E (pistache) e F (laranja) dos apartamentos de esquina. Os quartos E dos apartamentos 4 e 5 apresentaram melhor desempenho de ventilação do que os quartos F. Ambos os quartos dos apartamentos à sotavento (ap1 e ap8) praticamente não possuem ventilação natural, sendo para estas unidades necessário suprir esta deficiência com um sistema artificial de ventilação.

Quadro 13: resultados velocidades médias nos ambientes da tipologia 3. Vento 0°.



Os quartos G (magenta) e H (cinza azulado) dos apartamentos do centro (ap2, ap3, ap6 e ap7) apresentaram velocidades médias baixíssimas, que indicam verdadeira ausência de ventilação nestes cômodos. Isto ocorre porque, como mencionado anteriormente, não há diferença de pressão nestes apartamentos que promova a ventilação eficiente, podendo assim ser considerada ventilação unilateral nestas unidades.

Realizou-se análise de ventilação para conforto térmico com escala cromática de velocidades médias. Como mostra a Figura 119, somente os apartamentos à barlavento (4 e 5) obtiveram resultados razoáveis, já nos demais apartamentos praticamente não houve ventilação. Isto indica que haverá necessidade de ventilar artificialmente 75% das unidades habitacionais deste edifício. Este resultado foi ainda um pouco pior que o vento incidente a 0°, o que demonstra que esta tipologia não é adequada para receber vento dominante paralelo a nenhum dos eixos do edifício, nem longitudinal, nem transversal, pois a quantidade de apartamentos prejudicados é muito grande.

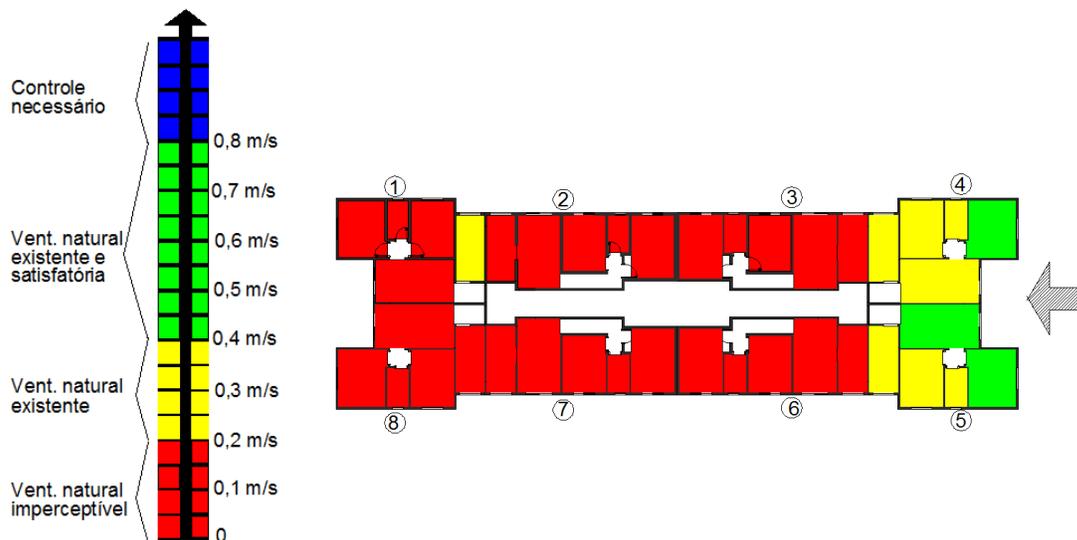


Figura 119: diagrama cromático de velocidades. Tipologia 3. Vento incidente 90°.

5.3.3 Vento incidente a 135° (Sudeste)

A incidência de vento com ângulo de 135° expõe as aberturas contidas nas fachadas sul e leste a pressão positiva e as fachadas oeste e norte a pressão negativa. Em outras palavras, as maiores diferenças de pressão estão nos apartamentos 4 e 8 pois possuem aberturas que recebem pressão positiva outras com pressão negativa (ver Figura 120).

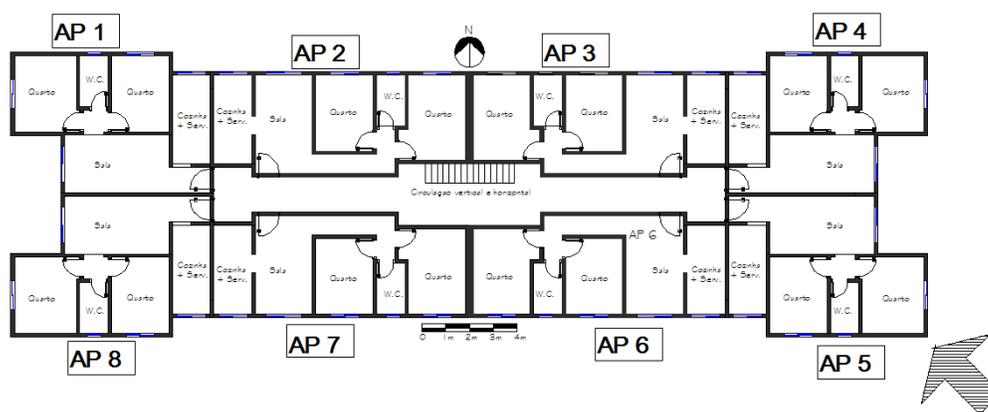
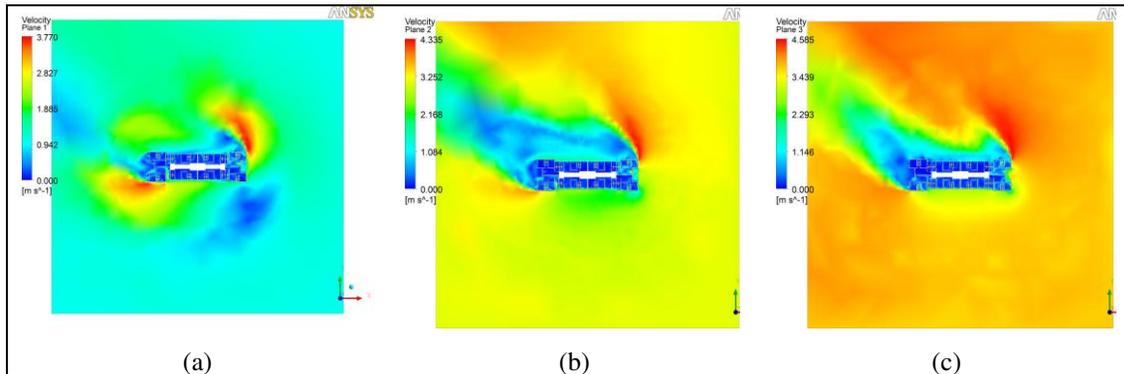


Figura 120: planta baixa da tipologia 3 com vento incidente 135°.

Inicialmente discute-se o comportamento do fluxo de vento externo ao edifício através das imagens do Quadro 14. No primeiro pavimento, à baixa velocidade externa, o efeito de borda que se forma nas laterais do edifício é bastante evidente, envolvendo a diagonal do mesmo. Com o aumento de velocidade, no terceiro pavimento, a sombra de vento que se forma é extensa e se localiza atrás do mesmo. Por fim no quinto pavimento (velocidades ainda maiores) a sombra de vento atinge menores proporções e volta a se aproximar do edifício.

Quadro 14: Imagens do fluxo de ar externo à edificação



Legenda:

- (a) Imagem do fluxo de ar externo no primeiro pavimento
- (b) Imagem do fluxo de ar externo no terceiro pavimento
- (c) Imagem do fluxo de ar externo no quinto pavimento

Esta análise exterior dá suporte para entendermos o que ocorre de fato no interior do edifício como mostram as Figuras 121, 122 e 123. Nos apartamentos 2 e 3 as aberturas estão todas na zona de pressão negativa, e nos apartamentos 6 e 7, todas na pressão positiva; assim, nestes apartamentos observa-se que a ventilação é unilateral, ou seja, há movimento de ar mas não ventilação efetivamente. No apartamento 4, o fluxo de ar entrou pela abertura da sala e saiu pela abertura da cozinha, sendo este o sentido correto do fluxo de ar. No apartamento 5, as aberturas estão todas nas faces de pressão positiva, por isso a ventilação também é comprometida. No apartamento 8, o ar entrou pela cozinha (em forma de jato com alta velocidade) e saiu pela abertura sala (movimento inverso ao apartamento 4). No apartamento 1 localizado na região de sombra de vento, a ventilação é claramente deficiente, principalmente nos pavimentos mais elevados.

