



**Universidade de Brasília
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pesquisa e Pós-Graduação de Faculdade de Arquitetura e
Urbanismo**

GUSTAVO DE LUNA SALES

**VENTILAÇÃO NATURAL E ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS ABERTURAS NO
FLUXO DO AR – ESTUDO DE CASO: SECRETARIA DE CULTURA DE
BRAGANÇA/PA**

Brasília – DF
Fevereiro de 2012

GUSTAVO DE LUNA SALES

**VENTILAÇÃO NATURAL E ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS ABERTURAS NO
FLUXO DO AR – ESTUDO DE CASO: SECRETARIA DE CULTURA DE
BRAGANÇA/PA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora:
Prof^a. Dr^a. Marta A. Bustos Romero

Brasília – DF
Fevereiro de 2012

GUSTAVO DE LUNA SALES

**VENTILAÇÃO NATURAL E ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS ABERTURAS NO
FLUXO DO AR – ESTUDO DE CASO: SECRETARIA DE CULTURA DE
BRAGANÇA/PA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre.

Brasília 08 de fevereiro de 2012

BANCA EXAMINADORA:

Orientadora Prof^a. Marta Adriana Bustos Romero, Dr^a. Arq.
Universidade de Brasília - UnB

Prof^a. Cláudia Naves David Amorim, Dr^a. Arq.
Universidade de Brasília - UnB

Prof^a. Patricia Regina Chaves Drach, Dr^a. Arq.
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ (membro externo)

AGRADECIMENTOS:

*Aos meus pais, pelo apoio incondicional durante
minha caminhada até aqui.*

*A professora Marta Romero, pelas contribuições,
apoio e orientação determinantes para esta
dissertação e para minha trajetória no mestrado.*

*A professora Cláudia Amorim, pela atenção,
apoio e contribuição ao longo do meu mestrado.*

*A professora Patricia Drach, pela atenção e
disponibilidade em participar e contribuir neste
trabalho*

*Aos meus amigos e incentivadores: Caio Silva,
Milena Cintra, Renata Maciel, Juliana Andrade e
Júlia Teixeira.*

*Aos meus colegas da Eng. Civil e Eng. Mecânica da
UnB, principalmente ao Paulo Strobel, pela
disponibilização do programa CFX e auxílio nas
simulações.*

*A todos que facilitaram e contribuíram pela e
realização deste trabalho, principalmente:*

- CAPES pelo apoio financeiro;
- Secretaria de Cultura de Bragança pela viabilização do estudo;
- Laboratório de Sustentabilidade Aplicada à Arquitetura e Urbanismo LASUS;
- Programa de Pós-Graduação da FAU/UnB.

*Por fim, e em especial, a Pryscylla Lima; pelo
amor, carinho, amizade e incentivo que tornaram
a caminhada mais fácil e os dias mais felizes.*

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE GRÁFICOS.....	11
LISTA DE TABELAS.....	11
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	12
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVO GERAL.....	14
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.3. ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS.....	15
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. ELEMENTOS CLIMÁTICOS E ÍNDICES DE CONFORTO EM RELAÇÃO À VENTILAÇÃO NATURAL	16
2.1.1. <i>Importância dos Elementos do Clima – Ventilação e Conforto</i>	16
2.1.2. <i>Aspectos Gerais dos Índices de Conforto e do Conforto Adaptativo</i>	18
2.2. ELEMENTOS DETERMINANTES PARA A VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFICAÇÕES	23
2.3. SIMULAÇÕES CFD, MEDIÇÕES <i>IN LOCO</i> E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS PARA A AVALIAÇÃO DE ESPAÇOS NATURALMENTE VENTILADOS.	36
2.3.1. <i>Simulação Computacional de Dinâmica dos Fluidos - CFD</i>	37
2.3.2. <i>Medições in loco e Aplicação de Questionários</i>	41
CAPÍTULO 3: ANÁLISE DA VENTILAÇÃO NATURAL E IDENTIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TAMANHO DAS ABERTURAS NO FLUXO DE AR NO ESTUDO DE CASO	43
3.1. ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS ESTUDO DE CASO	43
3.1.1. <i>Levantamento dos aspectos climáticos locais</i>	43
3.1.2. <i>Levantamento dos aspectos da configuração urbana e entorno</i>	46
3.1.3. <i>Levantamento dos aspectos da edificação</i>	49
3.2. MEDIÇÕES <i>IN LOCO</i> E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS	54
3.2.1. <i>MEDIÇÕES DE TEMPERATURA, UMIDADE E VELOCIDADE DO FLUXO DE AR NO INTERIOR DA EDIFICAÇÃO</i>	54
3.2.2. <i>QUESTIONÁRIOS SOBRE A SENSAÇÃO TÉRMICA DO PESQUISADOR E DOS FUNCIONÁRIOS</i>	55
3.3. ELABORAÇÃO DOS MODELOS PARA SIMULAÇÕES EM CFD.....	56
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	63
4.1. INFLUÊNCIA DA CONFIGURAÇÃO URBANA DO SÍTIO E DO ENTORNO IMEDIATO	63
4.2. AVALIAÇÃO DO PESQUISADOR E RESPOSTAS DOS FUNCIONÁRIOS AO QUESTIONÁRIO.....	67
4.2.1. <i>Influência da ventilação natural sobre a sensação térmica do pesquisador</i>	67
4.2.2. <i>Resposta do questionário aplicado aos funcionários sobre a sensação térmica</i> ..	70
4.3. SIMULAÇÕES CFD DO COMPORTAMENTO DO FLUXO DE AR NO INTERIOR DO ESTUDO DE CASO 72	
4.3.1. <i>Análise do Modelo Real baseado no estudo de caso</i>	72
4.3.2. <i>Análise dos cenários referentes à influência do tamanho das aberturas no comportamento do fluxo de ar</i>	74
4.3.2.1. <i>Cenário 1 – ângulo de incidência Leste e velocidade do vento de 1,5m/s</i>	75
4.3.2.2. <i>Cenário 2 – ângulo de incidência Leste e velocidade do vento de 3,0m/s</i>	77
4.3.2.3. <i>Cenário 3 – ângulo de incidência Norte e velocidade do vento de 1,5m/s</i>	79

4.3.2.4. Cenário 4 – ângulo de incidência Norte e velocidade do vento de 3,0m/s	81
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES	85
5.1. CONCLUSÕES GERAIS DO APROVEITAMENTO DA VENTILAÇÃO NATURAL NO ESTUDO DE CASO	85
5.2. CONCLUSÕES SOBRE A EDIFICAÇÃO/ESTUDO DE CASO QUANTO AO APROVEITAMENTO DA VENTILAÇÃO NATURAL	86
5.3. CONCLUSÕES SOBRE OS MODELOS E CENÁRIOS PROPOSTOS	87
5.4. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	89
REFERÊNCIAS.....	90

RESUMO

Esta dissertação aborda um estudo de ventilação natural e a identificação da influência do tamanho de aberturas sobre a velocidade e distribuição do fluxo de ar no edifício da Secretaria de Cultura da cidade de Bragança, no estado do Pará, escolhida como estudo de caso. Os métodos utilizados para alcançar os objetivos estabelecidos foram: revisão bibliográfica sobre o tema; coleta de dados e medições no local dos aspectos relativos à ventilação natural; informações coletadas por meio de questionários aplicados aos funcionários da edificação e anotações do pesquisador; simulações computacionais no programa de dinâmica dos fluidos CFX do pacote ANSYS/Workbench 2012. Os resultados apontaram aspectos positivos da escala urbana e da edificação no sentido de favorecer o aproveitamento da ventilação natural no estudo de caso. Com relação aos modelos e cenários propostos, verificou-se que o aumento de 20% no tamanho das aberturas pode possibilitar uma melhor distribuição e níveis mais elevados de velocidade do ar no interior de edificação.

Palavras-Chave:

Ventilação Natural; Tamanho de Aberturas; Programa Computacional de Dinâmica dos Fluidos.

ABSTRACT

This dissertation presents a study on natural ventilation and to identify the influence of size openings on the speed and air distribution in the Secretariat of Culture building's in the city of Bragança in Brazil. The following methods were used: literature review; data collection; on-site measurements; questionnaires for users; researched notes and computer simulations in fluid dynamics software ANSYS/CFX. The results indicated positive aspects in urban and building scale favoring the use of natural ventilation in the case study. The models and scenarios indicated that the 20% increase in the openings improves the distribution and increases the air speed in the building.

Keywords:

Natural Ventilation; Size Openings; Computer Fluid Dynamics

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- A CARTA BIOCLIMÁTICA DE OLGAY COMBINA A TEMPERATURA DO AR (1) COM A UMIDADE RELATIVA (2), APRESENTANDO A ZONA DE CONFORTO (3) PODENDO SER ATINGIDA POR MEIO DAS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS ESTABELECIDAS DE ACORDO COM AS CARACTERÍSTICAS LOCAIS. POR EXEMPLO: NECESSIDADE DE VENTILAÇÃO (4); SOMBREAMENTO (5); INSOLAÇÃO (6) E UMIDIFICAÇÃO (7). FONTE: OLGAY (1963: PG. 23).	20
FIGURA 2- A CARTA BIOCLIMÁTICA DE GIVONI RELACIONA A TEMPERATURA SECA DO AR (A), RAZÃO DE UMIDADE (B) E A TEMPERATURA ÚMIDA DO AR (C), ESTABELECENDO A ZONA DE CONFORTO (1); ZONA DE VENTILAÇÃO (2); ZONA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO (3); ZONA DE MASSA TÉRMICA PARA RESFRIAMENTO (4); ZONA DE AR CONDICIONADO (5); ZONA DE UMIDIFICAÇÃO (6); ZONA DE MASSA TÉRMICA E AQUECIMENTO SOLAR PASSIVO (7); ZONA DE AQUECIMENTO SOLAR PASSIVO (8) E A ZONA DE AQUECIMENTO ARTIFICIAL (9). FONTE: FIRMINO ET AL. (1998: PG. 10).	21
FIGURA 3- ESCALA DO ÍNDICE DO VOTO MÉDIO ESTIMADO - PMV. FONTE: AMORIM E BRAGA (2009: PG. 23)	21
FIGURA 4 - EXEMPLO DO MOVIMENTO DO E CAMPOS DE PRESSÃO AO REDOR DE UM EDIFÍCIO. FONTE: OLGAY (1963: PG. 103)	27
FIGURA 5 - À ESQUERDA, CONFIGURAÇÃO ONDE OCORRE O MAIOR FLUXO DE AR NO AMBIENTE. À DIREITA, CONFIGURAÇÃO ONDE OCORRE A MAIOR VELOCIDADE DO FLUXO DE AR NO AMBIENTE. FONTE: OLGAY (1963: PG.104).	28
FIGURA 6 - EFEITOS DO POSICIONAMENTO DAS ABERTURAS SOB O FLUXO DE AR. FONTE: BITTENCOURT (1993: PG. 144).	29
FIGURA 7 - ANÁLISE DA INFLUENCIA DO POSICIONAMENTO E TAMANHO DAS ABERTURAS COM AUXÍLIO DO PROGRAMA PHOENICS. NA IMAGEM SUPERIOR A MELHOR COMBINAÇÃO ENCONTRADA (ENTRADA NA FAIXA MÉDIA – SAÍDA NA FAIXA ALTA, COM TAMANHO DE ABERTURA 1/5 DO PISO). FONTE: BITTENCOURT E LÔBO (1999, PG. 3- 4)	30
FIGURA 8 – AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NO CAMPO DO VENTO PARA DIFERENTES POSICIONAMENTOS E TAMANHOS DE ABERTURA. FONTE: DRACH (2007: PG. 88).	30
FIGURA 9 – AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE DO CAMPO DE VENTO A PARTIR DE ALTERAÇÕES NA FORMA DE PAREDES. FONTE: DRACH (2007: PG. 87).	31
FIGURA 10 - EFEITO DA FORMA DA ABERTURA (A), E DA CONFIGURAÇÃO DE PROTETORES SOLARES VERTICAIS (B) NO RENDIMENTO DA VENTILAÇÃO NATURAL EM FUNÇÃO DO ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DO VENTO. FONTE: BITTENCOURT E CÂNDIDO (2008: PG. 70)	31
FIGURA 11 - EFEITOS DE DIFERENTES TIPOS DE ESQUADRIAS NO FLUXO DE AR EM EDIFICAÇÕES. FONTE: OLGAY (1963: PG. 110).	32
FIGURA 12 - REGULAÇÃO E DIRECIONAMENTO DO FLUXO DO VENTO PROPORCIONADO PELAS VENEZIANAS. FONTE: BITTENCOURT (1993: PG. 148)	33
FIGURA 13 - ESTUDO DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA VENTILAÇÃO NATURAL POR MEIO DO PEITORIL VENTILADO PARA SALAS DE AULA. FONTE: BITTENCOURT ET AL. (2007: PG. 222 - 223).	33
FIGURA 14 - ESTUDO DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA VENTILAÇÃO NATURAL POR CAPTADORES DE VENTO. AS IMAGENS NA PARTE SUPERIOR REPRESENTAM AS DIFERENTES VARIAÇÕES DE CAPTADORES DE VENTO. AS IMAGENS NA PARTE INFERIOR REPRESENTAM (EM PLANTA E CORTE) AS SIMULAÇÕES FEITAS NO PROGRAMA PHOENICS. FONTE: LÔBO E BITTENCOURT (2001: PG. 2-5).	34
FIGURA 15 – ESTUDO DE VENTILAÇÃO NATURAL TENDO COMO EXEMPLO OS MALQAF`S. SIMULAÇÃO REALIZADA NO PROJETO QĀ`A, LOCALIZADO NA CIDADE DO CAIRO. FONTE: DRACH (2007: PG.115)	34
FIGURA 16 - EFEITOS COMBINADOS DOS ELEMENTOS VERTICAIS E HORIZONTAIS NA VELOCIDADE DO VENTO. FONTE: BITTENCOURT E CÂNDIDO (2008: PG. 80).	35
FIGURA 17 – ANÁLISE DA VENTILAÇÃO NATURAL NA ESCALA URBANA. FONTE: ADAPTADO DE SOUZA (2006: PG. 91 E 92)	38
FIGURA 18 - ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO VENTO EM UM EDIFÍCIO ISOLADO EM PROGRAMA CFD.	39
FIGURA 19 - DOIS EXEMPLOS DE FORMATO DE DOMÍNIO (RETANGULAR E CIRCULAR). FONTE: CÓSTOLA E ALUCCI (2011: PG. 149).	39
FIGURA 20 - EXEMPLO DE MALHA ESTRUTURADA (A); E EXEMPLO DE MALHA NÃO-ESTRUTURADA (B). FONTE: SILVA (2011: PG. 50)	40
FIGURA 21 - TIPOS DE ELEMENTOS VOLUMÉTRICOS QUE PODEM COMPOR A MALHA. FONTE: SILVA (2011: PG. 51)	40
FIGURA 22 - EXEMPLO DA MALHA DE UMA EDIFICAÇÃO APÓS O REFINAMENTO. FONTE: CÓSTOLA E ALUCCI (2011: PG. 147).	41
FIGURA 23 - LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE BRAGANÇA AO NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ. FONTE: GOOGLE MAPS (ACESSO EM 15/10/2011).	44
FIGURA 24 - À ESQUERDA, IMAGEM AÉREA DA CIDADE AS MARGENS DO RIO CAETÉ. À DIREITA O EDIFÍCIO DA SECRETARIA DE CULTURA.	44
FIGURA 25 - IMAGENS DA CARACTERÍSTICA URBANA DA CIDADE DE BRAGANÇA.	46