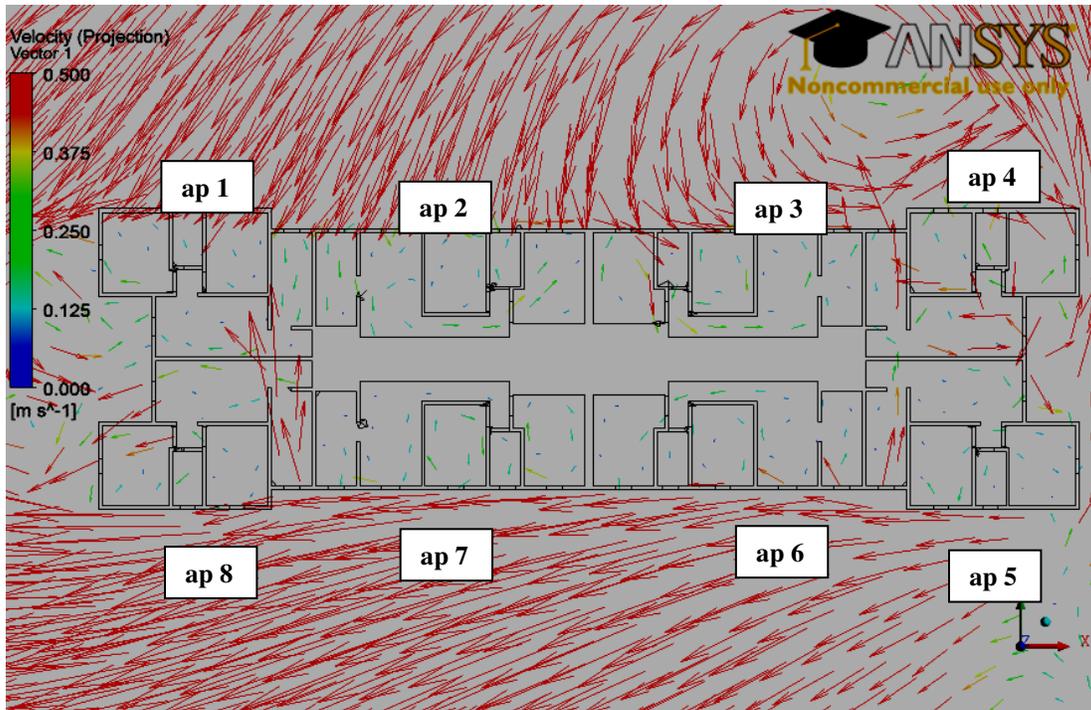


Figura 121: visualização interna do fluxo de ar. H=1,5m

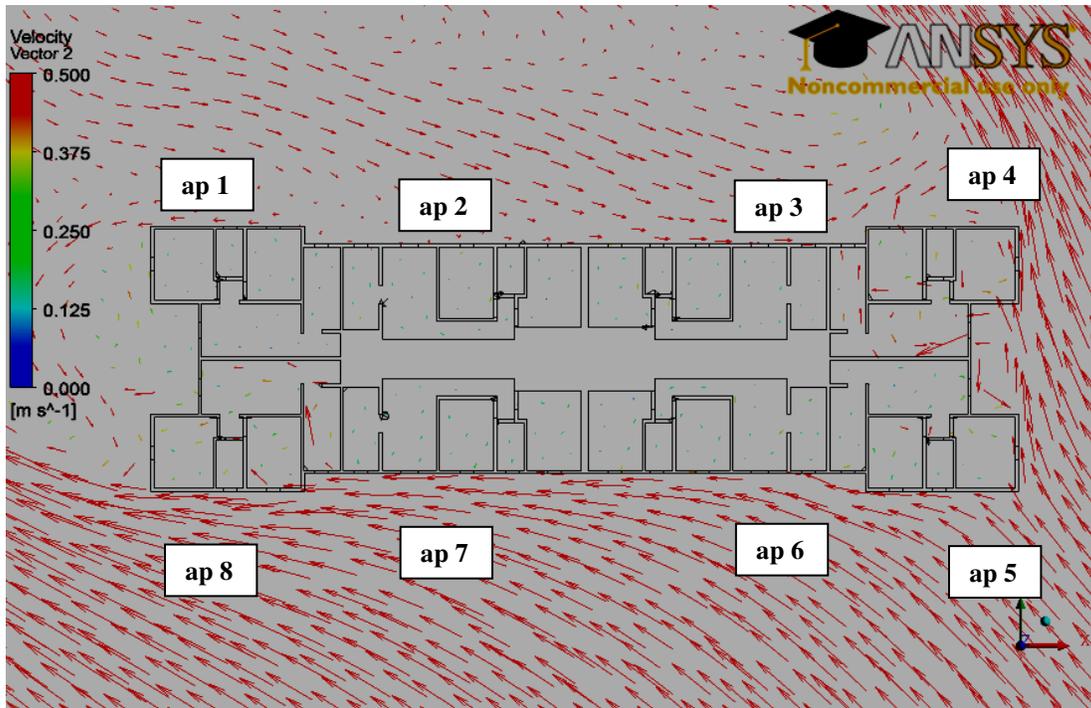


Figura 122: visualização interna do fluxo de ar. H=6,5m

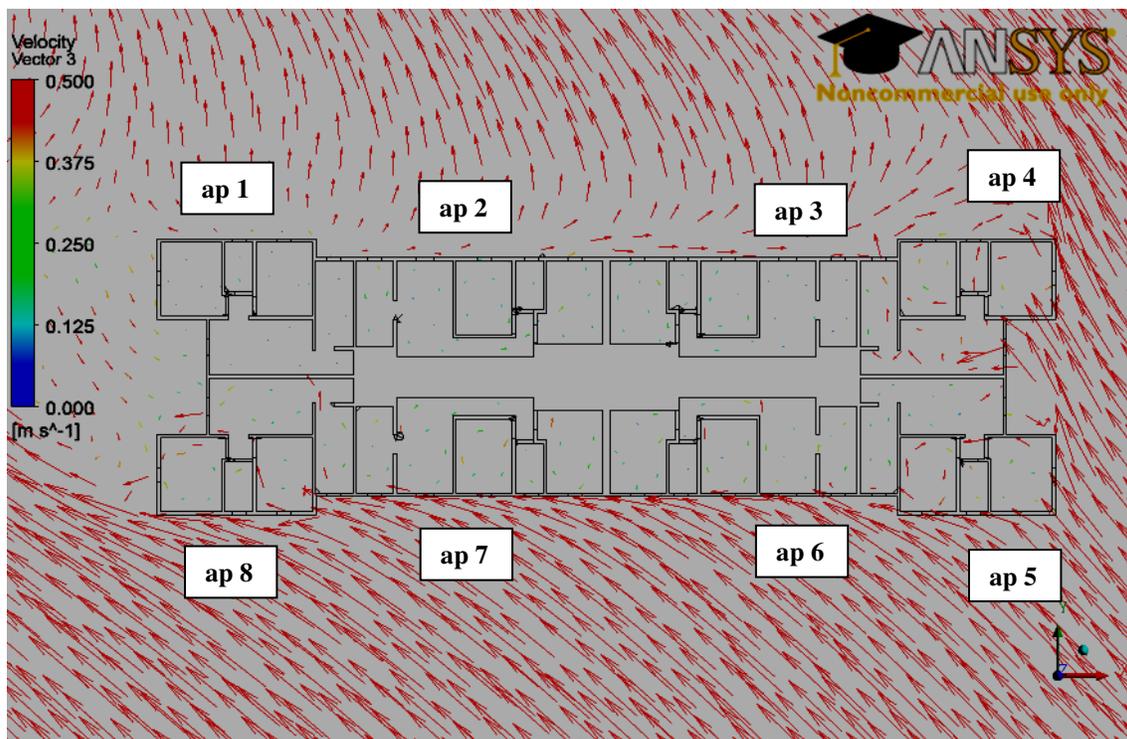


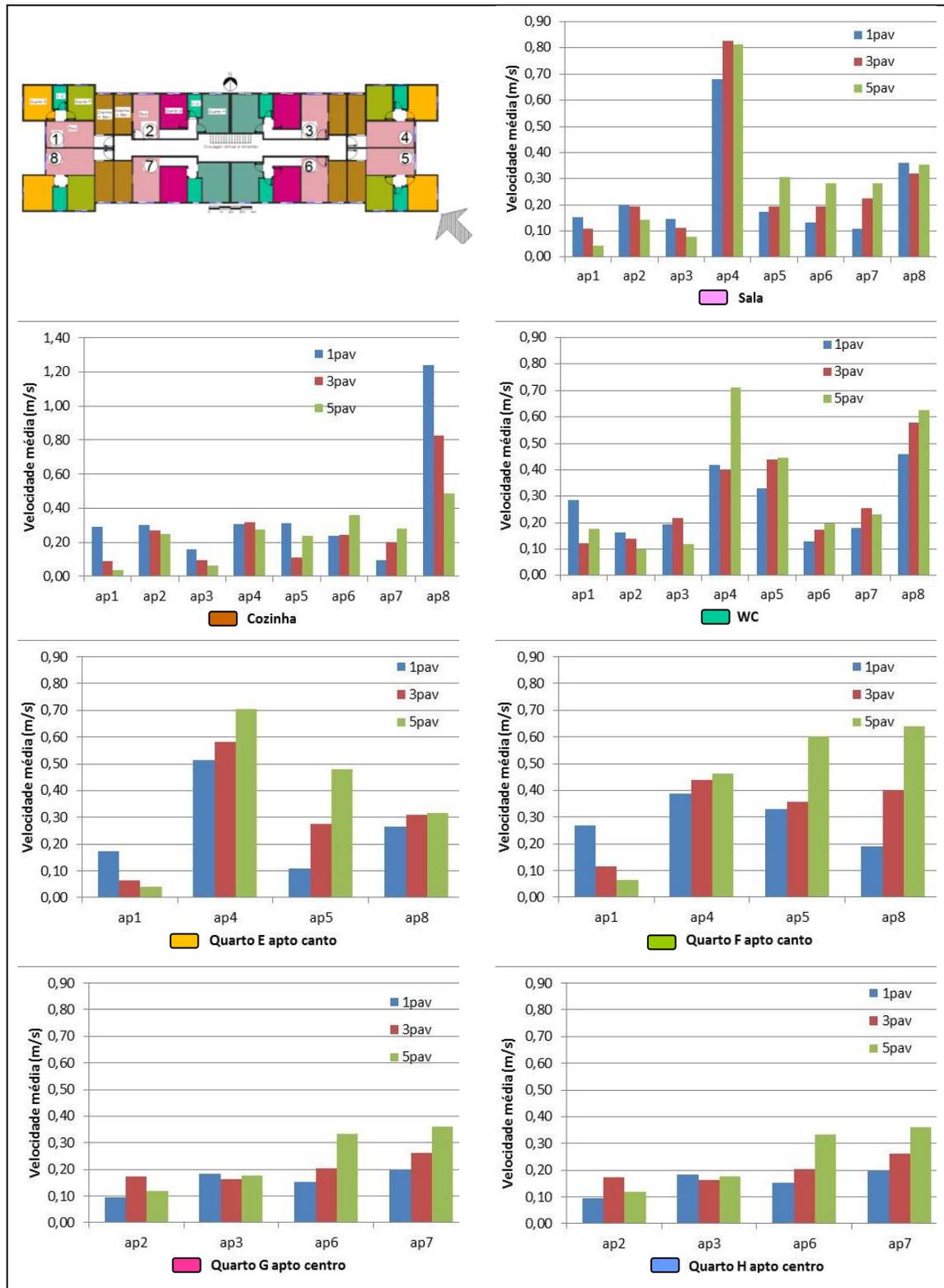
Figura 123: visualização interna do fluxo de ar. H=11,5m

Os gráficos que compõem o Quadro 15 mostram resultados quantitativos das velocidades médias por ambiente nesta tipologia. Quanto às salas, observa-se que apenas no apartamento 4 (abertura localizada na maior reentrância), as médias atingidas são bastante elevadas, devendo inclusive haver um controle da ventilação por parte do usuário deste ambiente. Nos demais apartamentos os valores caem muito indicando baixa ventilação.

Em relação às cozinhas, uma forte canalização ocorre no apartamento 8 (abertura localizada na pequena reentrância) que eleva consideravelmente a velocidade média deste ambiente, inclusive para um valor inadequado à realização de atividades, principalmente no primeiro pavimento. Por este motivo este gráfico é o único que sai da escala dos demais. Nos demais apartamentos os valores atingidos são baixos.

Nos banheiros, os apartamentos 4 e 8 apresentaram médias razoáveis por motivos opostos: no primeiro a abertura funcionou como saída de ar e no segundo funcionou como entrada de ar. No apartamento 5 também pode-se considerar um bom desempenho de ventilação, porém nos demais apartamentos não.

Quadro 15: resultados de velocidades médias nos ambientes da tipologia 3.