FIGURA 26 - MAPA DA CIDADE DE BRAGANÇA. EM VERMELHO O TRECHO ONDE ESTÁ LOCALIZADO ESTUDO DE CASO DESTACADO NA FIGURA 27. FONTE: ADAPTADO DO GOOGLEMAPS.	47
FIGURA 27 - TRECHO REPRESENTANDO AS CURVAS DE NÍVEL ENTRE ÀS MARGENS DO RIO (ALTURA 0,0M) E O LOCAL ONDE ESTÁ LOCALIZADA A EDIFICAÇÃO (ALTURA +12M) REPRESENTADA PELO RETÂNGULO VERMELHO. FONTE: ADAPTADO DO GOOGLEMAPS.	47
FIGURA 28 – LEVANTAMENTO DA CONFIGURAÇÃO DO ENTORNO DO ESTUDO DE CASO. DESTACADO EM VERMELHO O ESTUDO DE CASO, OS PRINCIPAIS ELEMENTOS PRESENTES NO ENTORNO.	48
FIGURA 29 – AS SETAS EM AZUL REPRESENTAM A ORIENTAÇÃO DA MAIOR FREQUÊNCIA DE INCIDÊNCIAS DOS VENTOS (LESTE); E AS SETAS EM VERDE A ORIENTAÇÃO DA SEGUNDA MAIOR FREQUÊNCIA DE INCIDÊNCIA DOS VENTOS (NORDESTE).	49
FIGURA 30 - FOTOS DO EDIFÍCIO DA SECRETARIA DE CULTURA DA CIDADE DE BRAGANÇA – PA.	50
FIGURA 31 - IMPLANTAÇÃO E PERSPECTIVAS DA EDIFICAÇÃO E SEU ENTORNO.	51
FIGURA 32 – REPRESENTAÇÃO DA INCIDÊNCIA SOLAR NO ESTUDO DE CASO	52
FIGURA 33 - PLANTA DOS PAVIMENTOS TÉRREO E SUPERIOR DA EDIFICAÇÃO; E RELAÇÃO DOS AMBIENTES.	53
FIGURA 34 - DESTACADOS EM AMARELO OS AMBIENTES ESCOLHIDOS PARA A REALIZAÇÃO DAS MEDIÇÕES.	54
FIGURA 35 - DA ESQUERDA PARA A DIREITA E DE CIMA PARA BAIXO: RECEPÇÃO; BIBLIOTECA/SALA DE LEITURA; SALA DE REUNIÕES; E SALA DO SECRETÁRIO DE CULTURA.	55
FIGURA 36 - MODELO TRIDIMENSIONAL REPRESENTANDO A EDIFICAÇÃO E SEU ENTORNO IMEDIATO EXPORTADO PARA O PROGRAMA CFX.	57
FIGURA 37 - IDENTIFICAÇÃO DAS REGIÕES/ABERTURAS DA EDIFICAÇÃO NO PROGRAMA CFX.	58
FIGURA 38 - EM AMARELO, TRECHO ESCOLHIDO PARA O ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TAMANHO DAS ABERTURAS NA VENTILAÇÃO NATURAL. IDENTIFICAÇÃO DAS ABERTURAS E SUAS RESPECTIVAS ÁREAS.	59
FIGURA 39 - DESTAQUE PARA AS VENEZIANAS POSICIONADAS NA PARTE SUPERIOR DAS PORTAS.	61
FIGURA 40 - EM DESTAQUE, A SIMPLIFICAÇÃO DO MODELO CFX (B), EM RELAÇÃO À PLANTA REAL DA EDIFICAÇÃO (A).	61
FIGURA 41 – NA PARTE SUPERIOR, DEFINIÇÃO DAS ABERTURAS DE ENTRADA E SAÍDA DOS MODELOS. NA PARTE INFERIOR, ELABORAÇÃO DA MALHA NÃO ESTRUTURADA NOS MODELOS.	62
FIGURA 42 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE PRESSÃO DOS VENTOS PARA O ÂNGULO DE INCIDÊNCIA LESTE.	64
FIGURA 43 – VISTA SUPERIOR E ELEVAÇÃO DO ESCOAMENTO DO VENTO, IDENTIFICADO A ACELERAÇÃO OCASIONADA PELA FORMA DAS EDIFICAÇÕES.	65
FIGURA 44 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO DE PRESSÃO DOS VENTOS PARA O ÂNGULO DE INCIDÊNCIA NORTE.	66
FIGURA 45 – VISTA SUPERIOR E ELEVAÇÃO DO ESCOAMENTO DO VENTO, IDENTIFICANDO A ACELERAÇÃO OCASIONADA PELA FORMA DA EDIFICAÇÃO NA PARTE SUPERIOR; E A OBSTRUÇÃO DO FLUXO NA PARTE INFERIOR DO ESTUDO DE CASO.	67
FIGURA 46 – AMBIENTES ONDE FORAM REALIZADAS AS MEDIÇÕES E ANALISADAS SENSACIONES TÉRMICAS PELO PESQUISADOR.	68
FIGURA 47 – FUNCIONÁRIOS DA EDIFICAÇÃO PREENCHENDO O QUESTIONÁRIO.	70
FIGURA 48 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO DA VELOCIDADE DO FLUXO DE AR NO INTERIOR DA EDIFICAÇÃO/MODELO REAL, PARA O ÂNGULO DE INCIDÊNCIA LESTE.	73
FIGURA 49 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO DE VELOCIDADE DO FLUXO DE AR NO INTERIOR DA EDIFICAÇÃO/MODELO REAL, PARA O ÂNGULO DE INCIDÊNCIA NORTE.	74
FIGURA 50 – RESULTADOS DOS MODELOS SIMULADOS PARA O ÂNGULO DE INCIDÊNCIA L-O E VELOCIDADE DO VENTO DE 1,5M/s	76
FIGURA 51 – RESULTADOS DOS MODELOS SIMULADOS PARA O ÂNGULO DE INCIDÊNCIA L-O E VELOCIDADE DO VENTO DE 3,0M/s	78
FIGURA 52 – RESULTADOS DOS MODELOS SIMULADOS PARA O ÂNGULO DE INCIDÊNCIA N-S E VELOCIDADE DO VENTO DE 1,5M/s	80
FIGURA 53 – RESULTADOS DOS MODELOS SIMULADOS PARA O ÂNGULO DE INCIDÊNCIA N-S E VELOCIDADE DO VENTO DE 3,0M/s	82

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - DADOS EXEMPLIFICANDO AS VARIAÇÕES DA TEMPERATURA DO AR AO LONGO DE UM ANO (JAN/1991 – DEZ/1991). FONTE: ADAPTADO DO INMET.	45
GRÁFICO 2 - DADOS EXEMPLIFICANDO A VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR AO LONGO DE UM ANO (JAN/1991 – DEZ/1991). FONTE: ADAPTADO DO INMET.	45
GRÁFICO 3 - DADOS EXEMPLIFICANDO A VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO AO LONGO DE UM ANO (JAN/1994 – DEZ/1994). FONTE: ADAPTADO DO INMET.	45
GRÁFICO 4 – MÉDIA DAS TEMPERATURAS INTERNAS NOS AMBIENTES ANALISADOS.....	69
GRÁFICO 5 – MÉDIA DAS VELOCIDADES DO AR NO INTERIOR DOS AMBIENTES ANALISADOS.....	69
GRÁFICO 6 – RESPOSTAS DOS FUNCIONÁRIOS PARA A SENSÇÃO TÉRMICA SENTIDA NOS PERÍODOS DE APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO.	71
GRÁFICO 7 – RESPOSTAS DOS FUNCIONÁRIOS PARA A SENSÇÃO DE CONFORTO SENTIDA NOS PERÍODOS DE APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO.	71
GRÁFICO 8 – RESPOSTAS DOS FUNCIONÁRIOS PARA A SENSÇÃO DE REFRESCAMENTO SENTIDA NOS PERÍODOS DE APLICAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS.	72
GRÁFICO 9 – RESULTADOS DOS MODELOS SIMULADOS COM O ÂNGULO DE INCIDÊNCIA L-O E VELOCIDADE DO AR DE 1,5M/S 77	77
GRÁFICO 10 – RESULTADOS DOS MODELOS SIMULADOS COM ÂNGULO DE INCIDÊNCIA L-O E VELOCIDADE DO AR DE 3,0M/S	79
GRÁFICO 11 – RESULTADOS DOS MODELOS SIMULADOS COM ÂNGULOS DE INCIDÊNCIA N-S E VELOCIDADE DO AR DE 1,5M/S 81	81
GRÁFICO 12 – RESULTADOS DOS MODELOS SIMULADOS COM ÂNGULOS DE INCIDÊNCIA N-S E VELOCIDADE DO AR DE 3,0M/S 83	83

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PRINCIPAIS DADOS DE ENTRADA RELATIVOS AO FLUXO DE AR. FONTE: INMET	58
TABELA 2 - ÁREAS DOS MODELOS DESENVOLVIDOS.....	60
TABELA 3 - VARIÁVEIS DOS CENÁRIOS UTILIZADAS NAS SIMULAÇÕES DOS MODELOS PROPOSTOS.....	62
TABELA 4 – SENSÇÃO TÉRMICA HORÁRIA EM CADA AMBIENTE ANOTADA PELO PESQUISADOR.....	69
TABELA 5 – TABELA RESUMO DOS RESULTADOS PARA CADA CENÁRIO.	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
°C	Graus Célsius
CFD	<i>Computing Fluid Dynamics</i> (Dinâmica dos Fluidos Computacional)
°F	Fahrenheit
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ISO	International Organization of Standardization
m	Metro
m/s	Metros por segundo
m ²	Metro quadrado
Pa	Pascal, unidade de pressão
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i> (Voto Médio Estimando)
SECULT-PA	Secretaria de Cultura do Estado do Pará

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Na região norte do Brasil, um dos principais desafios para a arquitetura é proporcionar o conforto térmico aos usuários das edificações. Com clima que apresenta média anual de temperatura acima de 28°C e umidade relativa de 80%, a arquitetura deve ser desenvolvida visando à necessidade constante de resfriamento e controle da umidade. Estudos baseados na Carta Bioclimática proposta por Givoni (1992) apontam que, nas cidades localizadas nesta região, as pessoas permanecem longos períodos do ano fora da zona de conforto térmico. Na cidade de Belém, por exemplo, este período representa mais de 90% das horas do ano. Desta forma, o desenho dos elementos arquitetônicos para o clima local deve visar à amenização da relação entre o meio ambiente e o usuário da edificação. O aproveitamento da ventilação natural no espaço construído possui papel fundamental neste contexto, tanto no sentido do conforto térmico dos usuários quanto na obtenção de uma arquitetura mais eficiente e sustentável.

A utilização da ventilação natural em edificações, visando o alcance dos níveis ideais de conforto térmico e qualidade do ambiente, ainda necessita superar barreiras. No âmbito nacional estas barreiras envolvem, principalmente, a escassez de pesquisas e dados; escassez de profissionais e empresas especializadas no desenvolvimento de projetos com o uso da ventilação natural como sistema de condicionamento passivo; e as dificuldades de acesso a ferramentas de uso amigável que auxiliem os estudos e projetos pensados para a utilização mais adequada da ventilação natural na arquitetura.

Diante de recursos naturais e elementos climáticos favoráveis ao uso de estratégias passivas para o conforto ambiental no espaço construído é indiscutível a necessidade de estudos que abordem o potencial de aproveitamento da ventilação natural no Brasil. Tais estudos tomam ainda mais importância quando se trata do aumento da sustentabilidade da massa edificada, tendo em vista as intensas discussões a respeito da responsabilidade socioambiental dos profissionais da construção e dos setores de pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

O estudo apresentado nesta dissertação analisa o comportamento da ventilação natural em uma edificação escolhida como estudo de caso. São analisados os aspectos relativos ao atual comportamento e aproveitamento da ventilação natural na edificação, bem como, a influência do aumento ou diminuição do tamanho das janelas e portas na velocidade e distribuição do fluxo de ar nos ambientes internos. A identificação desta influência é feita, principalmente, pela simulação computacional de

cenários onde são comparados modelos da edificação com percentuais de -20%, -10%, +10% e +20% do tamanho real das aberturas, com modificações das condições de contorno (ângulo de incidência e velocidade do vento).

Foram realizadas, também, medições dos dados de temperatura do ar; umidade relativa; e velocidade do fluxo de ar no interior da edificação visando subsidiar as simulações computacionais e a análise dos seus resultados. Com a intenção de obter a opinião dos usuários da edificação, e do pesquisador, sobre as sensações de conforto e refrescamento proporcionadas pela ventilação natural, foram aplicados questionários ao longo dos períodos de realização da pesquisa. A comparação entre os resultados obtidos por meio dos métodos aplicados além de possibilitar um diagnóstico mais completo das condições atuais também identificou potenciais na melhoria do aproveitamento da ventilação natural na edificação.

Desta forma, este estudo apresenta uma análise de ventilação natural no espaço construído, considerando os aspectos do clima local; do espaço urbano; da edificação e opinião dos usuários e pesquisador. Buscou-se contribuir, também, para o desenvolvimento desta área do conhecimento e o desenvolvimento de futuros estudos com linha de pesquisa semelhante, apresentando os métodos e resultados obtidos em um exemplo analisado como estudo de caso.

1.1. Objetivo Geral

Analisar o comportamento da ventilação natural e identificar a influência do tamanho das aberturas (janelas e portas) na velocidade e distribuição do fluxo de ar no edifício da Secretaria de Cultura da cidade de Bragança, localizada a nordeste do estado do Pará, escolhido como estudo de caso.

1.2. Objetivos Específicos

- 1- Analisar os aspectos gerais da ventilação natural no estudo de caso, apontando os principais dados identificados por meio dos levantamentos *in loco*, pelas respostas dos funcionários aos questionários aplicados e anotação do pesquisador;
- 2- Elaborar modelos e propor cenários que possibilitem identificar a influência do tamanho das aberturas sobre a velocidade e distribuição do fluxo de ar no espaço interno do estudo de caso;

- 3- Buscar quantificar a influência do aumento ou diminuição do tamanho das aberturas (tendo como base o estudo de caso) na distribuição e velocidade do fluxo de ar no interior por meio da simulação dos modelos e cenários utilizando o programa de dinâmica dos fluidos ANSYS/CFX.

1.3. Estrutura dos Capítulos

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma:

O Capítulo 1 é composto por uma breve introdução ao conteúdo tratado nesta dissertação, bem como a apresentação dos objetivos geral e específico buscados nesta dissertação.

O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico utilizado para o desenvolvimento do estudo, abordando temas referentes a importância dos elementos climáticos e índices de conforto em relação à ventilação natural; os elementos determinantes para a ventilação natural em edificações; a importância da utilização de programas específicos de dinâmica dos fluidos para a avaliação de espaços naturalmente ventilados.

O Capítulo 3 apresenta os métodos utilizados para alcançar os objetivos propostos, referentes à análise e características do estudo de caso; medições das variáveis de temperatura, umidade e velocidade do ar no interior do estudo de caso; elaboração e aplicação dos questionários para os funcionários e para o pesquisador; e a elaboração dos modelos computacionais e cenários simulados no programa CFX.

O Capítulo 4 apresenta os resultados referentes à influência da configuração urbana e do entorno imediato na ventilação natural incidente no estudo de caso; a avaliação do pesquisador e as respostas dos funcionários do questionário desenvolvido; e os resultados das simulações dos modelos e cenários no programa CFX.

Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho com base nas análises desenvolvidas.

CAPÍTULO 2 – Referencial Teórico

De início, este capítulo aborda os principais elementos climáticos que influenciam o desempenho térmico do espaço construído, fazendo um maior aprofundamento na ventilação natural. Parte-se do princípio que temperatura do ar, os níveis de radiação solar e a umidade não podem ser ignorados quando se estuda o comportamento da ventilação natural com vistas ao alcance dos níveis adequados de conforto térmico no espaço interno e seus aspectos diversos.

Outro ponto importante abordado refere-se à apresentação de alguns índices de conforto térmico, com destaque para os índices utilizados em espaços ventilados naturalmente. A apresentação dos aspectos e índices de conforto térmico é importante para a melhor compreensão do papel da ventilação natural no ambiente construído. Em suma, são abordados aspectos relativos à interação entre o corpo humano e os efeitos do clima, bem como, os principais índices de conforto térmico propostos para avaliação do espaço construído.

2.1. Elementos Climáticos e Índices de Conforto em Relação à Ventilação Natural

2.1.1. Importância dos Elementos do Clima – Ventilação e Conforto

Os elementos climáticos ligados ao conforto térmico estão principalmente relacionados com os níveis de radiação solar; umidade do ar e aos ventos. Para Romero (2000), além destes aspectos, também é de extrema relevância a observação em uma escala mais expandida dos “fatores climáticos globais e locais”, determinantes para o clima de uma região. Por exemplo, a latitude, altitude, massas de terra e água (fatores globais); além da topografia, vegetação e relevo do solo (fatores locais) são variáveis diretamente relacionadas com o desempenho térmico do espaço construído e o conforto de seus usuários. Estas duas escalas (global e local) também estão profundamente ligadas ao potencial de aproveitamento da ventilação natural, enquanto estratégia de resfriamento passivo, no interior das edificações. Como afirma Allard et al. (2002), a escala global, regional, local e a micro escala definem desde a intensidade e frequência de ocorrência dos ventos até sua capacidade de controlar umidade e a temperatura no espaço interno.

A influência dos diversos elementos climáticos no espaço construído e, conseqüentemente, sobre os aspectos de conforto do corpo humano já foi extensamente debatida nas últimas décadas. Desde estudos clássicos como os de

Olgay (1963) e Givoni (1976), por exemplo, até a gama de estudos publicados recentemente por autores como Francis Allard; Math Santamouris; Michael Humpherys; Fergus Nicol; Richard de Dear; Anésia Frota; Márcia Alucci; Marta Romero; Leonardo Bittencourt; Oscar Corbella, entre outros, que apontam o importante papel da ventilação natural na obtenção dos níveis adequados de conforto.

No espaço construído, a busca pelo conforto térmico por meio da amenização dos efeitos adversos do clima abrangeu tanto o traçado urbano quanto a forma e os materiais das edificações. No urbano, diversos grupos tribais, que se desenvolveram no sudoeste dos Estados Unidos no século VI, sob condições extremas do clima, utilizavam a implantação dos abrigos em *canyon`s*, vales ou planaltos, como proteção contra os ventos mais frios vindos do norte (ROMERO, 2000). Além disso, o denso agrupamento das edificações também era pensado para a amenização da grande amplitude térmica do clima local. O mesmo princípio era empregado nas cidades medievais, onde as curvas fechadas do traçado urbano e as ruas sem saída protegiam tanto dos ventos gelados no inverno quanto do forte calor do verão; favorecendo o desenvolvimento de atividades ao ar livre sob condições mais amenas (BUTERA, 2004). Já em zonas quentes com pouca amplitude térmica, como na costa mediterrânea da África, o traçado urbano era utilizado como uma importante estratégia para o aproveitamento da ventilação úmida vinda do mar e, com isso, a amenização das altas temperaturas e baixa umidade (OLGYAY, 1963).

Em regiões mais quentes ou no calor do verão eram utilizados outros artifícios, que visavam o resfriamento dos ambientes. Como afirma Allard (2002), exemplos do uso da ventilação natural na arquitetura tradicional, em diferentes regiões, podem ser encontrados à 6.000 anos na casa "*ma`dam*", no Iraque. Outro exemplo representativo é encontrado nas habitações dos nativos americanos, chamadas de "*tipi*". Nestas habitações a envoltória era constituída de peles de búfalo costuradas; com um engenhoso mecanismo de controle de circulação ar que se adaptava ao clima. Já no antigo Egito construía-se os chamados "*malkaf*" para capturar as correntes de ar mais altas e resfriar a edificação evitando os ventos mais próximos da superfície carregados de partículas de areia. Posicionado na parte superior da edificação, geralmente em forma de domo, o *malkaf* capturava do vento acelerado pelo formato da cobertura e desempenhava a função de exaustor do ar quente.

Ao longo dos séculos ocorrem diversas transformações no conceito de conforto, bem como na forma de proporcioná-lo aos usuários do espaço construído. Evuindo de conceitos isolados de salubridade, utilização do gelo para o resfriamento dos ambientes (residenciais e comerciais), surgimento do ar condicionado e sua papel fundamental no funcionamento da arquitetura baseada no estilo internacional, até a mudança de paradigmas no sentido de uma arquitetura energeticamente eficiente e

ambientalmente confortável, além de uma cadeia da construção mais sustentável. Esta longa evolução do conceito de conforto e sustentabilidade na arquitetura está clara nos estudos, por exemplo, de Olgyay (1963), Bahadori (1978), Butera (2004), Schmid (2005).

A partir de 1990, fica evidenciado que a conservação de energia não pode ser desassociada da qualidade do espaço interno e externo. Retoma-se o pensamento de que os aspectos do meio ambiente devem ser levados em conta como base para critérios de qualidade do espaço construído. Estes critérios também voltam a destacar a necessidade da integração entre as características do sítio (principalmente os fatores climáticos) e o potencial de integração que o desenho (arquitetura) pode oferecer em relação aos conceitos passivos de aquecimento, resfriamento ou, mais geralmente, condições climáticas internas (SANTAMOURIS e ASIMAKOPOULOS, 2001).

Ainda segundo Santamouris e Asimakopoulos (2001), fortemente influenciados pela arquitetura tradicional, toma força os conceitos de resfriamento natural e passivo no espaço construído. O conceito de resfriamento passivo está relacionado com a prevenção ou o controle dos ganhos de calor por meio de técnicas de projeto do edifício. Já o resfriamento natural refere-se ao uso de dissipadores naturais do excesso de calor nos espaços internos. A ventilação natural está incluída nesta categoria, juntamente com o resfriamento pelo solo; resfriamento evaporativo; e resfriamento radioativo. Todas estas estratégias, além do caráter ambiental, visam o conforto térmico dos usuários. Neste sentido torna-se importante deixar claro alguns aspectos gerais relacionados ao conforto humano no espaço construído.

2.1.2. Aspectos Gerais dos Índices de Conforto e do Conforto Adaptativo

A necessidade do corpo humano em obter o conforto térmico está relacionada com funcionamento do organismo. Este, por sua vez, pode ser comparado a uma “máquina que produz calor”. Por meio do metabolismo, o corpo humano produz energia interna, onde 20% é transformada em potencial de trabalho e os 80% restantes em calor. O corpo humano necessita liberar este calor em quantidade suficiente para alcançar o equilíbrio térmico, ou seja, para manter a temperatura interna próxima aos 37°C (FROTA e SCHIFFER, 2003).

Como as condições de temperatura e umidade do ambiente são variáveis, a adaptação do organismo é feita por seu mecanismo termorregulador, que controla os ganhos e perdas de calor para o meio. Ou seja, quando a temperatura externa está abaixo da temperatura de equilíbrio do corpo, ocorre o aumento da resistência térmica da pele através da contração dos poros e do aumento das “combustões internas”. Quando a temperatura externa está acima da temperatura de equilíbrio, os

poros se dilatam, o corpo reduz as “combustões internas” e libera suor, proporcionando trocas de calor mais intensas (FROTA e SCHIFFER, 2009).

Com a produção interna de calor, o corpo humano dissipa parte dessa energia para o meio ambiente através das trocas térmicas. Estas podem acontecer por condução, convecção, radiação, denominadas de “trocas secas”; ou por evaporação da água decorrente da transpiração denominada de “trocas úmidas”. Segundo Corbella e Yannas (2003) tanto as trocas secas quanto as trocas úmidas são “aspectos pessoais”; podendo ter como variáveis desde a idade, sexo, diferença de peso, até o tipo de vestimenta e atividade desenvolvida.

As variações decorrentes dos aspectos pessoais e aspectos climáticos deixam claro que a sensação de conforto térmico alcançada com a perda de calor ótima (neutralidade do corpo em relação ao meio) não é dependente somente de um aspecto, como o vento ou a temperatura do ar, e sim da combinação de vários aspectos. Segundo a norma internacional ASHRAE 55-92, para os climas mais quentes da América do Norte, a combinação dos principais aspectos referem-se a uma temperatura do ar variando entre 23°C e 27°C; quando a velocidade do ar de 0,5 m/s; umidade relativa entre 30% e 70%; para uma pessoa sentada em ocupação sedentária com vestimenta normal (FROTA e SCHIFFER, 2009).

Segundo Alucci e Monteiro (2007), em decorrência da dificuldade de controle de tantos aspectos nos espaços abertos, a maioria dos modelos preditivos de conforto foram desenvolvidos para os espaços fechados. Assim, estudos sobre a influência dos níveis de temperatura e umidade no rendimento do trabalho humano começaram a ser desenvolvidas já em 1916, pela Comissão Americana da Ventilação, visando principalmente o rendimento do trabalho físico de operários nas indústrias. Os primeiros estudos para o estabelecimento de índices para a predição de conforto térmico são de trabalhos empíricos de Temperatura Efetiva (ET), elaborados por Houghten e Yaglou em 1923, de Nova Temperatura Efetiva, feitos por Vermon e Warner em 1932, e de Temperatura Resultante, desenvolvido por Missenard em 1948. Na Inglaterra, por exemplo, com base nos estudos de Temperatura Efetiva, constatou-se que o rendimento do trabalho em minas caía em 41% quando a Temperatura Efetiva é de 27°C, com relação ao rendimento a uma Temperatura Efetiva de 19°C (FROTA e SCHIFFER, 2003).

Segundo Alucci e Monteiro (2007), os primeiros índices baseados em modelos analíticos, que levam em conta os processos de trocas térmicas (secas e úmidas) foram desenvolvidos por Belding e Hatch em 1955, Índice de Estresse Térmico por Calor, e por Givoni (1969), Índice de Estresse Térmico. No entanto, com a existência de “cerca de três dezenas” de índices de conforto se faz necessário uma criteriosa escolha para a

melhor adequação dos diversos usos (características do trabalho) às necessidades de humanas de conforto. Desta forma, pode-se classificar os índices de conforto em: Índices Biofísicos – baseados nas trocas de calor do corpo com o meio ambiente; Índices Fisiológicos – baseados na reação fisiológica do corpo originadas por algumas características do clima; e Índices Subjetivos – baseados em sensações subjetivas de conforto (FROTA e SCHIFFER, 2003).

Três índices que se destacam em termos de aplicação às condições ambientais em edificações, e determinam a zona de conforto com base, principalmente, nas variáveis de temperatura e umidade do ar. Estes índices são: a Carta Bioclimática de Olgay; Temperatura Efetiva de Houghthen e Yaglou; e o Índice de Conforto Equatorial de Webb. No entanto, a Carta Bioclimática desenvolvida por Olgay desde 1952 destaca-se por sua aplicabilidade para a análise das condições de conforto no ambiente construído. Além de estabelecer uma zona de conforto térmico, com base nas condições de temperatura e umidade relativa do ar, a Carta de Olgay também aborda quais estratégias bioclimáticas devem ser adotadas para se atingir os níveis de conforto. Entre estas estratégias, a ventilação natural possui papel de destaque (Figura 1).

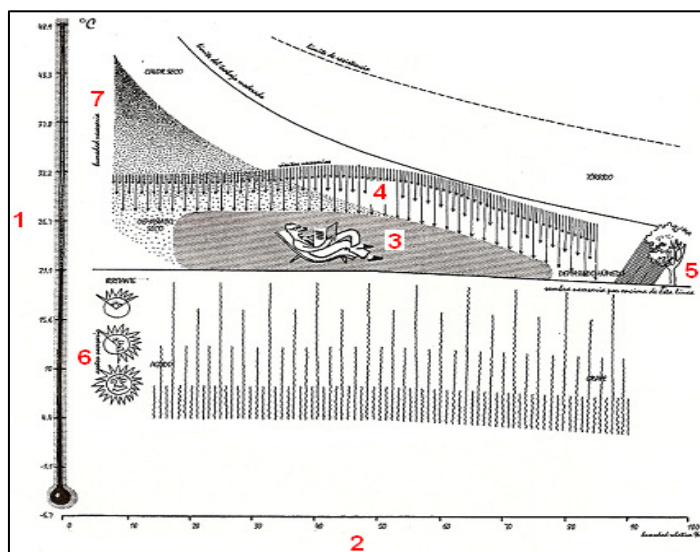


Figura 1- A Carta Bioclimática de Olgay combina a temperatura do ar (1) com a umidade relativa (2), apresentando a zona de conforto (3) podendo ser atingida por meio das estratégias bioclimáticas estabelecidas de acordo com as características locais. Por exemplo: necessidade de ventilação (4); sombreamento (5); insolação (6) e umidificação (7). **Fonte:** Olgay (1963: Pg. 23).

Com base no trabalho de Olgay, já na década de 60, o israelense Baruch Givoni propôs o aprimoramento da Carta Bioclimática. Desta forma, a partir do índice de tensão térmica, a Carta Bioclimática de Givoni combina a temperatura seca do ar, temperatura de bulbo úmido, e ventilação, para definir a zona de conforto térmico.

Givoni também propõe estratégias para o alcance das condições de conforto, nas a ventilação natural novamente aparece como fator de destaque (Figura 2).

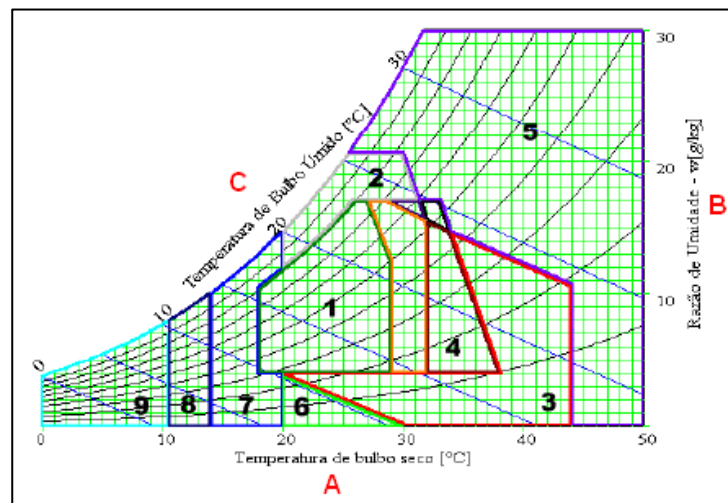


Figura 2- A Carta Bioclimática de Givoni relaciona a temperatura seca do ar (A), razão de umidade (B) e a temperatura úmida do ar (C), estabelecendo a zona de conforto (1); zona de ventilação (2); zona de resfriamento evaporativo (3); zona de massa térmica para resfriamento (4); zona de ar condicionado (5); zona de umidificação (6); zona de massa térmica e aquecimento solar passivo (7); zona de aquecimento solar passivo (8) e a zona de aquecimento artificial (9). **Fonte:** Firmino et al. (1998: Pg. 10).

Para efeito das normas ASHRAE 55-2004 e ISO 7730/94, as zonas de conforto são definidas por meio do *Predicted Mean Vote (PMV)* desenvolvido por Fanger (1970), tendo como base a observação de um grande número de pessoas em testes laboratoriais (YAO *et al.* 2009). Este índice prevê um valor médio dos votos de um grande número de pessoas em uma escala numérica de sete pontos. Os valores da escala variam de -3 (muito frio) a +3 (muito quente), representando o nível de satisfação térmica em relação ao ambiente (Figura 3). Assim, estima-se o Percentual de Pessoas Insatisfeitas- PPD. Com base no PPD, a norma ISO 7730 recomenda como ideal um valor menor que 10% de pessoas insatisfeitas (AMORIM e BRAGA, 2009).

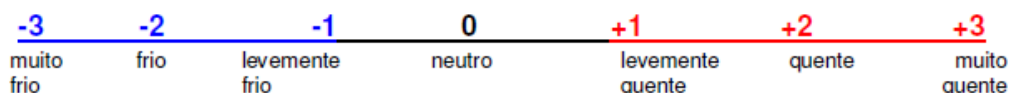


Figura 3- Escala do índice do Voto Médio Estimado - PMV. **Fonte:** Amorim e Braga (2009: Pg. 23)

No entanto, quando se aborda o uso da ventilação natural para alcançar os níveis adequados de conforto, o PMV não é o modelo mais adequado para calcular o percentual de horas de conforto. Isso deve ao fato de que a análise do desempenho de edificações resfriadas passivamente abrange um número maior de variáveis, dentre

elas as propriedades psicrométricas e a velocidade do ar, além da temperatura de radiante medida pelo termômetro de globo; buscando considerar da melhor forma possível o efeito ou sensação de resfriamento do ar sob a pele (AULICIEMS e SZOKOLAY, 1997). Devido as dificuldades de determinação e quantificação destas variáveis, a identificação dos níveis de conforto térmico com resfriamento passivo ainda é motivo de estudos e discussões. Entra-se, portanto, na área denominada de conforto adaptativo, abordada nos estudos de Humphreys e Nicol (2002), Nicol et al. (1999), de Dear et al. (1997), por exemplo. Além de defender um conceito de *Adaptative Predicted Mean Vote* (aPMV), os estudos pioneiros de Michael Humphreys também se referem aos possíveis equívocos decorrentes dos valores fixados em normas para o conforto térmico. Faixas de conforto térmico mais amplas foram identificadas nas pesquisas realizadas com diversos usuários, em tipologias e locais distintos, e entre edificações ventiladas naturalmente e artificialmente.

Em termos do uso da ventilação natural para o resfriamento passivo, além da discrepância entre os índices de conforto fixados em norma e a faixa de adaptação térmica do corpo humano, o estudo de Dear et al. (1997) também aborda importantes contribuições e constatações sobre o conforto adaptativo. Logo de início o estudo discute a diferenciação das áreas de pesquisas voltadas para o desenvolvimento de modelos “adaptativos” e modelos “estáticos”. Desta forma, os modelos adaptativos possuem metodologia de desenvolvimento baseadas principalmente em medições de campo, e consideram uma margem de variação de temperaturas internas tendo em vista a capacidade de adaptação do corpo humano. Por outro lado, os modelos estáticos apresentam formas diferentes de metodologia para o seu desenvolvimento (experimentos em laboratório, principalmente) e diferente aplicação, pois aborda parâmetros que servem de requisitos mínimos de atendimento em sistemas de condicionamento mecânicos.