Os quartos E e F (cor pistache e laranja) apresentaram bons resultados no apartamento 4 e no quinto pavimento dos apartamentos 5 e 8. Os demais resultados indicam provavelmente desconforto térmico nos mesmos. Os quartos G e H (cor magenta e cinza) apresentaram velocidades médias muito baixas.

Aplicou-se a escala cromática de velocidades médias. O diagrama cromático apresentado na Figura 124 refere-se ao resultado final filtrado como maioria entre as velocidades médias obtidas no primeiro, terceiro e quinto pavimentos de cada ambiente. Neste caso, é importante dizer que para efeito de desempate, quando cada pavimento resultou em velocidade em faixas cromáticas diferentes, usou-se a média aritmética entre as três velocidades como valor final aplicado na escala cromática.

A análise mostra que para direções de vento oblíquas, como é o caso mostrado, apenas os apartamentos da diagonal do edifício (neste caso apartamento 4 e 8) apresentaram bom desempenho de ventilação natural. Nos apartamentos 5 e 7, pertencentes a fachada à barlavento indica-se apenas ventilação existente. Já no apartamento 6, o resultado foi bem pior nos quartos e banheiro, indicando ausência de ventilação. Nos apartamentos à sotavento (ap 1, 2 e 3) os resultados indicam ausência de ventilação, o que implica no aumento do consumo de energia destas unidades para minimizar problemas de conforto térmico.

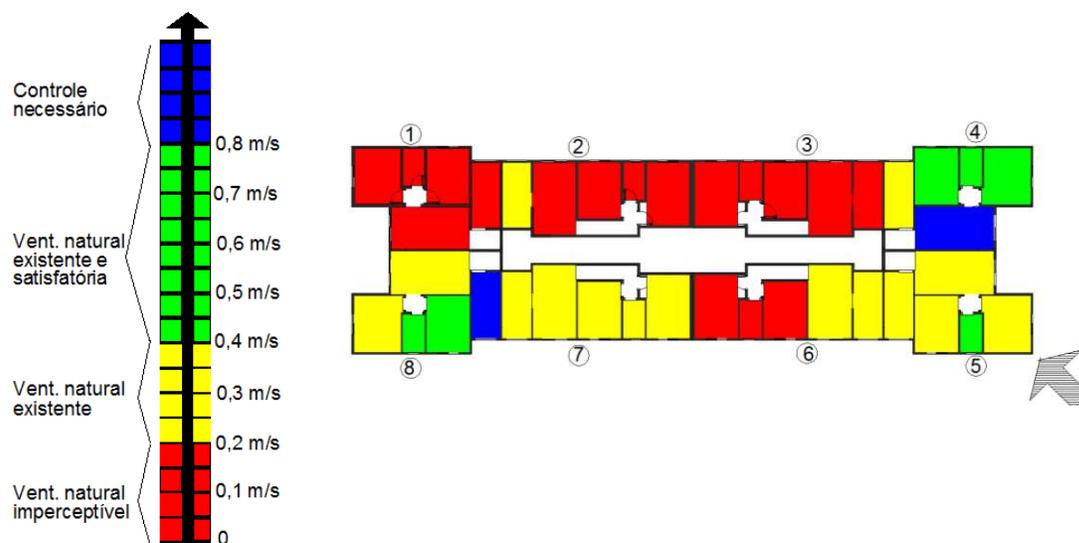
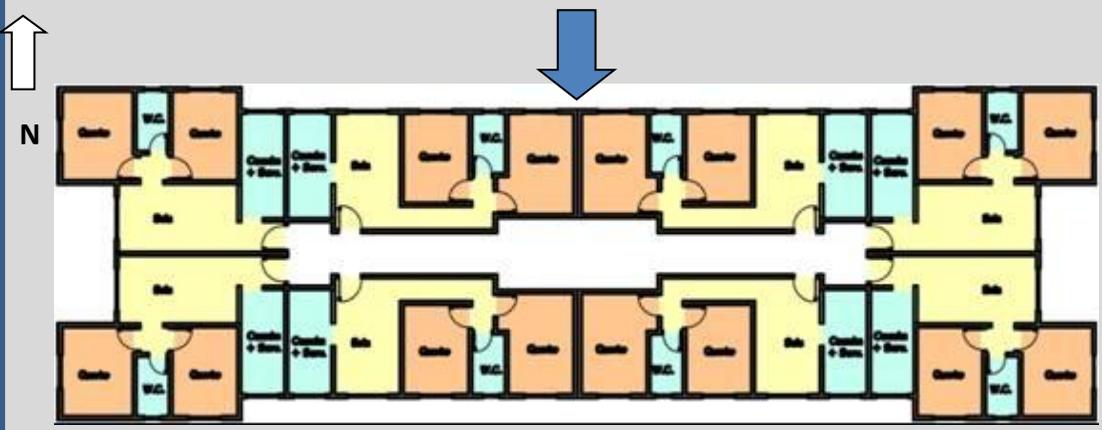


Figura 124: diagrama cromático de velocidades médias. Tipologia 3. Vento incidente 135°.

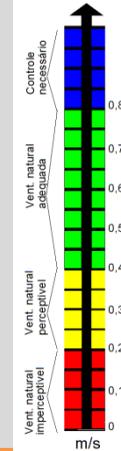
A próxima página traz resumidamente os resultados dos três diferentes ângulos de incidência do vento através de aproveitamentos internos e dos diagramas cromáticos de velocidades médias aplicadas ao conforto térmico.