A capacidade de adaptação do corpo humano considerada nos modelos de conforto adaptativo possui exemplo claro no estudo de Nicol et al. (1999). Este estudo aborda a capacidade de adaptação das pessoas a um grande intervalo médio de temperaturas, levando em conta os aspectos locais do Paquistão. Em ambientes internos abertos a variação diária do clima, as pessoas conseguem certo grau de adaptação à zona de conforto, reduzindo a necessidade de utilização contínua do sistema de ar condicionado para a manutenção dos níveis expressos em norma. O aproveitamento da ventilação natural, por meio das características das edificações, possui grande importância para nesta adaptação e redução do consumo energético dos edifícios. Esse efeito de ampliação da zona de conforto proporcionado pela ventilação natural é descrito por diversos autores. Por exemplo, Bittencourt e Cândido (2008) explicam que o efeito de movimento do ar reduz a temperatura efetiva, devido à evaporação do suor da pele e às “trocas convectivas entre a corrente de ar e o

corpo”. Assim, o limite da zona de conforto determinados para condições sem vento, pode ser ampliado em função da velocidade do ar.

No entanto, o efeito da ventilação natural sobre o corpo humano considerado nos modelos adaptativos envolve processos psicológicos, comportamentais e fisiológicos; que se relacionam e tornam complexa a definição exata dos níveis de conforto para estes modelos. Este tripé é a principal explicação para o fato de que em climas quentes os usuários preferam temperaturas do ar mais baixas em relação à faixa ideal de conforto (neutralidade), e o inverso acontecendo em climas mais frios. A adoção deste conceito tripartido, exposto por Dear et al. (1997), aponta na direção de uma “reconciliação” entre os modelos estáticos e adaptativos na busca de padrões climáticos que atendam as necessidades de conforto e eficiência energética no espaço interno.

Observa-se, portanto, que a ventilação natural possui um papel de destaque no comportamento, evolução, eficiência, e desempenho ambiental do espaço construído. Ela está ligada principalmente com o conforto térmico dos usuários e qualidade do ar. Dentre os modelos desenvolvidos para a avaliação do desempenho térmico de ambientes internos, os modelos adaptativos são os que melhor representam os efeitos da ventilação natural sobre o corpo humano. Desta forma, estes modelos buscam considerar a influência do movimento do ar em relação aos processos psicológicos, fisiológicos e comportamentais dos usuários, no sentido de adaptação às variações térmicas ao longo do dia. Torna-se importante, a partir de então, esclarecer alguns conceitos relacionados a características ligadas ao fluxo ar e os elementos arquitetônicos que podem influenciá-las.

2.2. Elementos Determinantes para a Ventilação Natural em Edificações

2.2.1. Aspectos Relativos ao Espaço Externo

Para início deste tópico buscou-se a conceituação básica e características gerais dos elementos relativos à ventilação natural em edificações. Portanto, torna-se importante apresentar o conceito de Bittencourt e Cândido (2008), nos quais o vento é descrito como sendo o efeito da circulação do ar localizado na camada atmosférica mais baixa do planeta (troposfera). Além disso, por ser um fluido, se mantém junto à superfície da terra em decorrência da própria força da gravidade e fricção com o solo. As diferentes temperaturas inerentes às características geográficas influenciam na circulação das massas de ar na atmosfera. Tal circulação pode ser classificada em “movimentos verticais e horizontais”. Ainda segundo os autores, a circulação vertical decorre do aquecimento do ar na faixa Equatorial do planeta. O ar sobe verticalmente

criando zonas de baixa pressão, assim, o ar presente nas áreas adjacentes (subtropicais) se desloca em direção a estas zonas gerando a circulação horizontal. O ar que se movimentou para cima, a uma determinada altura, se resfria e desce criando zonas de alta pressão, propagando-se em direção ao norte e sul.

As diferentes escalas do clima influenciam diretamente na quantidade e características dos ventos. No entanto, para os aspectos relativos ao projeto arquitetônico visando à utilização da ventilação natural, a escala microclimática deve ser analisada com maior atenção. Como menciona Allard (2002), os gradientes horizontais de pressão dos ventos, que correspondem às diferenças horizontais de temperatura criadas pelo efeito destes microclimas, induzem movimentos específicos do ar. Ou seja, a escala microclimática pode influenciar mais significativamente desde a forma de distribuição da pressão do vento nas superfícies edificadas até fatores como temperatura e umidade das massas de ar.

Desta forma, o planejamento adequado da escala urbana com o conhecimento da tendência de comportamento do movimento do ar em uma determinada zona, permite a modificação do fluxo de vento para seu melhor aproveitamento e controle de intensidade. Tal otimização pode acontecer, por exemplo, através da alteração das características físicas do sítio e desenho urbano adequado (Romero, 2011). A autora ainda destaca a influência da formação dos cânions urbanos, de diversas características na relação W/H (relação entre os afastamentos e as alturas dos edifícios), no escoamento do ar na escala urbana. Esta influencia é observada no regime do fluxo do ar. Ou seja, nas edificações separadas com $W/H > 0,05$ (com grandes distâncias entre si) o fluxo de ar e os edifícios não interagem. No entanto, à medida e que este espaço diminui o fluxo passa a ser alterado em função do arranjo dos edifícios.

Outra característica importante, que surge ao observarmos estudos de frequência de ocorrência dos ventos ao nível da edificação, é a irregularidade e variabilidade da ventilação natural como fenômeno físico. Tais aspectos são abordados em trabalhos como os de Chandra e Swami (1987), Liddament (1990) ou ainda Allard (2002). O aspecto irregular do fluxo de ar está ligado com sua frequência de ocorrência, enquanto que a sua variação relaciona-se com a velocidade e o ângulo de incidência nas superfícies ventiladas. A alteração no fluxo normal do vento, que gera variações na sua velocidade e direção, é denominada “turbulência”. A turbulência pode ser gerada por qualquer obstáculo presente nas camadas mais próximas do solo, assim como, por diferenças de temperatura no fluxo de ar. Desta forma, a turbulência é inversamente proporcional à altitude, pois quanto maior a distância em relação ao nível do solo menores são as interferências (pressão atmosférica, obstáculos e diferenças de temperatura).

A turbulência também é um parâmetro importante para o conforto térmico nos ambientes, pois está diretamente relacionada com a velocidade do fluxo de ar. Tal relação fica evidente quando se assume que a direção do fluxo de ar é constante (ao negligenciar os efeitos das diferenças de temperatura), caso comum para efeito de cálculos gerais de ventilação nas edificações. Neste caso, a velocidade do fluxo de ar irá depender unicamente da sua altura em relação ao solo. Ou seja, quando mais alto, menor é a turbulência e maior será a velocidade do vento.

Outro aspecto importante a ser calculado, relativo ao espaço externo, é a rugosidade. Tal aspecto também está relacionado com a velocidade média do vento, levando em consideração as características aerodinâmicas da superfície do solo. De acordo com Oke *et al.* (2001), o parâmetro de rugosidade determina o quanto este é efetivo na transformação da energia média do vento, que flui sobre a superfície, em turbulência na camada superior dos elementos que constituem o solo. No mesmo estudo, os autores demonstram graficamente a relação entre a diminuição da rugosidade no aumento da velocidade do vento e redução da intensidade de turbulência. Levando em consideração, principalmente, os aspectos de rugosidade, Allard (2002) afirma ainda:

“O meio ambiente do sítio raramente é homogêneo [...] para levar em consideração estas características particulares do sítio, três coeficientes específicos são usualmente introduzidos para a definição da média local de velocidade do vento [...] as mudanças locais de rugosidade; a modificação local do relevo; e a presença de um obstáculo singular.” (ALLARD, 2002; pg. 16)

É importante, portanto, observar o relevo que constitui o entorno da edificação ou local no qual se deseja alcançar os níveis satisfatórios de velocidade do vento, visando o efetivo aproveitamento da ventilação natural. No meio urbano, os edifícios constituem as principais rugosidades. Elementos urbanos como a orientação das ruas e geometria das ruas, altura e densidade dos edifícios e forma como são distribuídos representam um grande impacto nas condições urbanas do vento (ROMERO, 2000).

Assim para os cálculos de ventilação natural nos espaços internos com base em dados de velocidade do vento obtidos em estações meteorológicas ou aeroportos devem ser consideradas as divergências em relação aos valores encontrados ao nível da malha urbana. Isso ocorre devido à altura em que são obtidos (geralmente a 10 metros do solo) e pelas características de rugosidade do terreno. Em aeroportos, por exemplo, a rugosidade é classificada como nível IV pela ESDU 82026 (1982), representando um coeficiente de rugosidade de 0.19 (adimensional). Já os centros

metropolitanos são classificados como nível IX, com coeficiente de rugosidade de 0.25. Estas diferenças entre os coeficientes, em termos quantitativos, representam uma redução de 20% a 30% na velocidade média dos ventos no centro urbano em relação à borda da cidade. Por outro lado, a turbulência aumenta de 50% a 100% da borda da cidade em relação ao centro urbano; ocasionando uma frequência de ventos “fracos” de 5% a 20% maior (ALLARD, 2002).

A diferenciação no comportamento do fluxo de ar afeta também sua temperatura. Em decorrência de fenômenos como a “Ilha de Calor”, a temperatura do ar se torna maior no centro urbano do que em áreas periféricas. A maior absorção da radiação solar da massa edificada nos centros urbanos provoca um aumento no fluxo radiativo de até 20%, segundo medições realizadas nos Estados Unidos (ALLARD, 2002). Da mesma forma, estudos comprovam a relação entre o tamanho da população urbana e as diferenças na temperatura do ar urbano e rural (OKE, 1987 *apud* ALLARD, 2002). Pesquisas reportam que o efeito das ilhas de calor é maior em climas quentes no verão, em decorrência do uso intensivo de energia. Nas cidades com mais de 100.000 habitantes, a transformação de energia elétrica em calor aumenta de 1,5% a 2% a temperatura do ar para cada 1°F (aproximadamente 0,6 °C) aumentado na temperatura externa.

2.2.2. Aspectos relativos ao Espaço Interno

Com o conhecimento das influências do entorno sobre o fluxo de ar, pode-se compreender melhor os efeitos do vento no interior das edificações. As trocas entre o ar externo e o ar presente no interior da edificação podem ser divididas em duas grandes classificações: ventilação e infiltração. A primeira diz respeito à introdução intencional do ar exterior para o interior do edifício; podendo ser subdividida em ventilação natural (objeto desta pesquisa) e ventilação forçada (ventilação mecânica). Desta forma, a ventilação natural pode ser conceituada como o fluxo de ar intencional advindo de janelas, portas, grades, entre outros elementos que possibilitem a penetração através do envelope do edifício. Já a ventilação forçada é o movimento intencional de ar para o interior e exterior do edifício utilizando sistemas mecânicos. Por fim, a infiltração é o fluxo de ar não intencional que entre e sai da edificação por meio de frestas, aberturas, etc., (ASHRAE, 2001 *apud* MATOS, 2007).

Em se tratando de ventilação natural em edifícios, Grosso et al. (2008) abordam que esta pode ser feita, principalmente, por meio de dois sistemas: a ventilação por ação dos ventos; e a ventilação por efeito chaminé. No entanto, a presença de um sistema não anula o outro. Desta forma, é possível haver tanto a soma quanto contraposição dos efeitos no ambiente interno, podendo prejudicar o fluxo de

ar nos ambientes. Ambos os mecanismos funcionam com base na diferença de pressão entre o ambiente interno e externo, determinando as características do fluxo de ar.

Para o sistema de ventilação por ação dos ventos, considerando um objeto isolado, o vento atua como uma pressão sobre as superfícies, alterando o fluxo de entrada e saída do ar. São criadas pressões positivas no edifício nas superfícies orientadas para a direção do vento (a barlavento). Enquanto isso, pressões negativas são criadas nas superfícies opostas (a sotavento), gerando um campo de sucção. A Figura 4 demonstra estes campos de pressão nos estudos de modelos reais que Olgyay (1963) realizou em túneis de vento.

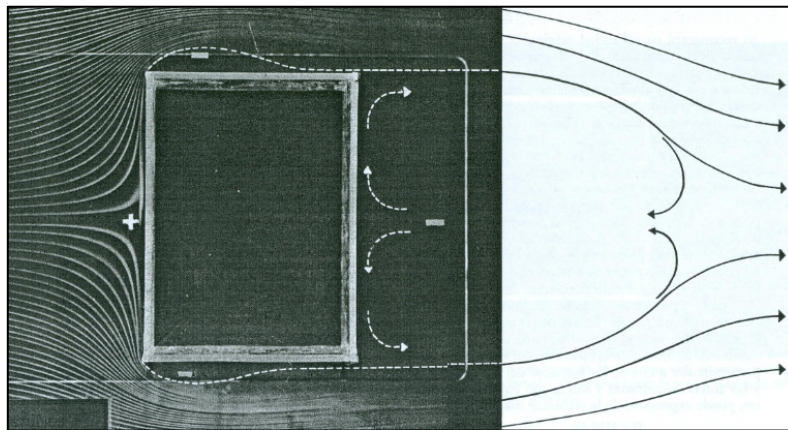


Figura 4 - Exemplo do movimento do e campos de pressão ao redor de um edifício. **Fonte:** Olgyay (1963: Pg. 103)

Já o sistema de ventilação por efeito chaminé ocorre principalmente pela diferença de densidade entre o ar aquecido (menos denso) e o ar menos aquecido (mais denso). O posicionamento de aberturas na cobertura de edificações também favorece o efeito de sucção do ar interno em decorrência aumento da velocidade do ar nas cumeeiras, seguindo o princípio de Bernoulli (maior velocidade menor pressão). Desta forma, aberturas localizadas em forros e no teto geram a movimentação do ar e a retirada de calor, devido à pressão exercida pelo vento ao infiltrar nos ambientes e a diminuição da pressão na cobertura. No entanto, como afirma Bittencourt e Cândido (2008), a movimentação do ar por efeito chaminé não se torna muito eficaz em edificações localizadas em regiões quentes e úmidas, principalmente quando utilizado para resfriamento noturno. Isto se deve, principalmente, pela pequena amplitude térmica característica nestes locais.

Como visto, a ventilação natural no interior das edificações necessita fundamentalmente da possibilidade de entrada através das aberturas para seu correto funcionamento. Segundo Olgyay (1963) algumas características importantes devem ser consideradas para favorecer o fluxo de ar através do interior dos ambientes. A

primeira característica diz respeito ao tamanho das entradas e saídas de ar. O autor apresenta uma série de estudos onde compara o fluxo e a velocidade do vento em relação à combinação de tamanhos das aberturas. Por exemplo, o maior fluxo de ar em um ambiente ocorre quando grandes aberturas, com tamanhos iguais, são situadas em fachadas opostas. Por outro lado, a maior velocidade do fluxo interno ocorre quando se combina uma entrada de ar pequena com uma grande saída de ar; ocasionando o chamado como efeito Venturi (Figura 5). Como alerta o autor, para o período de verão ou para climas quentes, a segunda configuração de aberturas é mais eficaz. Isso se deve à importância da velocidade do vento para a quantidade de trocas térmicas entre o corpo e o meio. Assim, o tamanho das aberturas é determinante para a velocidade média e a distribuição do fluxo de ar nos ambientes.

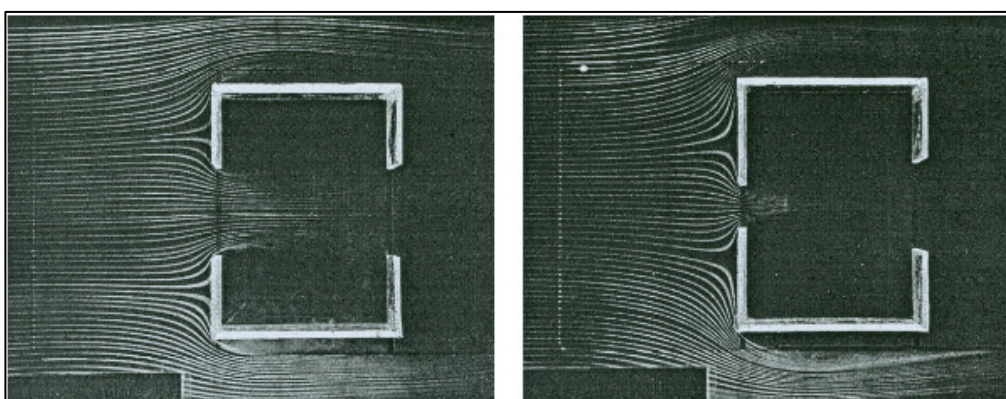


Figura 5 - À esquerda, configuração onde ocorre o maior fluxo de ar no ambiente. À direita, configuração onde ocorre a maior velocidade do fluxo de ar no ambiente. **Fonte:** Olgyay (1963: Pg.104).

Um importante estudo em termos do dimensionamento das aberturas em edificações foi feito por Toledo (2001). O autor realizou um levantamento dos dimensionamentos de janelas expressos nos Códigos de Obras e Edificações brasileiros, identificando os critérios utilizados para o dimensionamento das aberturas para ventilação natural dos edifícios não são os mais adequados; já que se baseiam somente na fração de área de piso dos ambientes internos. Desta forma, o autor identificou que os critérios adotados pelos Códigos de Obras, estão muito mais voltados para o atendimento dos níveis mínimos de iluminação natural e renovações de ar (qualidade do ar) do que para o resfriamento passivo por meio da ventilação natural.

O posicionamento de aberturas em diferentes fachadas e paredes possibilita o aproveitamento de ventilação cruzada, produzindo gradientes de pressão em vários pontos e aumentando o potencial de aproveitamento da ventilação natural. O efeito da localização de aberturas em paredes diferentes e sob ângulos de incidência perpendiculares ou oblíquos é apresentado esquematicamente por autores como

Olgyay (1963), Givoni (1976), Evans (1980 *apud* BITTENCOURT 1993). Estas representações podem servir como para a compreensão do comportamento do fluxo de ar, bem como, para a representação gráfica de cálculos ou simulações (Figura 6).

Alguns estudos, além de considerar o posicionamento das aberturas nas fachadas, também observam a influência do posicionamento das aberturas nas faixas de altura em relação ao usuário. Desta forma, o efeito favorável da ventilação cruzada pode ser otimizado quando as aberturas da entrada encontram-se posicionadas na faixa média da parede e as aberturas de saída na faixa alta da parede. Por outro lado, os efeitos da ventilação cruzada podem ser prejudicados quando ambas as aberturas se encontram na faixa alta da parede (BITTENCOURT e LÔBO, 1999). A Figura 7 representa o estudo realizado por Bittencourt e Lôbo (1999) para edificações escolares, onde o tamanho das aberturas e a velocidade do vento são combinadas com diferentes posicionamentos das aberturas nas faixas baixa, média e alta; visando identificar a influência destas variáveis no comportamento da ventilação natural.

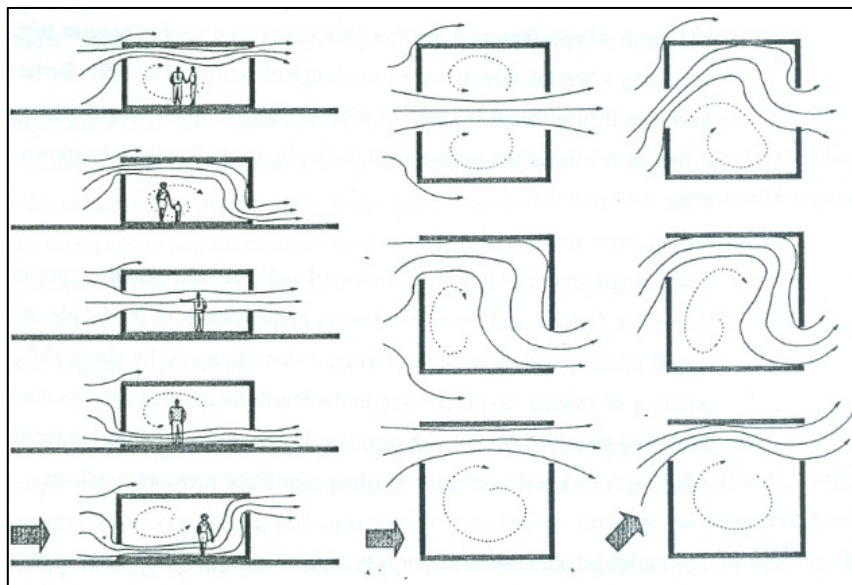


Figura 6 - Efeitos do posicionamento das aberturas sob o fluxo de ar. **Fonte:** Bittencourt (1993: Pg. 144).

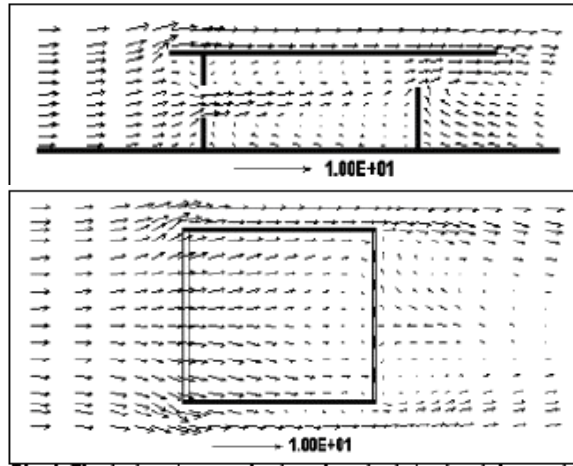


Figura 7 - Análise da influência do posicionamento e tamanho das aberturas com auxílio do programa PHOENICS. Na imagem superior a melhor combinação encontrada (entrada na faixa média – saída na faixa alta, com tamanho de abertura 1/5 do piso). **Fonte:** Bittencourt e Lôbo (1999, pg. 3- 4)

O estudo realizado por Drach (2007), por exemplo, avalia as alterações na direção e distribuição do campo de vento em ambientes internos, a partir da alteração do tamanho e posicionamento de aberturas (Figura 8). Para tanto, a autora utilizou um exemplo de projeto de habitação popular. A autora também avalia a influência do formato e textura de paredes no campo do vento, visando melhorias nos aspectos da velocidade e distribuição interna do fluxo de ar (Figura 9).

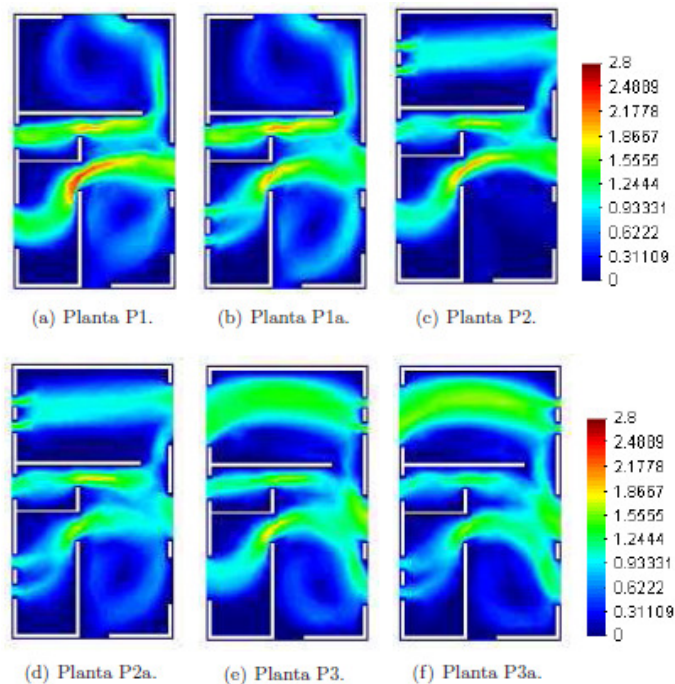


Figura 8 – Avaliação das alterações no campo do vento para diferentes posicionamentos e tamanhos de abertura. **Fonte:** Drach (2007: Pg. 88).

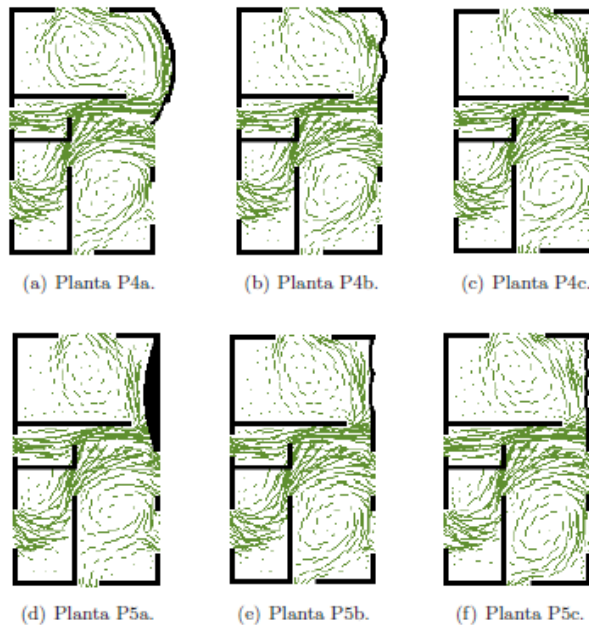


Figura 9 – Avaliação da velocidade do campo de vento a partir de alterações na forma de paredes.
 Fonte: Drach (2007: Pg. 87).

Com relação à forma das aberturas, estudos de Sobin (1981 *apud* ALLARD et al., 2002) apontam a influência de três tipos de aberturas (quadrada, vertical, e horizontal) na velocidade do vento no interior dos ambientes, em relação ao ângulo de incidência do vento na fachada onde está localizada a abertura de entrada. O mesmo estudo também foi realizado tendo em vista o efeito de três configurações de protetores solares verticais. Demonstra que o formato horizontal de abertura proporciona uma porcentagem de velocidade do vento (coeficiente de velocidade – C_v) maior em relação aos demais tipos de abertura. Para a configuração de protetores verticais, a eficácia de cada um depende o ângulo de incidência dos ventos (Figura 10).

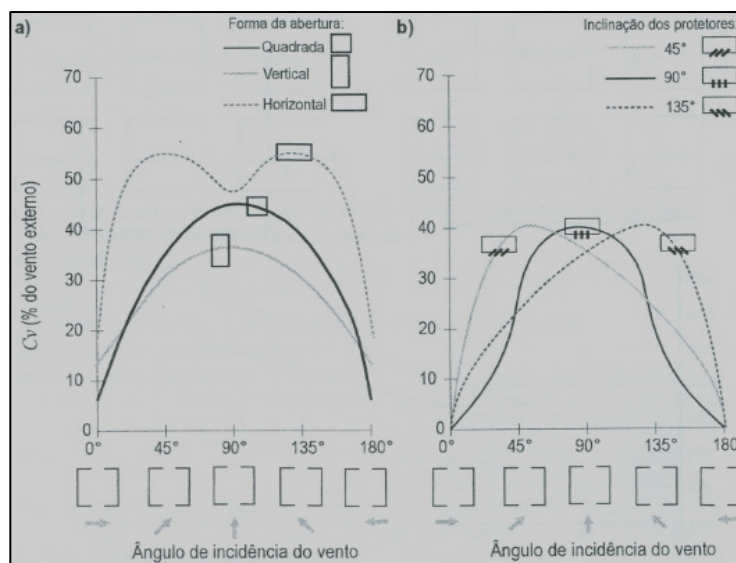


Figura 10 - Efeito da forma da abertura (a), e da configuração de protetores solares verticais (b) no rendimento da ventilação natural em função do ângulo de incidência do vento. Fonte: Bittencourt e Cândido (2008: Pg. 70)

Em termos de tipologias e configurações de esquadrias, diversos autores destacam a importância das venezianas para soluções dos aspectos ambientais e estéticos nas construções em climas quentes. Entre eles destaca-se o trabalho de Olgay (1963) em modelos de escala reduzida testados em túnel de vento. Os estudos de autor demonstram, principalmente, o papel de tipos de janelas na alteração e direcionamento do fluxo de ar nos ambientes. Assim, a possibilidade proporcionada pelas venezianas de “ajustes apropriados” para o controle dos ventos, chuvas, radiação solar direta, iluminação natural e a privacidade, torna-se um aspecto importante ao se analisar a ventilação natural em edificações (Figura 11). Assim, especificamente para este estudo, destaca-se o papel das aberturas com venezianas. Estas, além de fornecer um alto grau de porosidade à edificação e possibilitar o direcionamento do fluxo de ar de acordo com as necessidades dos usuários, são elementos característicos das edificações brasileiras (Figura 12). Como afirma Bittencourt e Cândido (2008), as venezianas já eram importantes estratégias para o aproveitamento da ventilação natural nas regiões Norte e Nordeste do Brasil na arquitetura colonial:

“[...] as construções portuguesas consideraram o controle da luz natural, da radiação solar, da chuva, e da ventilação através de elaborados projetos de janelas [...] No trecho inferior, localizavam-se as venezianas, destinadas a proteger da chuva e permitir a circulação do ar. Algumas janelas possuíam venezianas móveis, que possibilitavam o controle da intensidade da ventilação.” (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2008; pg. 09)

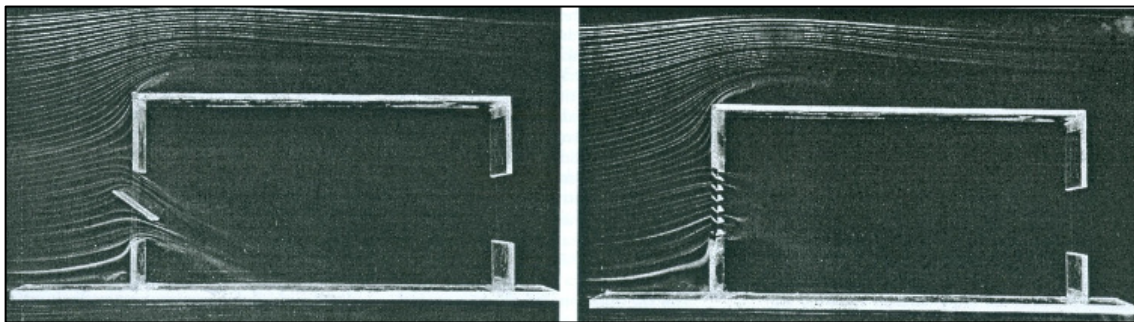


Figura 11 - Efeitos de diferentes tipos de esquadrias no fluxo de ar em edificações. **Fonte:** Olgay (1963: Pg. 110).

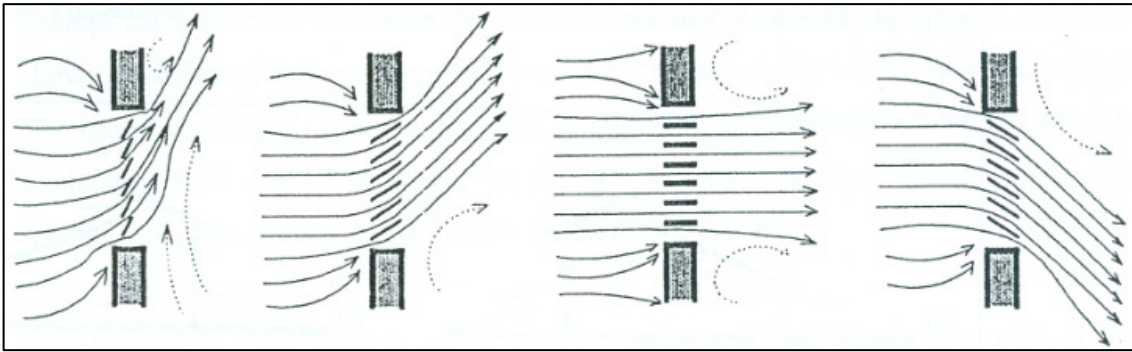


Figura 12 - Regulação e direcionamento do fluxo do vento proporcionado pelas venezianas. **Fonte:** Bittencourt (1993: Pg. 148)

Outros elementos também podem ser utilizados para potencializar a ventilação natural na arquitetura. O peitoril ventilado, por exemplo, foi estudado por Bittencourt et al. (2007), e tido como uma alternativa com potencial de utilização por parte de projetistas já que este tipo de fechamento apresentou significativa influência sobre a velocidade e distribuição do fluxo de ar em salas de aula (Figura 13). Outro importante elemento arquitetônico em termos de ventilação natural é o captador de vento, abordado por Bittencourt e Lôbo (2001). Os autores abordam que os captadores de vento possuem, enquanto estratégia de resfriamento passivo, um grande potencial para a obtenção de níveis satisfatórios de conforto térmico em habitação populares localizadas em regiões com clima quente e úmido (Figura 14).



Figura 13 - Estudo do potencial de aproveitamento da ventilação natural por meio do peitoril ventilado para salas de aula. **Fonte:** Bittencourt et al. (2007: Pg. 222 - 223).