Tipologia 3



Caracterização:
 O empreendimento localiza-se na macrorregião Sul de Campinas e apresenta um total de 2120 unidades habitacionais distribuídas em 53 blocos (8 p/ pav).

Resultados: de uma maneira em geral essa tipologia é muito ruim do ponto de vista de Ventilação natural. Isto se deve principalmente a forma alongada do edifício que expõe as aberturas dos apartamentos (principalmente os que localizam-se no centro do edifício) sob mesma pressão. Logo, não há ventilação cruzada, e sim unilateral nestas unidades.

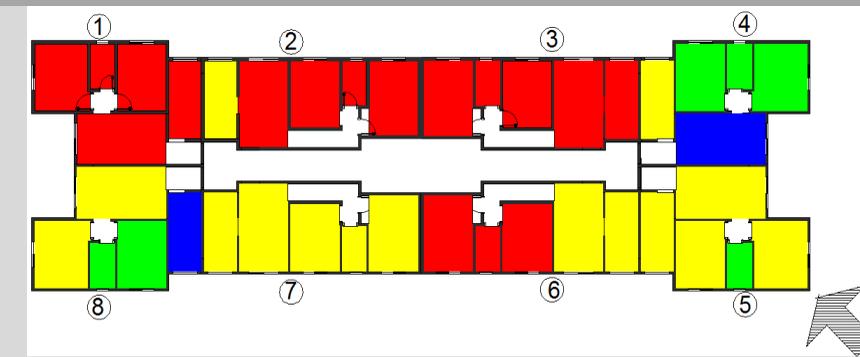
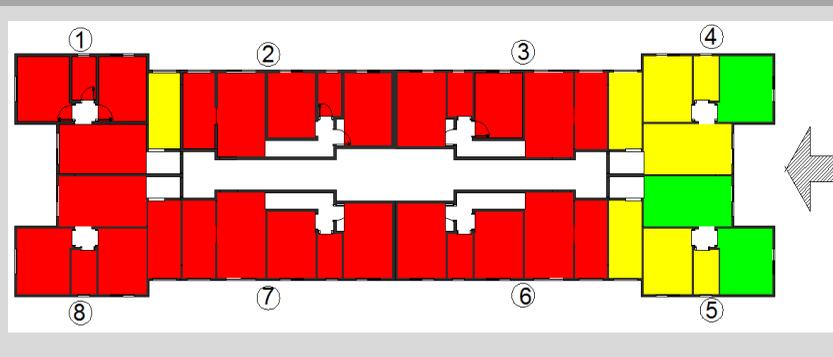
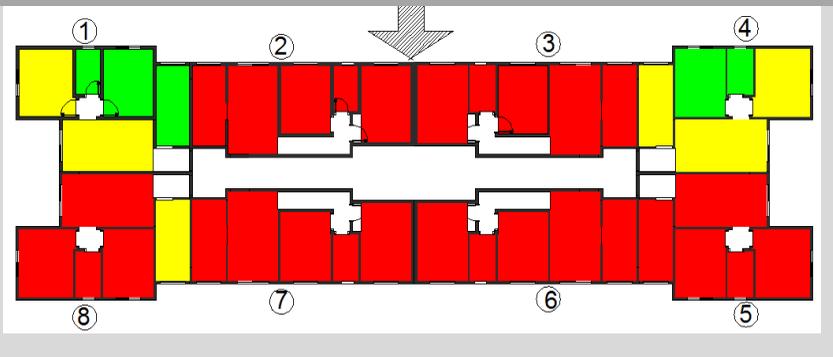


Vento 0° (NORTE)

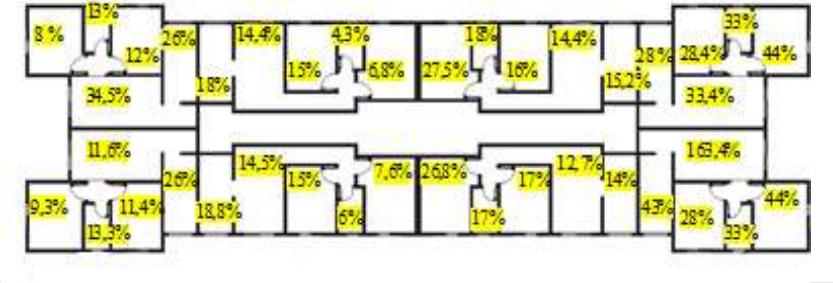
Vento 90° (LESTE)

Vento 135° (SUDESTE)

Ventilação x Conforto



Aproveitamentos internos (GIVONI,1962)



1° Pavimento Vref=0,96m/s

1° Pavimento Vref=0,79m/s

1° Pavimento Vref=0,93m/s



3° Pavimento Vref=2,26m/s

3° Pavimento Vref=1,85m/s

3° Pavimento Vref=2,17m/s



5° Pavimento Vref=2,76m/s

5° Pavimento Vref=2,27m/s

5° Pavimento Vref=2,65m/s

5.4 Análise estatística comparativa entre as três tipologias

Com o objetivo de realizar comparações entre as três tipologias estudadas com relação ao desempenho da ventilação natural, buscou-se auxílio na estatística. Inicialmente identificaram-se quais os fatores e níveis (componentes de cada fator) que compuseram esta pesquisa. A Figura 125 mostra como está estruturada a pesquisa quanto aos fatores e níveis e que em todos os casos a variável levada em consideração foi o valor de velocidade média do ar, obtida através da simulação computacional (CFX). A análise foi realizada com auxílio do *software* estatístico R (versão 2.15.0). O banco de dados contou então com 720 resultados advindos dos fatores e níveis.

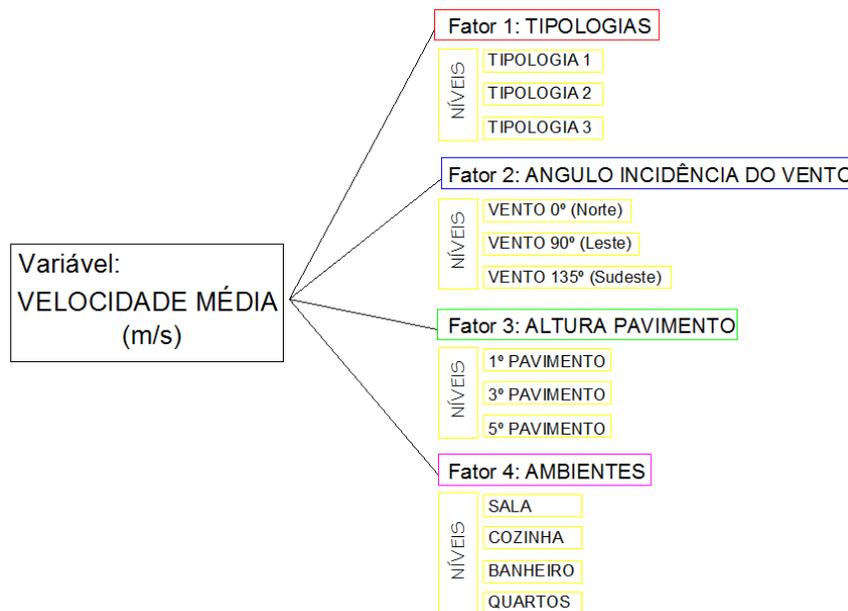


Figura 125: esquema ilustrativo dos fatores e níveis usados nesta tese.

Inicialmente realizou-se análise descritiva comparativa entre os fatores. A Figura 126 apresenta os diagramas de caixa (do inglês, *box plots*) comparativos para os dados de velocidades médias do ar por tipologia (a), direção de incidência (b), altura de pavimento (c) e ambiente (d).