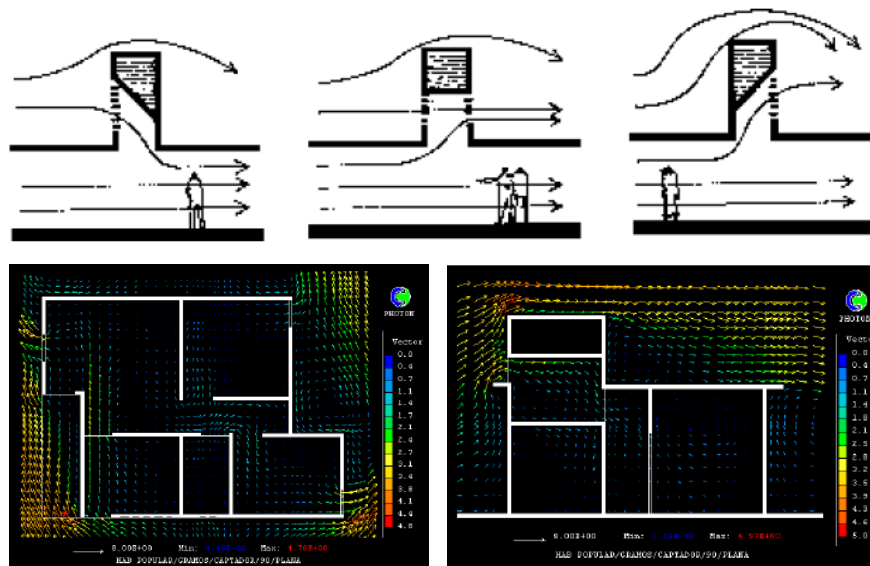
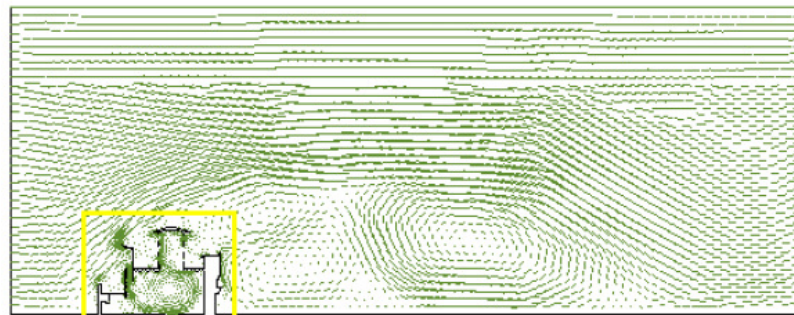
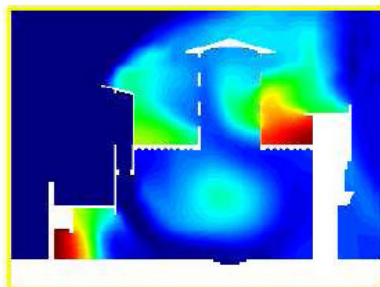


Figura 14 - Estudo do potencial de aproveitamento da ventilação natural por captadores de vento. As imagens na parte superior representam as diferentes variações de captadores de vento. As imagens na parte inferior representam (em planta e corte) as simulações feitas no programa PHOENICS. **Fonte:** Lôbo e Bittencourt (2001: Pg. 2-5).

Os captadores e torres de vento também foram elementos arquitetônicos estudados por Drach (2007). O exemplo clássico dos *malqaf's*, utilizados no Egito, foi objeto de simulações computacionais visando identificar o comportamento da ventilação natural e transporte de calor no projeto do Qã'a de Muhib AdDin Ash-Shãfi Al-Muwaqqi, da cidade do Cairo. A pesquisadora também propõe modelos que buscam possíveis melhorias neste sistema de climatização (Figura 15).



(a) Campos de velocidades - global.



(b) Isofaixas de temperatura - local.



(c) Campos de velocidades - local.

Figura 15 – Estudo de ventilação natural tendo como exemplo os *malqaf's*. Simulação realizada no projeto Qã'a, localizado na cidade do Cairo. **Fonte:** Drach (2007: pg.115)

Além das características das aberturas, elementos verticais e horizontais também devem ser observados. Os elementos verticais podem ser formados por prolongamentos e extensões de paredes internas, protetores solares verticais, entre outros. Para estes elementos, o efeito do vento pode ser potencializado por meio do aumento da diferença de pressão entre as superfícies a sotavento e as superfícies a barlavento. Este efeito depende do tamanho e localização dos elementos verticais em relação ao ângulo de incidência do fluxo de ar (OLGYAY, 1963). Já os elementos horizontais podem ser marquises, beirais, protetores solares horizontais. Estes elementos proporcionam um efeito positivo em edificações térreas quando redirecionam uma porção do fluxo de ar para dentro dos ambientes. No entanto, para edificações altas este efeito pode acarretar no aumento excessivo do fluxo de ar, gerando transtornos ao usuário. Estudos realizados por Aynsley *et al.* (1977), demonstram os efeitos combinados dos elementos verticais e horizontais no coeficiente de velocidade do vento (Cv). Tal estudo apresenta a efetividade dos elementos para ângulos de incidência do vento entre 0° e 45° (Figura 16).

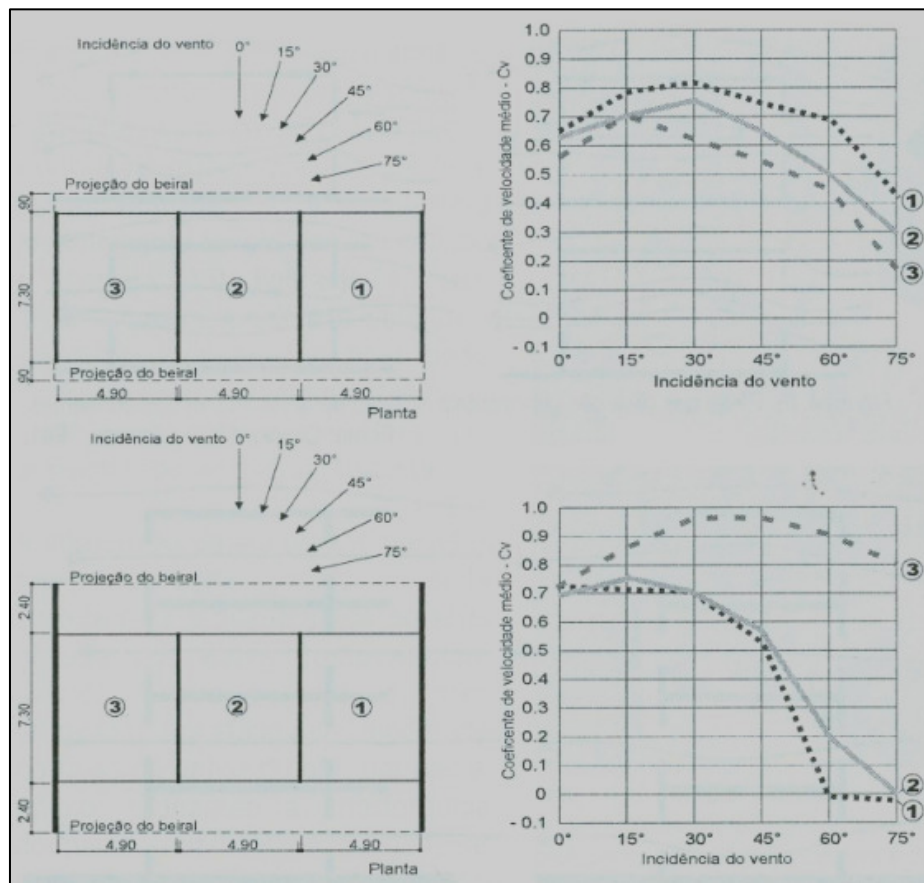


Figura 16 - Efeitos combinados dos elementos verticais e horizontais na velocidade do vento. **Fonte:** Bittencourt e Cândido (2008: Pg. 80).

Todas as características construtivas abordadas até o momento estão relacionadas, principalmente, com o aproveitamento da ventilação natural para o

conforto térmico dos usuários do espaço interno. Isto se deve ao fato da movimentação do ar possuir efeito direto nas trocas térmicas do corpo humano e o meio. Tal efeito pode ampliar a zona de conforto térmico nas regiões quentes e úmidas, onde a amplitude térmica diária é baixa. O aumento da velocidade do ar influi na taxa de evaporação do suor do corpo humano, aumentando a sensação de resfriamento. De acordo com Aynsley (1999) existe um efeito de resfriamento de 3,7 °C para cada metro por segundo acrescentado no fluxo de ar. Mesmo havendo estudos que limitam as velocidades do ar no espaço interno entre 0,5 m/s e 2,5 m/s, como citado no trabalho de Bittencourt e Cândido (2008), tendo em vista transtornos aos usuários como, por exemplo, o vôo de papéis; autores como Humphreys et al. (2002) e Nicol et al. (1999) consideram a compensação dessas desvantagens pela capacidade de resfriamento da ventilação natural.

Como observado, o potencial de resfriamento da ventilação natural desempenha um papel importante para manter níveis aceitáveis de conforto térmico. As aberturas (janelas, portas, etc.) configuram-se como aspectos fundamentais para o comportamento do fluxo de ar no espaço interna. Com isso, influem diretamente no potencial de resfriamento visando o conforto térmico. Desta forma, os métodos de cálculos para a estimativa do comportamento da ventilação natural representam tanto uma ferramenta de análise das ações projetuais (identificando a influência dos elementos projetados) quando um diagnóstico do potencial dos níveis de conforto térmico a serem proporcionados. Tais métodos serão abordados no tópico a seguir.

2.3. Simulações CFD, Medições *in loco* e Aplicação de Questionários para a Avaliação de Espaços Naturalmente Ventilados.

As técnicas de medição da ventilação natural são mais complexas em relação à ventilação artificial. As técnicas podem variar, dependendo do grau de precisão e necessidade, de medições utilizando anemômetros (mais simples); túneis de vento; uso de mesas d'água; simulações computacionais; até medições utilizando o monitoramento e análise de concentração de gás traçador (MATOS, 2007). No entanto, autores como Allard (2002), Bittencourt e Lobô (1999), Roméro (2009) e Romero (2007) e (2011), demonstram que as simulações computacionais, medições das variáveis climáticas no local, e a opinião dos usuários da edificação são importantes métodos de análise de conforto térmico proporcionado pela ventilação natural. Estes métodos serão apresentados a seguir visando a melhor compreensão do conteúdo exposto no Capítulo 3.

2.3.1. Simulação Computacional de Dinâmica dos Fluidos - CFD.

Allard (2002) aborda que tendo como base o nível de complexidade do modelo, quatro abordagens diferentes se destacam na descrição do fluxo de ar no interior de edificações ventiladas naturalmente: modelos empíricos; modelos de rede; modelos de zonas; e modelos CFD. No entanto, a mais de uma década, os programas computacionais de dinâmica dos fluidos – CFD tem sido uma das principais ferramentas para a avaliação da eficiência da ventilação natural em edificações. As descrições matemáticas do comportamento dos fluidos ganharam importância no século XIX, com as equações desenvolvidas por Claude Navier (1822), Simeon Poisson (1839) e de George Stokes (1845). A partir do desenvolvimento computacional da década de 1950, surgiu a possibilidade de solucionar as equações de Navier-Stokes de forma numérica. Até então, em decorrência da complexidade de solucionar as equações diferenciais parciais, estas equações possuíam soluções analíticas, e para um número restrito de casos (FORTUNA, 2000).

Atualmente, em decorrência do intenso desenvolvimento tecnológico de *softwares* e computadores, as simulações realizadas nos programas CFD fornecem com alto grau de acuidade os dados relativos à eficiência do fluxo de ar; ideais para que o projetista obtenha êxito no uso do condicionamento passivo por ventilação natural. Além da maior precisão nos resultados, os programas CFD proporcionam também maior rapidez na construção de modelos/cenários (em relação à construção de modelos físicos em escala reduzida); simulação das diversas características do vento; e obtenção de resultados já detalhados na forma de tabelas, gráficos e imagens em relação aos demais métodos de cálculo da ventilação natural (CLARKE et al. 1997).

Estes programas são baseados na resolução das equações de Navier-Stokes (equações de conservação de massa, momento e energia), para resolver os problemas da dinâmica dos fluidos e transferência de calor de forma interativa. Assim, possibilitam a determinação dos campos de temperatura e velocidade interna do ar, além do campo de pressão no exterior das edificações. Apesar dos programas CFD considerarem a influência do entorno nas trocas térmicas de fluxo e simularem os efeitos de turbulência do ar nos resultados, é necessário ressaltar que existem também limites para sua acuidade. Isso se deve ao fato de que a turbulência, um dos mais importantes aspectos da ventilação natural, ainda é um fenômeno não completamente conhecido (MASSEY e SMITH, 2006).

No entanto, apesar de algumas incongruências, entre as medições físicas e a predição por meio do CFD, fica clara a qualidade das simulações para a análise do fluxo de ar. A qualidade dos resultados dos modelos CFD também depende da precisão dos dados de entrada, a definição detalhada das condições de contorno, além das habilidades de simulação e experiência do usuário do *software*. Por fim, o

detalhamento do modelo inserido no programa e a definição do “grid” ou “malhas” de análise, também influenciam na obtenção dos resultados.

Quanto as facilidades dos modelos CFD, além da maior precisão nos resultados em relação aos demais modelos apresentados, Clarke et al. (1997) destacam ainda a maior facilidade de: construção do modelo (em relação ao modelo físico); simulação das características do vento; e obtenção dos resultados já detalhados na forma de tabelas, gráficos e imagens. Os programas CFD aplicados no estudo do espaço construído auxiliam tanto na análise do espaço interno, na escala da edificação, quanto na análise dos espaços urbanos. Por exemplo, Souza (2006) estudou a influência da mudança na ocupação do solo urbano na cidade de Goiânia na ventilação natural, utilizando o programa MicroFlo (Figura 17).

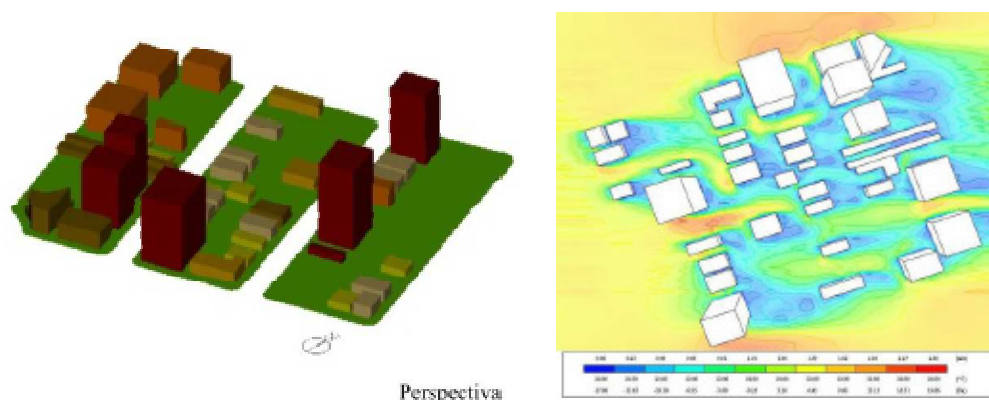


Figura 17 – Análise da ventilação natural na escala urbana. Fonte: adaptado de Souza (2006: Pg. 91 e 92)

Neste trabalho foi utilizado o programa CFX 12.0 que compõe o pacote ANSYS *Workbench*, desenvolvido pela AEA *Technology – Engineering Software*. Atualmente o ANSYS é um dos *softwares* mais eficazes de dinâmica dos fluidos computacional para a solução de problemas relacionados ao escoamento de fluidos (SILVA, 2011). Além disso, possibilita a utilização de outros programas para a desenvolvimento das simulações (AutoCAD e SolidWorks), fato que torna o processo de construção de modelos mais amigável. A Figura 14 exemplifica a aplicação do programa ANSYS/Workbench para estudo do comportamento da ventilação no entorno de um edifício isolado.

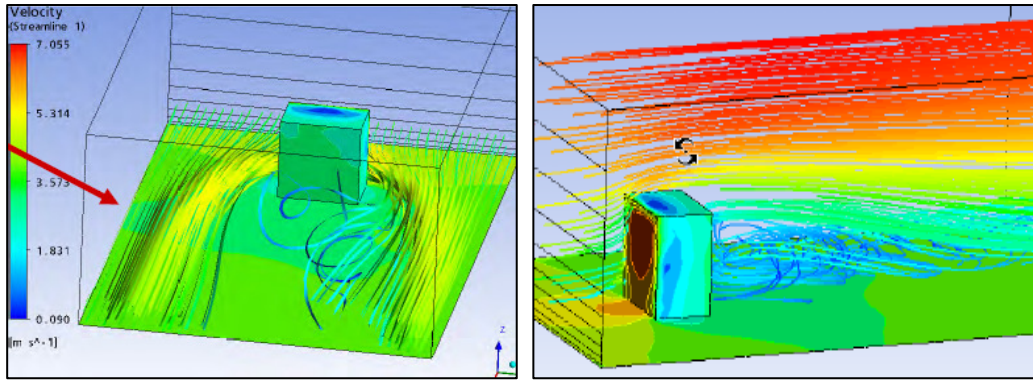


Figura 18 - Estudo do comportamento do vento em um edifício isolado em programa CFD.
Fonte: Queiroz (2008: Pg. 53)

A lógica operacional do programa CFX 12.0 do ANSYS, e está baseada em três componentes: pré-processador, processador e pós-processador. Para desenvolvimento de modelos no programa é necessário identificar a região espacial onde se deseja definir as variáveis de pressão, velocidade, temperatura, vazão, etc.; que representará o chamado “domínio” do problema (SILVA, 2011). Informação quanto a rotina de simulações em CFD, presentes no trabalho de Cóstola e Alucci (2011), recomendam que a extensão do domínio deve possuir em média 10 vezes a altura do edifício em todas as direções, e a altura do domínio deve ter 5 vezes a altura do objeto em análise. Os autores também mencionam as formas retangular e circular como as mais adequadas para as simulações CFD (Figura 15).

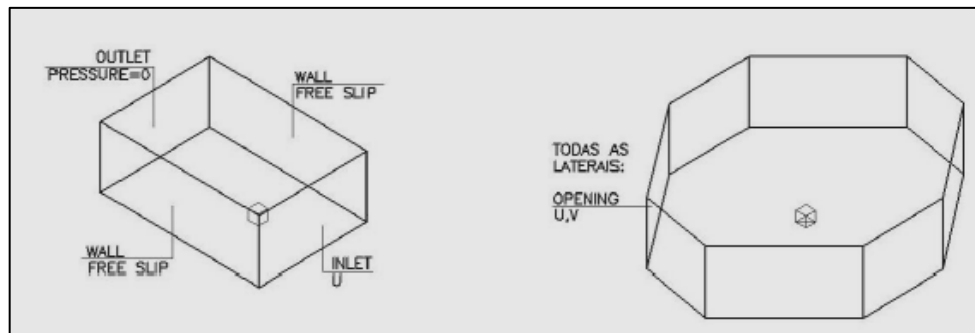


Figura 19 - Dois exemplos de formato de domínio (retangular e circular). **Fonte:** Cóstola e Alucci (2011: Pg. 149).

Nas simulações em programas CFD, o volume de ar imediatamente ao redor do objeto/edifício deve ser subdividido em volumes menores, ou seja, está área é “refinada” para os cálculos das equações de conservação. Assim, os cálculos das equações de conservação são realizados em todo o domínio; mas na área refinada (área de interesse) apresenta maior informação. A subdivisão forma o que se denomina de “malha”. De forma geral, as malhas podem ser estruturadas, onde apresentam distribuição regular, e não-estruturadas, onde apresentam distribuição

não regular, (Figura 16). Para o programa ANSYS, existem quatro tipos de elementos para a composição da malha: tetraedros, pirâmides, prismas, e hexaedros (Figura 17). A variação do tipo de elemento que compõe a malha está relacionada com a complexidade do objeto, o grau de refinamento necessário para melhor representar a situação ideal (condições de contorno).

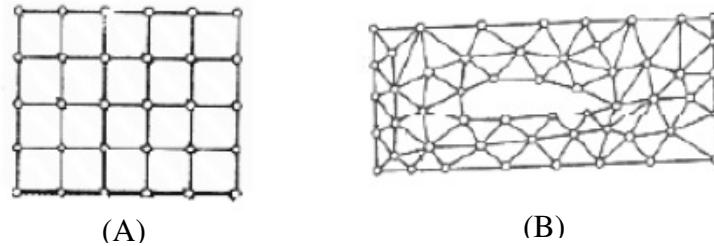


Figura 20 - Exemplo de malha estruturada (A); e exemplo de malha não-estruturada (B). **Fonte:** Silva (2011: Pg. 50)

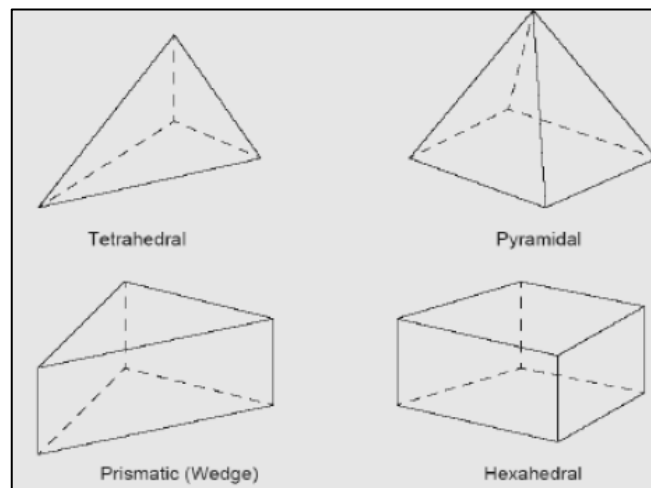


Figura 21 - Tipos de elementos volumétricos que podem compor a malha. **Fonte:** Silva (2011: Pg. 51)

Por fim, o grau de refinamento da malha determina a qualidade dos resultados obtidos e o tempo de duração das simulações; ou seja, quanto mais refinada é a malha, mais precisos serão os resultados e maior será o tempo de processamento da simulação (Figura 22). O modelo, o domínio e a malha podem ser gerados em programas CAD, como o SolidWorks, e importados para o pré-processador do ANSYS. Nesta etapa também são determinadas as condições iniciais e de contorno, indicando o fenômeno a ser estudado (físico ou químico); as propriedades físicas do fluido de trabalho; as características do escoamento (rugosidade, temperatura e pressão) e demais variáveis.

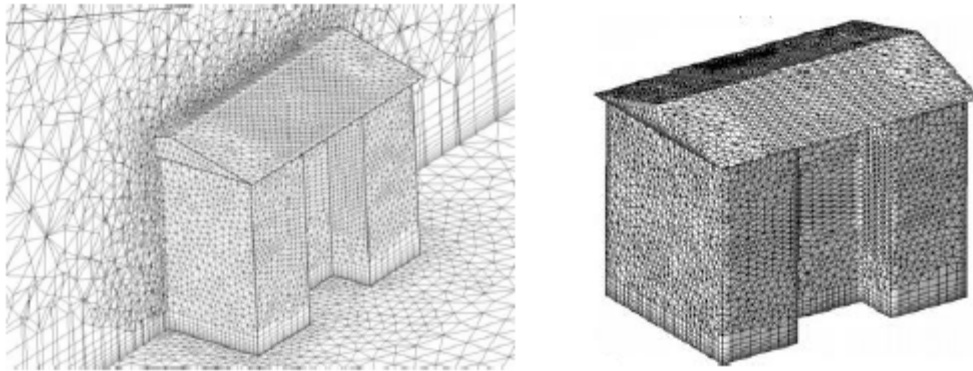


Figura 22 - Exemplo da malha de uma edificação após o refinamento. **Fonte:** Cóstola e Alucci (2011: Pg. 147).

Após esta etapa os dados são transferidos para o processador, que irá solucionar o problema com base nas condições iniciais e de contorno estipuladas. Os dados encontrados pelo processador são enviados ao pós-processador para a visualização gráfica do escoamento do fluido e de variáveis que se deseja visualizar individualmente (pressão, vazão, temperatura, etc.). As possibilidades de visualização individualizada das variáveis relativas ao escoamento do fluxo de ar, bem como a qualidade das imagens, são pontos importantes do programa CFX. Estas funções do programa auxiliam na identificação de problemas, possibilidades e proposição de soluções em termos aproveitamento da ventilação natural. Estas características do programa foram determinantes para a sua escolha para o desenvolvimento deste estudo.

2.3.2. *Medições in loco e Aplicação de Questionários.*

As medições de parâmetros físicos para análise de conforto térmico encontram padrões e orientações na norma internacional ISO/DIS 7726/96 que trata de “Ambientes térmicos – instrumentos e métodos de medição dos parâmetros físicos”. Para efeito deste estudo, os procedimentos de medição *in loco* expressos nesta norma foram observados no trabalho de Lamberts e Xavier (2002); que além esclarecer alguns pontos da norma também fazem menção a outras no sentido de complementação e melhor aplicação.

Desta forma, Lamberts e Xavier (2002), dentre outros pontos, abordam as variáveis básicas a serem medidas quando se pretende realizar este tipo de medição, são elas: temperatura do ar expressa em Kelvins ou em Celsius; temperatura radiante média expressa em Kelvins ou em Celsius; umidade absoluta do ar expressa em kilopascals; velocidade do ar expressa em metros por segundo; e temperatura superficial expressa Kelvins ou Celsius. Da mesma forma, os autores especificam os equipamentos para a realização das medições e especificações técnicas.

Para efeito deste estudo, foram utilizados os seguintes equipamentos nas medições realizadas *in loco*: termo-higrômetro para as medições de temperatura e umidade do ar; e anemômetro para as medições de velocidade do vento. Neste trabalho também se buscou cumprir com as especificações da norma em relação ao posicionamento dos equipamentos de medição nos ambientes e demais precauções por parte do pesquisador que realiza as medições.

Para a aplicação dos questionários aos funcionários da edificação foram adotados os princípios expostos por Roméro e Ornstein (2003) em relação à forma de aplicação e cuidados devidos por parte do pesquisador, como por exemplo, o universo amostral. O modelo de questionário aplicado varia conforme as necessidades de identificação de problemas advindos dos equipamentos da edificação (mobiliário, condicionamento artificial, etc.); variam também em relação a abordagem que se pretende fazer no edifício (consumo energético, conforto ambiental, etc.). Neste estudo foi utilizado com base para o questionário as tabelas das normas ISO 9920 e ISO 10551 relativas à avaliação de conforto e aceitabilidade térmica, presente no trabalho de Lamberts e Xavier (2002).

A aplicação dos questionários e medições *in loco*, juntamente com as simulações computacionais e embasamento teórico contribuíram na avaliação das condições de conforto térmico proporcionada pela ventilação natural e aspectos do fluxo de ar no interior do estudo de caso. Desta forma, após as breves considerações sobre as ferramentas de análise utilizadas, o próximo Capítulo irá tratar da descrição detalhada dos métodos utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa.

CAPÍTULO 3: ANÁLISE DA VENTILAÇÃO NATURAL E IDENTIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TAMANHO DAS ABERTURAS NO FLUXO DE AR NO ESTUDO DE CASO

Este capítulo abordará os métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho. Será abordado: a escolha da edificação utilizada como estudo de caso; a coleta dos dados que subsidiaram as simulações computacionais; e a construção dos modelos para a análise da influência do tamanho das aberturas no comportamento da ventilação natural.

3.1. Análise das Características Estudo de Caso

3.1.1. Levantamento dos aspectos climáticos locais

Buscou-se utilizar um exemplo real como base para a identificação da influência do tamanho das aberturas no comportamento da ventilação natural. Desta forma, tal edificação necessitaria utilizar a ventilação natural como principal estratégia de resfriamento passivo dos ambientes internos. Tendo em vista os objetivos estabelecidos, a edificação utilizada como estudo de caso representaria o modelo real nas simulações computacionais, servindo de base para o estabelecimento dos outros modelos onde ocorreria a variação da área de abertura e, conseqüentemente, a alteração no comportamento do fluxo de ar.

A partir de então, além da utilização da ventilação natural, outros critérios foram estabelecidos para a escolha da edificação, tais como: a disponibilidade de dados climáticos da cidade onde está localizada; a facilidade de acesso físico; e o interesse e disponibilidade dos usuários como facilitadores da pesquisa. Assim, foi escolhida a Secretaria de Cultura da cidade de Bragança – PA (Figuras 23 e 24) por melhor atender os critérios estabelecidos.

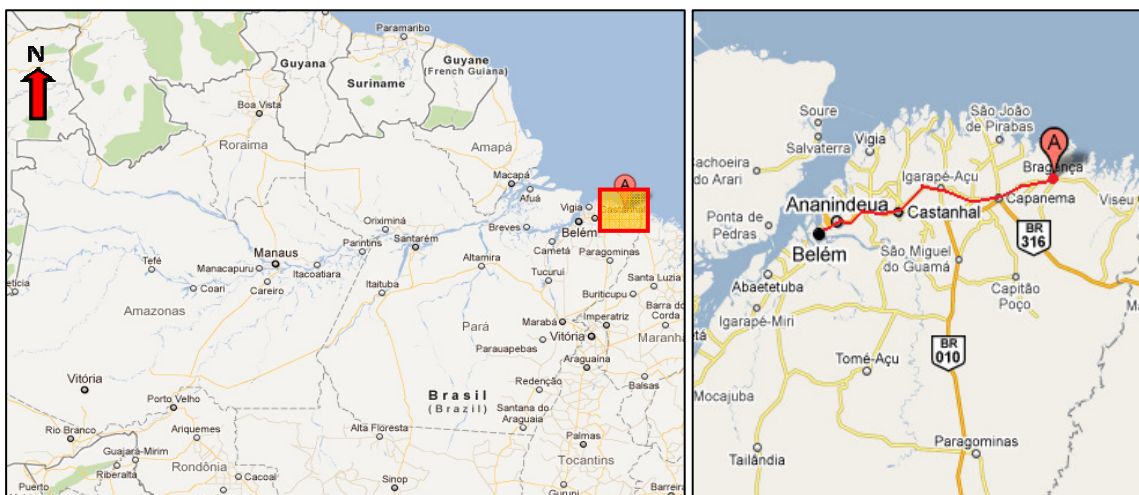


Figura 23 - Localização da cidade de Bragança ao nordeste do estado do Pará. Fonte: Google Maps (acesso em 15/10/2011).



Figura 24 - À esquerda, imagem aérea da cidade as margens do Rio Caeté. À direita o edifício da Secretaria de Cultura.

A cidade de Bragança se localiza no nordeste do estado do Pará, a uma distância de 300 km da capital Belém. A cidade foi o primeiro pólo de ocupação européia da Amazônia, tendo suas terras ocupadas em 1613. Atualmente a cidade concentra uma população de cerca de 114.000 habitantes. Está situada a 36 metros acima do nível do mar, com latitude de 01°04`S e longitude de 46°54`O. Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, planilhas de medição dos anos de 1991 a 1999, o clima local apresenta média anual de temperatura do ar de 23,9°C; umidade relativa de 88%; e velocidade média do vento de 3,04 m/s (com predominância Leste e Nordeste). Os Gráficos 1, 2 e 3 exemplificam a ocorrência anual de temperatura e umidade do ar, tendo como referência o ano de 1991, e de velocidade dos ventos, tendo como referência o ano de 1994.

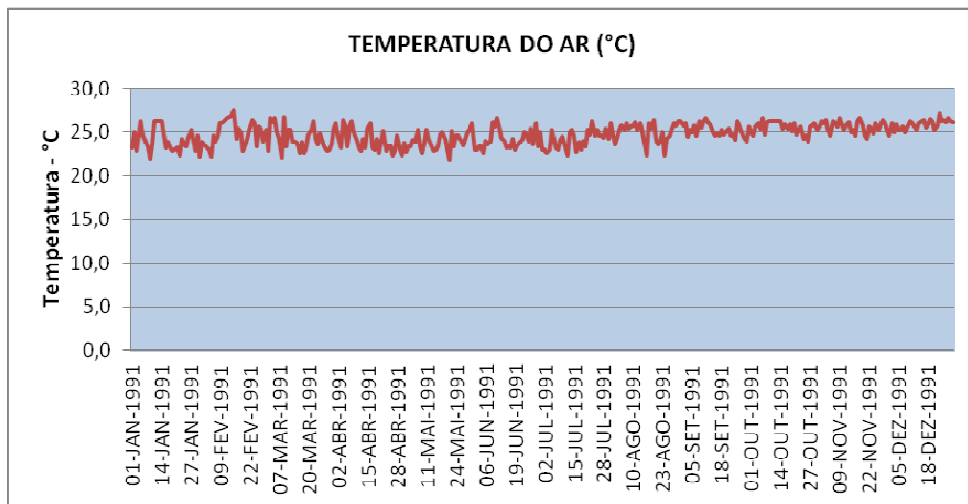


Gráfico 1 - Dados exemplificando as variações da temperatura do ar ao longo de um ano (Jan/1991 – Dez/1991). Fonte: adaptado do INMET.