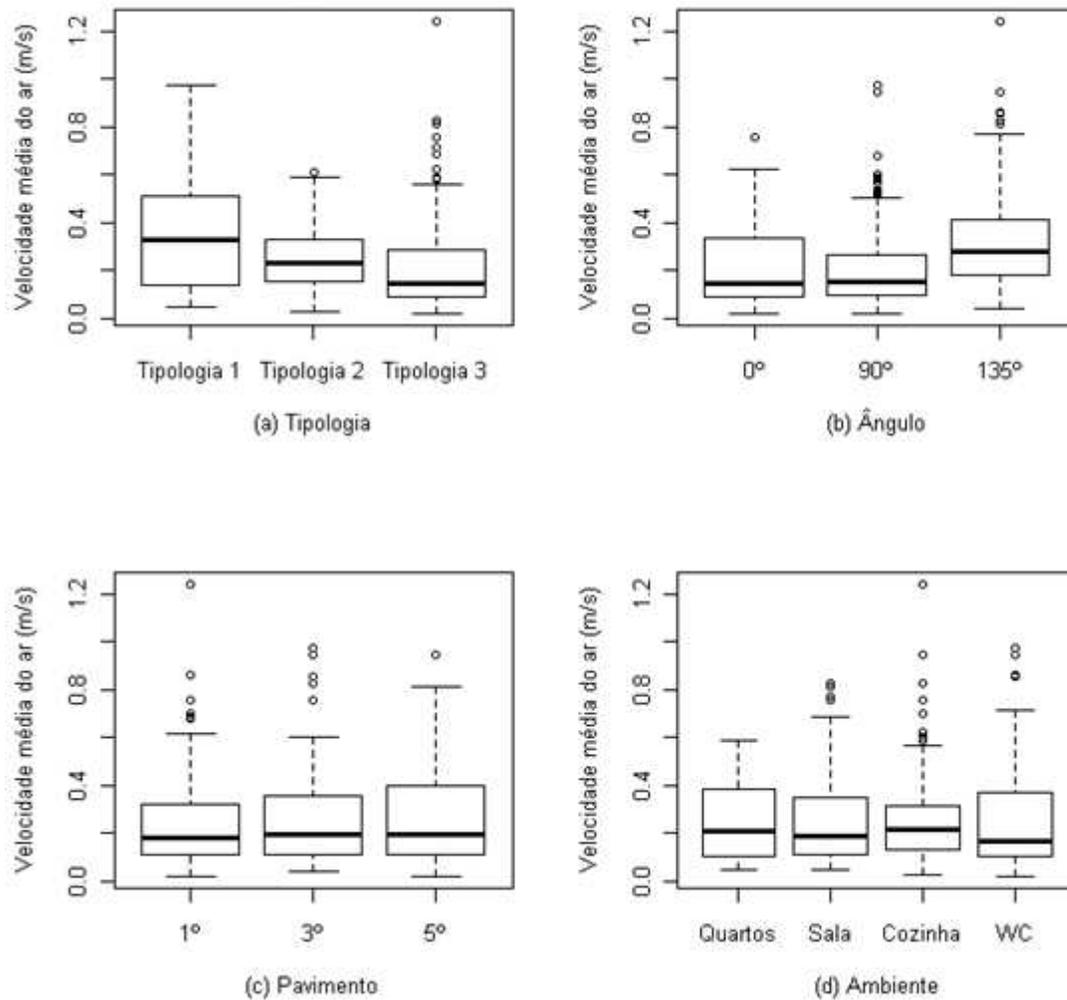


Figura 126: Diagramas de caixa da velocidade média do ar por tipologia (a), por ângulo (b), por pavimento (c) e por ambiente (d).

A Figura acima, 126 (a), indica que os valores de velocidade média mais elevados (de máximas, médias e medianas) foram encontrados na Tipologia 1, seguidos pela Tipologia 2 e por fim pela Tipologia 3. Nesta última inclusive foram registrados valores atípicos (*outliers*), o que não ocorreu na Tipologia 1. Afirma-se que a Tipologia 1 apresentou melhores resultados de velocidades médias em relação as demais.

A Figura 126 (b) indica que os valores mais altos de velocidade média nos ambientes internos foram registrados quando a incidência do vento ocorreu na direção de 135°. Os valores medianos das outras direções de vento (0° e 90°) foram praticamente iguais. As Figuras 126 (c) e (d) apresentam os diagramas de caixa razoavelmente alinhados, indicando pequenas diferenças nos valores de velocidade média registrados nos diferentes pavimentos e nos diferentes ambientes, respectivamente. Ainda na análise descritiva comparativa, a Tabela 17 mostra valores máximos, mínimos, médias (valor aritmético que corresponde a soma dos valores das células dividido pelo número de células) e medianas (diferentemente de média, corresponde ao valor que acumula frequência de 50% dos dados). Fica mais fácil identificar os valores mostrados nos diagramas de caixa para dirimir quaisquer dúvidas.

Tabela 17: Estatísticas descritivas relativas aos dados de velocidades médias do ar por níveis de cada fator.

Fator	Nível	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
Tipologia	T1 (Bassoli)	0,048	0,337	0,324	0,973
	T2 (Sirius)	0,017	0,248	0,220	0,600
	T3(Resaguas)	0,020	0,209	0,142	1,241
Ângulo (°)	0° (Norte)	0,017	0,218	0,144	0,753
	90° (Leste)	0,020	0,212	0,149	0,973
	135° (Sudeste)	0,037	0,323	0,277	1,241
Pavimento	1°pav (H=1,5m)	0,017	0,236	0,181	1,241
	3°pav (H=6,5m)	0,039	0,252	0,193	0,973
	5°pav (H=11,5m)	0,020	0,264	0,196	0,946
Ambiente	Cozinha	0,027	0,261	0,217	1,241
	Sala	0,045	0,241	0,184	0,826
	Quarto	0,048	0,251	0,206	0,584
	WC	0,017	0,249	0,162	0,973

Nessa tabela, observa-se que existem diferenças entre as médias de velocidades por níveis de cada fator. Portanto, foi necessário utilizar um procedimento estatístico de comparação de médias, denominado análise de variância- ANOVA (ver Montgomery, 2005), a fim de obter evidências sobre quais diferenças são estatisticamente significativas. E, desse modo, concluir quais fatores tem de fato um efeito significativo sobre a velocidade média do ar.

A Tabela 18 apresenta os resultados da análise de variância para os dados de velocidades médias do ar, obtidos com o auxílio do *software R*.

Tabela 18: Análise de variância para os dados das velocidades médias do ar.

Fonte de Variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrática	Estatística F	Valor P
Tipologia (A)	1,569	2	0,784	25,426	< 0,001
Ângulo (B)	1,499	2	0,750	24,303	< 0,001
Pavimento (C)	0,077	2	0,038	1,245	0,289
Ambiente (D)	0,031	3	0,010	0,338	0,798
AB	0,040	4	0,010	0,321	0,864
AC	0,054	4	0,014	0,440	0,780
AD	0,966	6	0,161	5,221	< 0,001
BC	0,063	4	0,016	0,513	0,726
BD	0,053	6	0,009	0,286	0,943
CD	0,070	6	0,012	0,378	0,893
ABC	0,051	8	0,006	0,205	0,990
ABD	0,266	12	0,022	0,718	0,735
ACD	0,111	12	0,009	0,300	0,989
BCD	0,035	12	0,003	0,096	1,000
ABCD	0,119	24	0,005	0,161	1,000
Erro	14,435	468	0,031	-	-
Total	19,439	575	-	-	-

O produto final da ANOVA são os valores p, por meio dos quais se evidencia se existem diferenças significativas entre as médias dos níveis dos fatores. Quanto maior o valor p, menor será a evidência de que as diferenças são significativas, ou seja, o fator não influencia na velocidade média do ar.

Considerando um nível de significância de 0,05 (5%), verificou-se que os valores p correspondentes aos fatores (fontes de variação) tipologia e direção de incidência (ângulo) são consideravelmente menores que 0,05, portanto, temos fortes evidências para concluir que ambos os fatores afetam significativamente a velocidade média do ar. Logo, há diferenças significativas entre as médias de velocidades do ar nos níveis desses fatores (direção de incidência e tipologia). A interação entre tipologia e ambiente também se mostrou estatisticamente significativa. No entanto, os demais fatores e interações não foram significativos.

Devido à variação de velocidade por altura ocorrer de forma logarítmica esperava-se encontrar diferença estatística nos resultados de primeiro, terceiro e quinto pavimentos, no entanto estatisticamente essa diferença não foi comprovada. Um dos fatores que podem explicar tal fato é os edifícios estudados possuem baixa altura ($H_{final}=12,5m$) e os pavimentos estudados estavam muito próximos entre si (em altura) por isso essa diferença não foi expressiva. Se tivessem sido escolhidos prédios acima de dez pavimentos possivelmente essa diferença estatística seria considerável.

Um gráfico de perfil das velocidades médias do ar por ângulo de incidência, para cada tipologia, é mostrado na Figura 127 (a). A conclusão de nenhuma interação é óbvia nesse gráfico, porque as três linhas são aproximadamente paralelas. Concluiu-se que a Tipologia 1 é a melhor tipologia e que o ângulo de 135° é a direção de incidência mais efetiva. Já em relação à Figura 127 (b), há um cruzamento entre as linhas, confirmando a indicação de interação entre tipologia e ambiente.

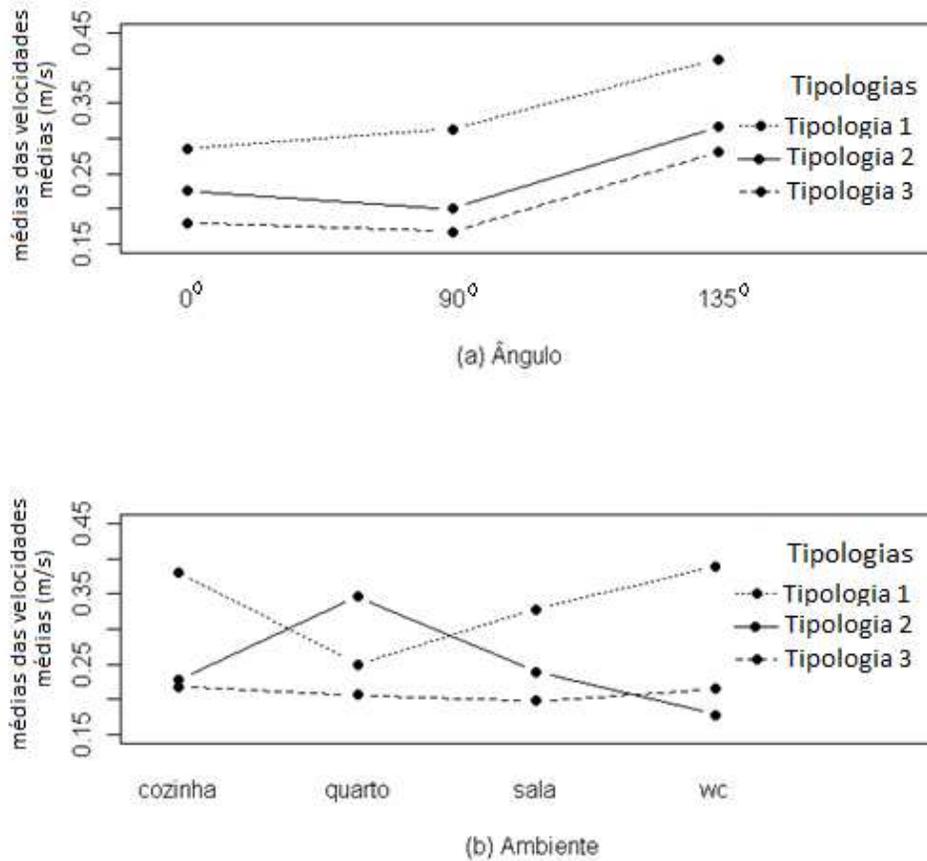


Figura 127: Perfis de velocidades médias do ar por ângulo (a) e ambiente (b) para três tipologias

Portanto, a Tipologia 1 apresentou maiores velocidades médias do ar em todos os ambientes, exceto nos quartos, onde é superada pela Tipologia 2. Esta por sua vez mostrou um péssimo resultado no banheiro (WC) e 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. Sobre esta análise é importante ressaltar que os dados de todos os quartos foram computados juntos, diferentemente da análise do subcapítulo anterior (5.3) onde foram separados quartos dos apartamentos de canto de quartos dos apartamentos de centro da edificação.

Por fim, sobre as análises estatísticas pode-se afirmar que cumpriram o objetivo de compilar as informações e comparar as tipologias estudadas. Além disso, reforçaram as análises isoladas realizadas nos subcapítulos anteriores. Aplicou-se sobre os resultados finais a escala cromática de velocidades para conforto térmico, a qual foi desenvolvida nesta tese (Figura 128).

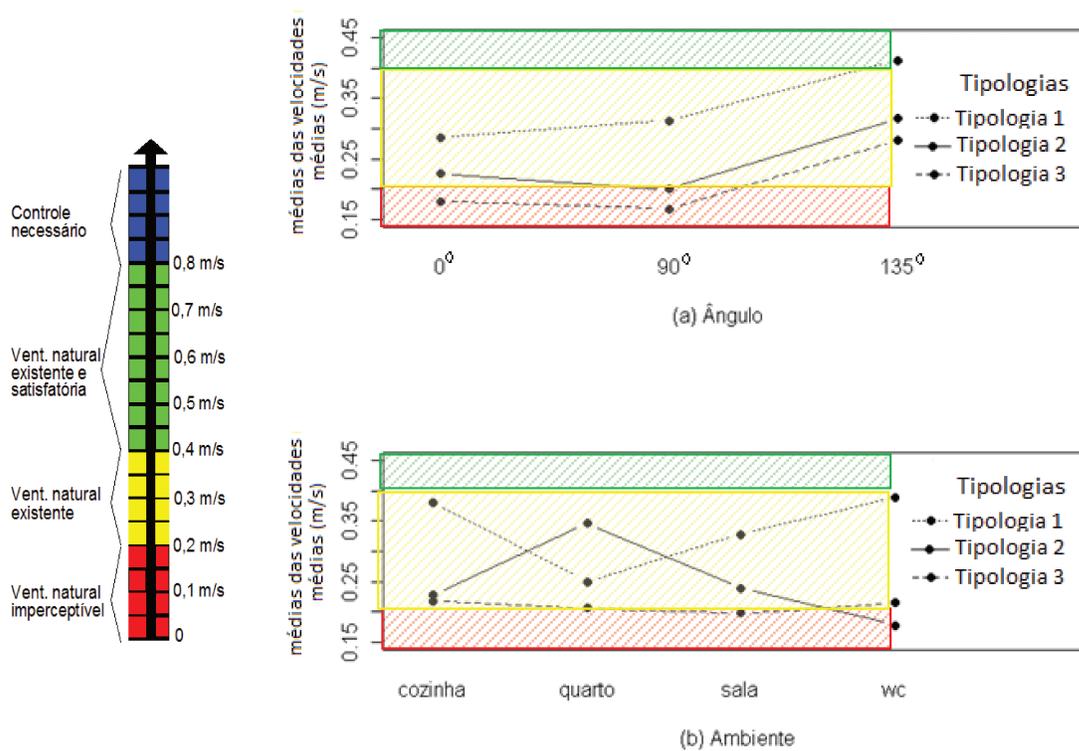


Figura 128: Escala de conforto aplicada às médias das velocidades médias do ar por ângulo (a) e ambiente (b) para três tipologias

Observou-se que somente considerando a tipologia com melhores resultados - tipologia 1 – e no melhor ângulo de incidência -135°- são atingidos valores superiores a 0,4m/s, o que considera-se um valor médio de velocidades médias aceitável do ponto de vista de conforto térmico. Todas as demais tipologias e ângulos de incidência apresentaram médias finais bem abaixo deste valor, destacando-se o péssimo desempenho da Tipologia 3 nos ventos incidentes de 0° e 90°. No cruzamento entre ambientes e tipologia a situação ainda foi pior, pois todos os ambientes de todas as tipologias atingiram médias finais abaixo de 0,4m/s. Portanto conclui-se que as três tipologias arquitetônicas apresentaram desempenho abaixo do considerado adequado a ventilação para conforto térmico, indicando possível aumento no consumo energético dessas edificações (devido ao uso de sistemas artificiais de ventilação). Além disso, os baixos valores registrados confirmam a hipótese inicial de que a ventilação não foi priorizada pelos projetistas destes edifícios.

6 CONCLUSÃO

O objetivo geral desta tese foi analisar a ventilação natural de edifícios multifamiliares do Programa “Minha casa minha vida”- PMCMV, a fim de contribuir para a elaboração de futuros projetos de Habitação de Interesse Social de maior qualidade no nosso país.

Dentre os tipos de ventilação, esta tese investigou ventilação natural por ação dos ventos, portanto, além da importância da geometria do edifício e divisões internas dos ambientes, as aberturas foram as grandes responsáveis pela captação e/ou extração do vento. Assim como em Givoni (1962), nesta tese variou-se os ângulos de incidência de vento dominante em relação aos edifícios estudados. Tomou-se esta decisão pois acredita-se que o posicionamento do edifício em relação ao vento dominante é o fator mais negligenciado pelo projetista, pois normalmente a intenção do construtor é localizar o máximo de blocos possível no terreno, sendo assim a melhor orientação em relação aos ventos dominantes é praticamente desprezada. Os ângulos escolhidos (0°, 90° e 135°) podem dar ao projetista uma noção geral do que ocorre nas demais direções de vento incidente, uma vez que os edifícios são simétricos.

A ferramenta utilizada para esta pesquisa foi a simulação computacional por meio de CFD e para tal foram criteriosamente escolhidas três tipologias arquitetônicas bastante “recorrentes” do PMCMV localizadas na cidade de Campinas/SP, a qual serviu de cenário a este estudo

(fornecendo dados sobre estas construções bem como dados de entrada de vento que foram usados na simulação computacional).

A tipologia 1 apresenta planta em forma de “H”, a qual foi bastante utilizada em toda história da Habitação de Interesse Social-HIS em nosso país. A tipologia 2 se utiliza de planta quase “quadrada” com pequena reentrância central, porém seu traço mais marcante é a solução projetual de iluminar e ventilar cozinhas e banheiros pela abertura da área de serviço. Por fim a tipologia 3, a qual aparece como tendência em nosso cenário atual de HIS, reúne 8 apartamentos por pavimento e não 4 como ocorreu nas tipologias 1 e 2 e resulta em um grande volume retangular e fachada quase monolítica.

Principais resultados e contribuições

Constatou-se que das três tipologias estudadas o desempenho “menos pior” do ponto de vista de ventilação natural ocorreu na Tipologia 1, e o pior na Tipologia 3. No geral, os resultados mostraram que não se priorizou uso de ventilação natural nestes edifícios, e este fato culminará certamente num aumento de consumo energético para acionar algum sistema mecânico que possa suprir a falta de ventilação natural. Como estes edifícios atingem um grande contingente populacional de “baixa renda” esta constatação é bastante grave.

Porém a grande contribuição desta tese está em alguns aspectos de projeto que contribuíram para estes resultados e são importantes de serem destacados para que sirvam de reflexão para futuros projetos de HIS mais bem ventilados. São eles:

- Primeiramente alerta-se para a implantação do edifício no lote. Sabe-se que atualmente este é o critério mais negligenciado pelos executores e/ou projetistas pois, visando maiores lucros, locam a maior quantidade possível de blocos por gleba. Nesta pesquisa investigou-se três implantações diferentes dos blocos perante o vento dominante e constatou-se que a posição de implantação oblíqua (ou diagonal) do

edifício em relação ao vento dominante é a mais indicada para as três tipologias estudadas.

- Quanto ao aspecto geométrico dos edifícios, observou-se que o uso de reentrâncias nas fachadas incrementa a diferença de pressão nas aberturas ali contidas. Entre as três tipologias estudadas nesta tese, a tipologia 1, com grande reentrância central na fachada apresentou os melhores resultados de ventilação nos apartamentos. Para o caso de edifícios com circulação vertical central e sem bandeiras internas nas portas internas e principal (como é o caso deste tipo de habitação), afirma-se ainda que edifícios monolíticos e muito alongados, com fachadas desprovidas de reentrâncias, resultam em apartamentos centrais desprovidos de ventilação, como ocorreu na Tipologia 3. Portanto, este tipo de solução formal/volumétrica precisa ser repensada. Uma alternativa seria promover captação de ventilação no hall central dos apartamentos (boa solução são elementos vazados) para aumentar a permeabilidade desta fachada ao vento, e nos apartamentos, promover uso de aberturas altas ou portas de entrada ventiladas para que a ventilação possa cruzar de um lado a outro do edifício.
- A simetria formal comprometeu os resultados das três tipologias, impedindo que o bom desempenho fosse superior a 50% dos apartamentos. Claro que neste tipo de construção a padronização é um item de economia e, portanto, é adotado pelos executores da obra. No entanto, se os apartamentos fossem pensados de modo mais independente no tocante à posição e quantidade de aberturas, bem como configuração do ambiente interno, talvez poderiam ser atingidos melhores resultados. É claro que pra isso, o ideal é realizar primeiramente estudos em CFD's para que o projetista chegue a uma solução mais eficiente do ponto de vista da ventilação natural, porém viável para o executor.

- O uso de portas internas desprovidas de bandeiras ventiladas , associado a falta de algum detalhe na porta de entrada que permita troca de ar quando fechada, comprometem ainda mais a ventilação das unidades habitacionais. As portas são elementos de ligação internos e precisam permitir a passagem do ar para que os ventos possam realizar um “circuito” interessante na unidade habitacional. Por questões de economia e por não refletirem sobre isso, os executores deste tipo de edifício adotam sempre a porta lisa e desprovida de bandeiras. Estas, uma vez fechadas, prejudicam a realização da ventilação cruzada. Os resultados desta tese poderiam ter sido bem piores se tivessem sido consideradas as portas internas fechadas!
- Nunca usar aberturas de um ambiente para ventilar ambientes adjacentes, como ocorreu com as cozinhas e banheiros da Tipologia 2. Definitivamente esta solução de projeto não garante resultados satisfatórios de ventilação natural nos ambientes desprovidos de aberturas, independentemente da altura do pavimento, principalmente se incidência de vento dominante for perpendicular ou paralela à abertura de captação.
- Planejar os ambientes, conhecendo a posição do vento dominante local, de modo que sentido do fluxo de ar parta sempre de zonas “secas” (como quartos e salas) para zonas “molhadas” (como cozinhas e banheiros), mantendo a qualidade do ar interior mais saudável. Evitar planejar ambientes vizinhos com aberturas para a mesma fachada, principalmente se o vento incidente for ortogonal às mesmas. Sempre que possível, posicionar uma delas em fachada adjacente (GIVONI, 1962).
- A adoção de varandas embutidas na fachada daria maior movimentação volumétrica (funcionando como reentrâncias) além de oferecerem proteção às aberturas, uma vez que estas quase sempre são desprotegidas (sem elementos de proteção), fato este que complica ainda mais o conforto térmico desses edifícios.

- O tamanho das aberturas usadas pelas construtoras, em geral, obedece ao mínimo indicado pela NBR 15220-3, claro que por questões econômicas. No entanto, se fossem repensadas as dimensões dessas aberturas, a economia que poderiam trazer aos usuários quanto a questões de iluminação e ventilação natural seriam prolongadas por toda vida útil do edifício.

Enfim é importante registrar que apesar de todas as recomendações acima descritas tocarem o exercício profissional do projetista, não se atribui a ele, isoladamente, a responsabilidade de termos edifícios de HIS onde a ventilação natural não é tratada com item de prioridade. Eles são apenas participantes de um processo do qual outros personagens fazem parte tais como: executores, que visam prioritariamente custos; o poder público, que poderia exigir e criar ferramentas de fiscalização que visassem muito mais rigor e qualidade neste tipo de habitação e por fim nós que somos usuários, pois devíamos ser mais atuantes e críticos.

Uso do CFD

O CFD mostrou-se uma boa ferramenta de predição de ventilação natural, seja no meio urbano ou no ambiente interno, como foi o caso desta tese. Porém deve ser bem utilizado pelo pesquisador e exige além de conhecimentos específicos, treinamento adequado para seu uso correto, senão pode apresentar resultados equivocados. É bem verdade que se incorporarmos essa ferramenta na vida cotidiana do projetista, muitos problemas de ventilação poderiam ser detectados ainda na fase de projeto, bem como novas soluções de projeto poderiam ser testadas. No entanto compreende-se que ainda é uma ferramenta cara e inacessível para muitas faculdades o que impede que seja incorporada na formação de nossos futuros projetistas.

Limitações da pesquisa e trabalhos futuros

Os resultados desta pesquisa foram obtidos em simulações computacionais considerando o edifício isolado e, obviamente, sabe-se que considerando o entorno, a ventilação do edifício pode ser totalmente influenciada. No entanto, toda pesquisa parte de alguma simplificação e

como existem boas pesquisas no Brasil sobre ventilação no contexto urbano, porém sem investigar o meio ambiente interno (PRATA, 2005; LEITE, 2010 ; FIGUEIREDO, 2008; dentre outros), buscou-se contribuir na discussão acerca ventilação no meio ambiente interno, identificando fragilidades de projeto e possíveis formas de melhoria através da compreensão do fenômeno da ventilação natural como um todo.

Ressalta-se neste momento a importância de pesquisas futuras que dêem continuidade a este trabalho. Dois desdobramentos principais podem se desenvolver a partir desta pesquisa: uma vez conhecidos os resultados do ambiente interno, trabalhar com diferentes contextos de implantação dentro do lote e até mesmo em diferentes contextos urbanos; e testar soluções de projeto que melhorem a ventilação no interior das unidades habitacionais. Outro foco de pesquisa seria estudar a ventilação por efeito chaminé associando toda carga térmica produzida nestes edifícios. Enfim, as possibilidades são muitas. O importante é que se reflita sobre o que se constatou nesta tese e que sejam revistas as formas de projetar e executar este tipo de habitação no país.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-3**: Desempenho Térmico de Edificações, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro : 2005.

ALAMAR, A. *Condiciones Higrotermicas de confort em Edifícios*. Monografia del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. Madri: Enero, 1968.

ALLARD, F. *Natural ventilation in buildings: a design handbook*. James e James: London, 1998.

ALLARD, F.; GHIAUS, C. *Natural ventilation in the urban environment*. In: Building Ventilation: the state of the art. SANTAMOURIS, M.; WOUTERS, P. (org.) Earthscan: Londres, 2006.

ALUCCI, M. P. *Formulação de requisitos e critérios para avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares quanto à ventilação*. Trabalho programado, nível doutorado, FAU- USP, 1983.

AWBI, H. B. *Ventilation of Buildings*. London: E & FN Spon, 1995.

BITENCOURT, L; LÔBO, D. G. F. *A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos*. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3451> Acesso em: 20/11/2012

BITTENCOURT, L. S. CRUZ, M. J. LÔBO, D. G. F. *A influência da relação entre taxa de ocupação x nº de pavimentos no potencial de ventilação natural dos ambientes internos e externos*. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 4, Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, 1997.

BITTENCOURT, L. S.; LÔBO, D. G. F. *A influência da localização das aberturas na ventilação natural de edificações escolares*. In: V ENCONTRO NACIONAL/ II ENCONTRO ... Fortaleza/CE, 1999.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. *Introdução à ventilação natural*. Maceió: EDUFAL, 2005.

BONDUKI, N. KOURY, A.; MANOEL, S. K. *Análise tipológica da produção de Habitação econômica no Brasil (1930-1964)*. Artigo publicado no 5º Docomomo ocorrido em 2003. Disponível em: www.docomomo.org.br/seminario%205%20pdfs/115R.pdf. Acesso em 16/03/2012.

BONDUKI, N. G. *Habitar São Paulo: Reflexões sobre a gestão urbana*. São Paulo: Estação Liberdade, 2000.

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.

BROWN, G. Z & e DEKAY, M. *Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura*. Porto Alegre: Bookman, 2004.

BRUNA, P. *Os primeiros arquitetos modernos: Habitação Social no Brasil 1930-1950*. São Paulo: EdUSP, 2010.

CANDIDO C, LAMBERTS R., BITTENCOURT L., DEAR R.. *Aplicabilidade dos limites de velocidade do ar para efeito de conforto térmico em climas quentes e úmidos*. Revista Ambiente construído. Porto Alegre, v.10, n.4, p.59-68, out/dez 2010.

CARVALHO, H. J. M.; CORBELLA, O. D.; SILVA, F. A. G. *Influência da direção dos ventos sobre as correlações entre a forma urbana e o clima*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO 2007, Ouro Preto. Anais... Belo Horizonte: ANTAC, 2007.

CARVALHO, P. *Geração eólica*. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2003.

CORBELLA, O. D. *Um estudo da ventilação natural em edifícios e sua contribuição no uso racional de energia*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4, ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1997, Salvador. Anais... Salvador: ANTAC, 1997.

COST. (2004). *Cost Action 14: Recommendations on the use of CFD in predicting Pedestrian Wind Environment*. Bruxelas: COST, 2004.

COSTA, F. J. de M. *Ventilação e prescrições urbanísticas – Uma aplicação simulada no bairro de Petrópolis em Natal/RN*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2001.

COSTA, J. M. S. *Qualidade do ar interior e conforto térmico: um estudo em espaços de estacionamento em Natal/RN com tipologias arquitetônicas diferenciadas*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2005.

COSTA, L. C. do N. *Aproveitamento da ventilação natural nas habitações: um estudo de caso na cidade de Aracaju – SE*. 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*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Tecnologia da Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

EVANS, M.; SCHILLER, S. *Diseño Bioambiental y arquitectura Solar*. Buenos Aires: Universidade de Buenos Aires, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. 3 ed., 1994.

FERREIRA, D. G.; ASSIS E. S.; FERREIRA, C. M. O. *Verificação da alteração dos padrões de vento devido à ocupação urbana na cidade de Belo Horizonte, MG*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Natal. Anais... Natal: ANTAC, 2009.

FIGEIREDO, C.M. *Ventilação natural em edifícios de escritórios na cidade de SP: limites e possibilidades do conforto térmico*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo: FAUUSP, 2007

FORTUNA, A. O. *Técnicas computacionais para dinâmica dos fluidos*. São Paulo: Edusp, 2000.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. *Manual de conforto térmico*. 6 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GIVONI, B. Basic study of ventilation problems in houses in hot countries. Israel: Building Research Station of the Institute of Technology, 1962.

_____. *Man, climate and architecture*. Applied Science Publishers LTD, London, 1976.

_____. *Passive and low energy cooling of buildings*. New York: John Wiley and Sons, 1994.

_____. *Climate considerations in building and urban design*. New York: John Wiley and Sons, 1998.

HARRIES, Alan. Notas de Aula. In: Workshop: CFX – FAU-USP. São Paulo, 2005.

HOUGH, M. *Cities and natural process*. Routledge: London, 1995.

LEITE, C. G. *Alterações da ventilação urbana frente ao processo de verticalização de avenidas litorâneas: o caso da avenida litorânea de São Luís/MA*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Tecnologia da Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

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.

LIMA, F. J. L.; CAVALCANTI, E. P., SOUZA, E. P. *Avaliação do potencial eólico em cinco regiões do estado da Paraíba*. Revista de Geografia. Recife: UFPE –DCG/NAPA, v. 27, n. 1, jan/mar. 2010.

LUKIANCHUKI, M. A. *A evolução das estratégias de conforto térmico e ventilação natural na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: Hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Área Arquitetura Urbanismo e Tecnologia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, USP, 2010.

MARQUES, R. S. *Ventilação e prescrições urbanísticas: uma aplicação simulada para a orla da Praia do Meio em Natal – RN*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

MASCARÓ, L. R. *Energia na edificação- Estratégia para minimizar seu consumo*. São Paulo, Editora Projeto, 2ª Edição, 1991.

MELARAGNO, M. G. *Wind in architectural and environmental design*. Scarborough, Canada: Van Nostrand Reinhold, 1982.

MUNHOZ, F. M; GARCIA, A. *Caracterização da velocidade e direção predominante dos ventos para a localidade de Ituverava–SP*. Revista Brasileira de Meteorologia, v.23, n.1, 30-34, 2007.

NETO, R. H. C.; TIBIRIÇÁ, A. M. B.; TIBIRIÇÁ, A. C. G.; CAMPOS, J. C. C. (2011). *Um roteiro para simulação CFD de ventilação natural por ação dos ventos em edificações*. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO e VII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Búzios, 2011.

NEVES, L. O. *Arquitetura bioclimática e a obra de Severiano Porto: estratégias de ventilação natural*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

OLGYAY, V. *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

OLGYAY, V. *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. Nova Iorque: Van Nostrand Reinhold, 1992.

PRATA, A. R. *Impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano*. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

PRATA, A. R. *Uma ferramenta computacional de avaliação da ventilação natural em projetos arquitetônicos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 1998.

REED, R. H. *Design for natural ventilation in hot humid weather*. Texas: Texas Engineering Experiment Station, 1953.

SANTAMOURIS, M. (org.) Buildings, Energy, Solar Techonolgy. Londres, 2007.

SANTAMOURIS, M; WOUTERS, P. *Building ventilation: the state of the art*. James and James, 2006.

SANVITTO, M. L. A. *Habitação Coletiva Econômica na Arquitetura Moderna Brasileira entre 1964 e 1986*. Porto Alegre: Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

SILVA, F. A. G. *O vento como ferramenta de desenho do ambiente construído: uma aplicação ao nordeste do Brasil*. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Estruturas Ambientais Urbanas) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SOUZA, José Francisco Almeida de; OLIVEIRA, Leopoldo Rota de; AZEVEDO, José Luiz Lima de; SOARES, Ivan Dias; MATA, Mauricio Magalhaes. *Uma revisão sobre a turbulência e sua modelagem*. Revista Brasileira de Geofísica, nº29 (1): 21-41, 2011. Disponível em: www.scielo.br/rbg.

TOLEDO A. *Critérios para o dimensionamento de aberturas de ventilação natural dos edifícios*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO e ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. São Pedro, 2001.

TOLEDO, Eustáquio. *Ventilação Natural das habitações*. Alagoas, EdUFAL, 1999.

Referências de Figuras:

Brisa oceânica durante o dia, QUALAR, 2013. Disponível em <http://www.qualar.org/INDEX.PHP?page=5&subpage=13> Acesso em 20/11/2013.

Brisa terrestre durante a noite, QUALAR, 2013. Disponível em <http://www.qualar.org/INDEX.PHP?page=5&subpage=13> Acesso em 20/11/2013.

Cartilha do PMCMV, CAIXA, 2012. Disponível em: www.caixa.gov.br/habitacao/mcmv/ Acesso em 7/10/2012.

Conjunto Habitacional Padre Manoel da Nóbrega. Disponível em: www.docomomo.org.br/.../026_M15_RM-ConjuntoHabitacionalBNH Acesso em 28/03/2012.

Conjunto residencial pedregulho. Disponível em :
<<http://theurbanearth.net/2009/08/26/arquitetura-moderna-no-brasil-pedregulho-de-affonso-eduardo-reidy/>> Acesso em 15/08/2013.

Croqui do peitoril ventilado, UFSC, 2013. Disponível em :
<<http://www.labcon.ufsc.br/anexosg/352.pdf>> Acesso em 15/08/2013.

Escala de Beaufort. Disponível em
<<http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/22557>> Acesso em 12/09/2013.

Mapeamento dos empreendimentos do Minha casa minha vida em Campinas/SP. Disponível em
<<http://2009.campinas.sp.gov.br/seplama/projetos/hab/porthab.html>> Acesso em 20 Nov. 2011.

Movimento vertical e horizontal das massas de ar no planeta , PUCRS, 2011. Disponível em:
<<http://enadepucrs.uni5.net/>>. Acesso em 20 Nov. 2011.

Zoneamento Bioclimático brasileiro proposto pela NBR 15220, UFSC, 2012. Disponível em <
<http://www.labee.ufsc.br/antigo/conforto/textos/termica/parte3>> Acesso em 12/07/2012.