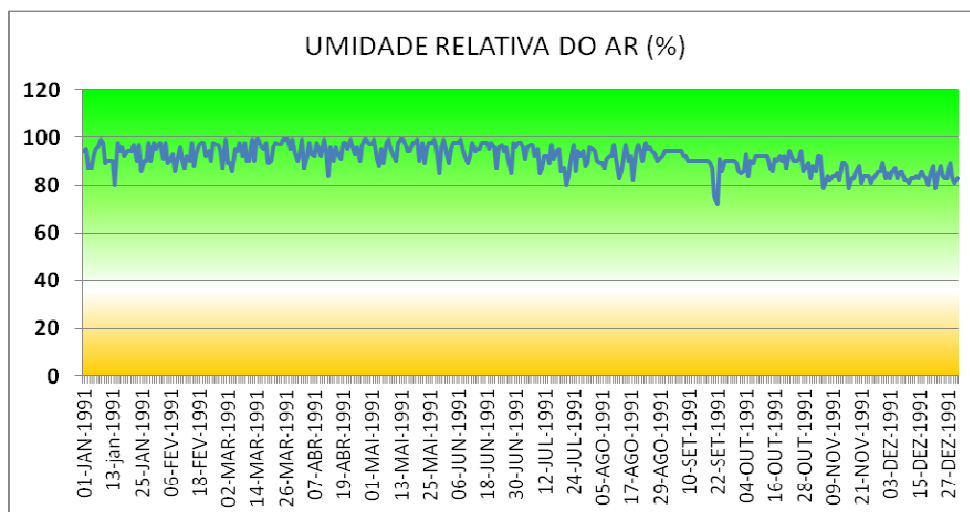


Gráfico 2 - Dados exemplificando a variação da umidade relativa do ar ao longo de um ano (Jan/1991 – Dez/1991). Fonte: adaptado do INMET.

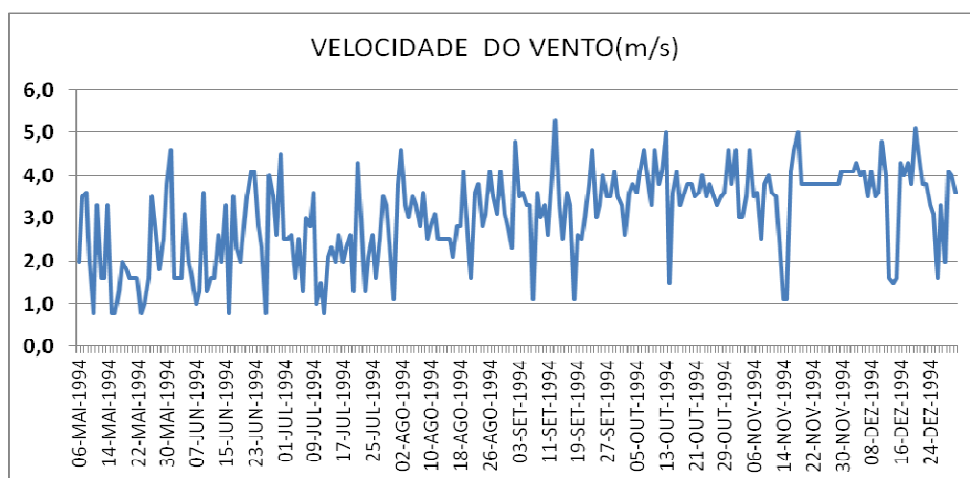


Gráfico 3 - Dados exemplificando a variação da velocidade do vento ao longo de um ano (Jan/1994 – Dez/1994). Fonte: adaptado do INMET.

3.1.2. Levantamento dos aspectos da configuração urbana e entorno

Após o levantamento dos dados climáticos, teve início a análise da configuração urbana da cidade e do entorno da edificação, visando à percepção dos elementos que influenciam na ventilação natural. Foram observadas, principalmente, as características da malha urbana referentes à massa edificada e os elementos que poderiam interferir ou maximizar os efeitos da ventilação.

De forma geral, a cidade ainda preserva edificações históricas e o traçado original das ruas nos bairros mais antigos (Figura 25). As principais características observadas foram:

- A massa edificada apresenta altura média de dois pavimentos, favorecendo a circulação do vento que vem do rio em direção ao centro da cidade;
- O relevo da cidade apresenta declividade de aproximadamente 12m de altura do local onde está o estudo de caso, em relação às margens do rio (ponto mais baixo da cidade), como destacado nas Figuras 26 e 27;
- Os arruamentos possuem traçado retilíneo, em geral, com largura média de 8 metros, aproximadamente;
- A cidade ainda preserva grandes áreas verdes com vegetação típica da região; grande número de praças; áreas livres sem edificações;
- Os materiais superficiais das áreas construídas são, principalmente, constituídos de asfalto, concreto e pavimentos cimentados.



Figura 25 - Imagens da característica urbana da cidade de Bragança.



Figura 26 - Mapa da cidade de Bragança. Em vermelho o trecho onde está localizado estudo de caso destacado na Figura 27. Fonte: adaptado do GoogleMaps.

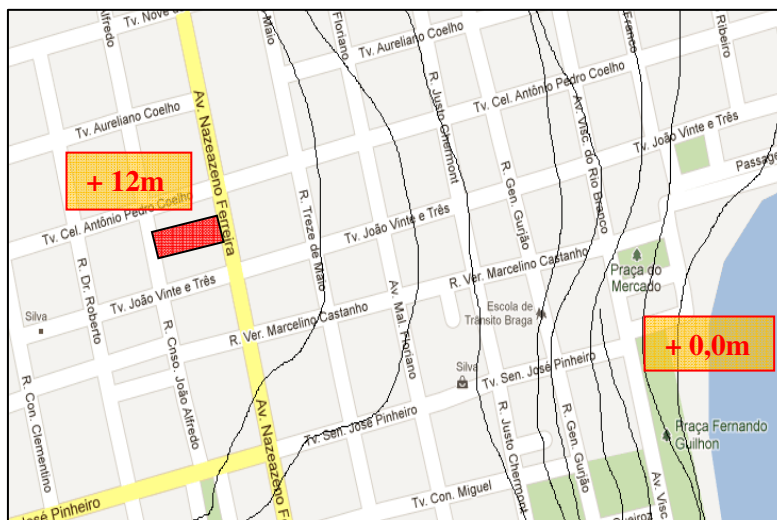


Figura 27 - Trecho representando as curvas de nível entre às margens do rio (altura 0,0m) e o local onde está localizada a edificação (altura +12m) representada pelo retângulo vermelho. Fonte: Adaptado do GoogleMaps.

Foram levantadas, também, as dimensões e disposição das edificações presentes no entorno mais próximo do estudo de caso. Este levantamento foi importante tanto para a identificação de possíveis elementos de obstrução da incidência dos ventos quanto para a modelagem na fase de simulação computacional. Desta forma, foram feitas fotografias e medições que auxiliaram na construção destes elementos. Foi gerada a rosa dos ventos no programa Sol-Ar para a cidade de Belém; visando representar as principais direções de frequência de ocorrência dos ventos, já que o programa não possui dados para a cidade de Bragança. Pela relativa

proximidade e tendo como referência os dados do INMET, as orientações das principais freqüências de ocorrência (Leste e Nordeste) das duas cidades se assemelham. As Figuras 28 e 29 buscam representar as informações mencionadas e possibilitar a melhor compreensão do entorno e incidência dos ventos no local.

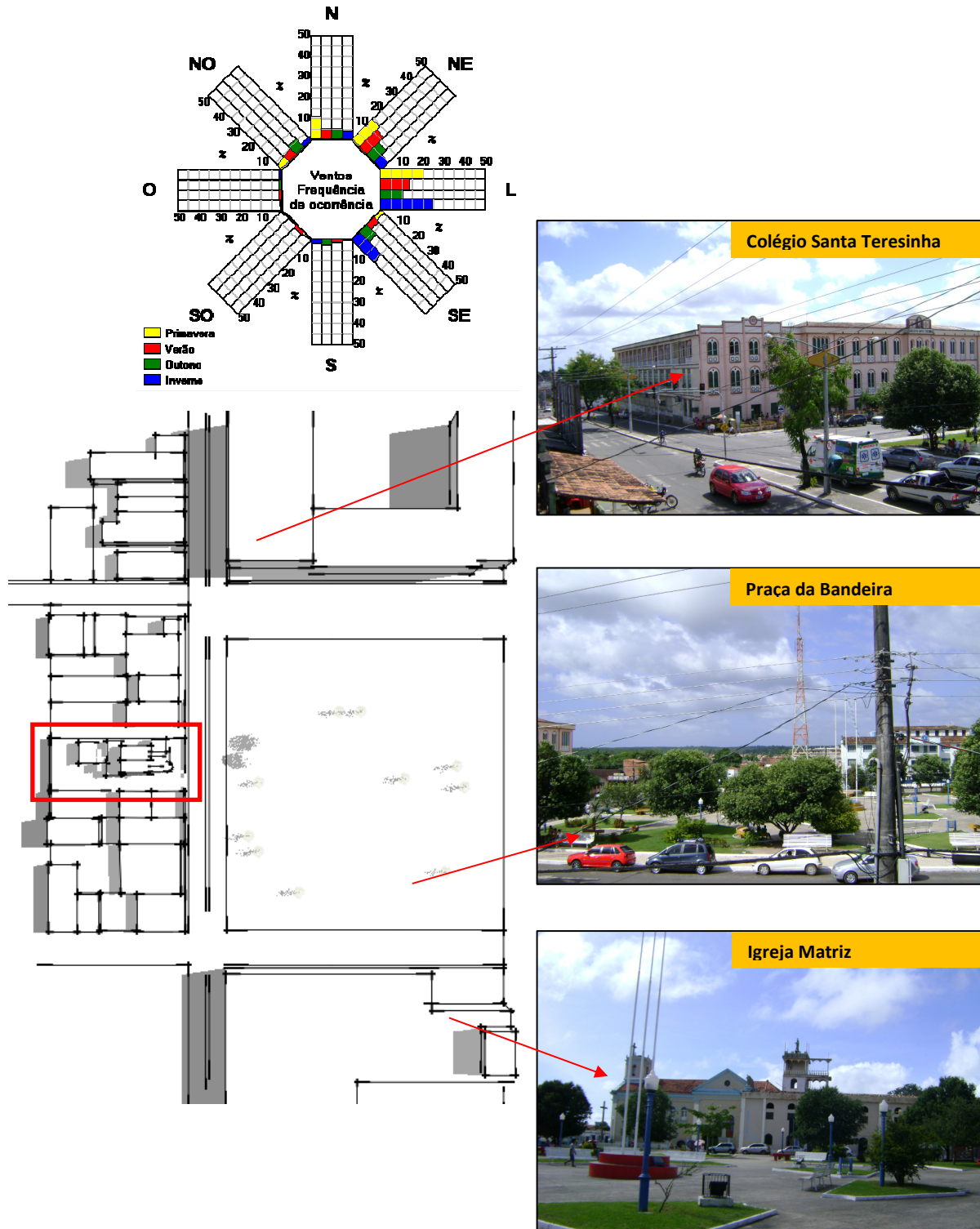


Figura 28 – Levantamento da configuração do entorno do estudo de caso. Destacado em vermelho o estudo de caso, os principais elementos presentes no entorno.

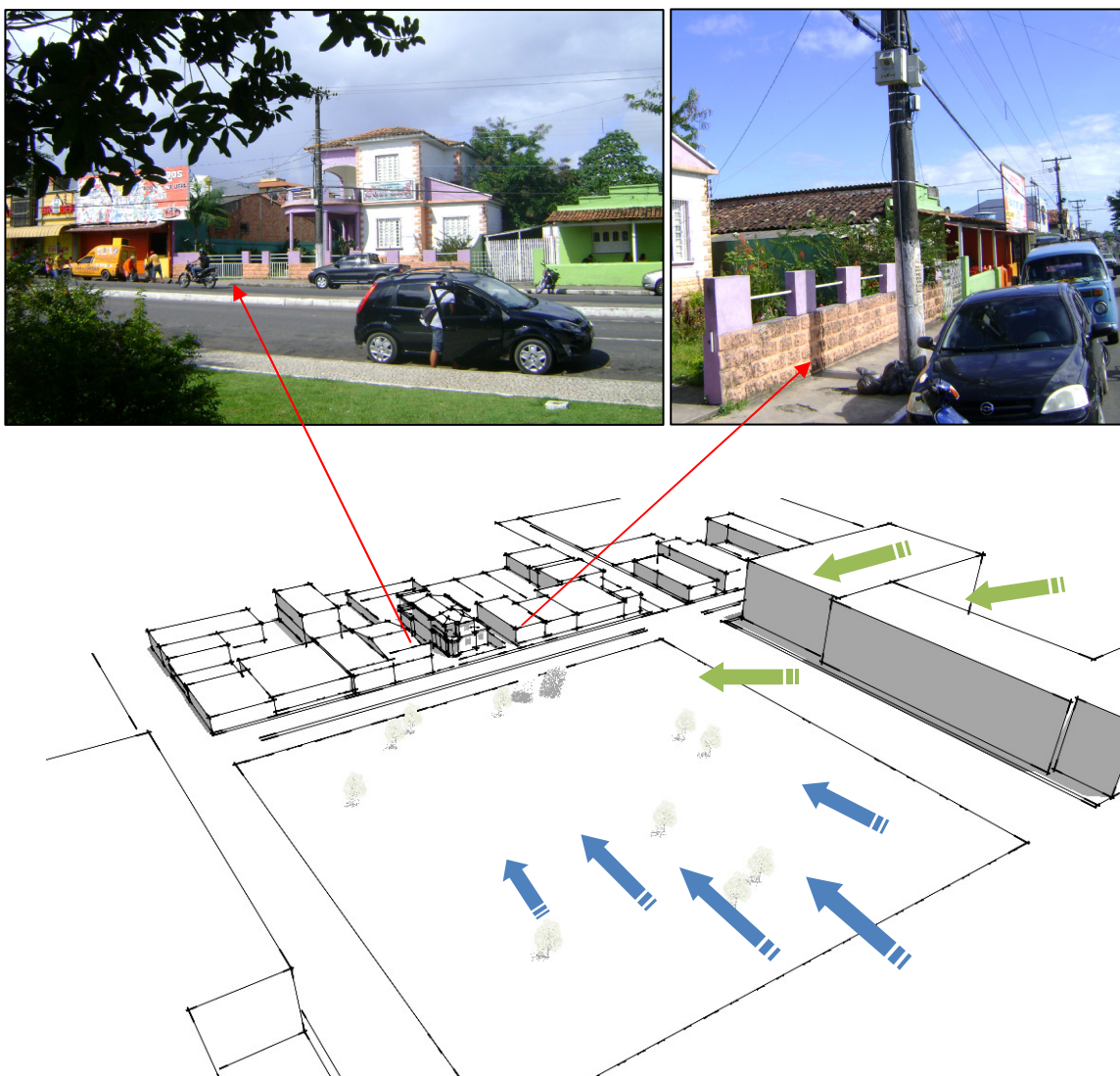


Figura 29 – As setas em azul representam a orientação da maior frequência de incidências dos ventos (Leste); e as setas em verde a orientação da segunda maior frequência de incidência dos ventos (Nordeste).

3.1.3. Levantamento dos aspectos da edificação

O edifício de Secretaria de Cultura, escolhido como estudo de caso, está localizado no centro da cidade. A edificação não possui registros precisos da data de sua construção. Segundo dados coletados junto à prefeitura municipal a edificação já estava construída no final do ano de 1920. A princípio, era utilizada como residência de personalidades ligadas a igreja católica, sendo esta, ainda hoje, a locatária da edificação. Após o breve levantamento histórico, constatou-se que não existiam qualquer tipo de planta arquitetônica ou informações quanto a eventuais reformas ou complementações de projeto. Assim, foi necessário o levantamento arquitetônico da edificação para a elaboração das plantas e cortes necessários à realização do estudo.

Analisando externamente, fica claro que a edificação passou por reformas e acréscimos na sua estrutura original, tendo em vista a mescla de estilos arquitetônicos e sua composição. Na parte frontal, os estilos colonial e eclético se misturam e as cores utilizadas na reforma mais recente da fachada dificultam a caracterizam de um estilo arquitetônico (Figura 30). Na parte dos fundos do edifício foi criado um apêndice, já nos moldes contemporâneos, onde está localizada a sala de reuniões (Figura 30).



Figura 30 - Fotos do edifício da Secretaria de Cultura da cidade de Bragança – PA.

Os materiais construtivos da edificação acompanham a mescla de estilos. Na parte mais antiga da edificação foi construída com um tipo de adobe com espessura média de 25 cm. Neste trecho da edificação foi utilizado telha de barro do tipo colonial, e o antigo forro de madeira foi trocado por forro de PVC. Na parte construída mais recente foi utilizado paredes de alvenaria, telhas de fibro-cimento com laje em concreto.

A edificação está implantada em um lote de aproximadamente 828m². Está rodeado ao norte por uma edificação térrea residencial (com afastamento de 4,45m); ao leste por uma praça com poucas árvores ou qualquer elemento que possa obstruir a incidência dos ventos; ao sul por outra edificação térrea (com afastamento de 5,30m); e ao oeste pelos fundos do lote de outra edificação residencial (Figura 31).

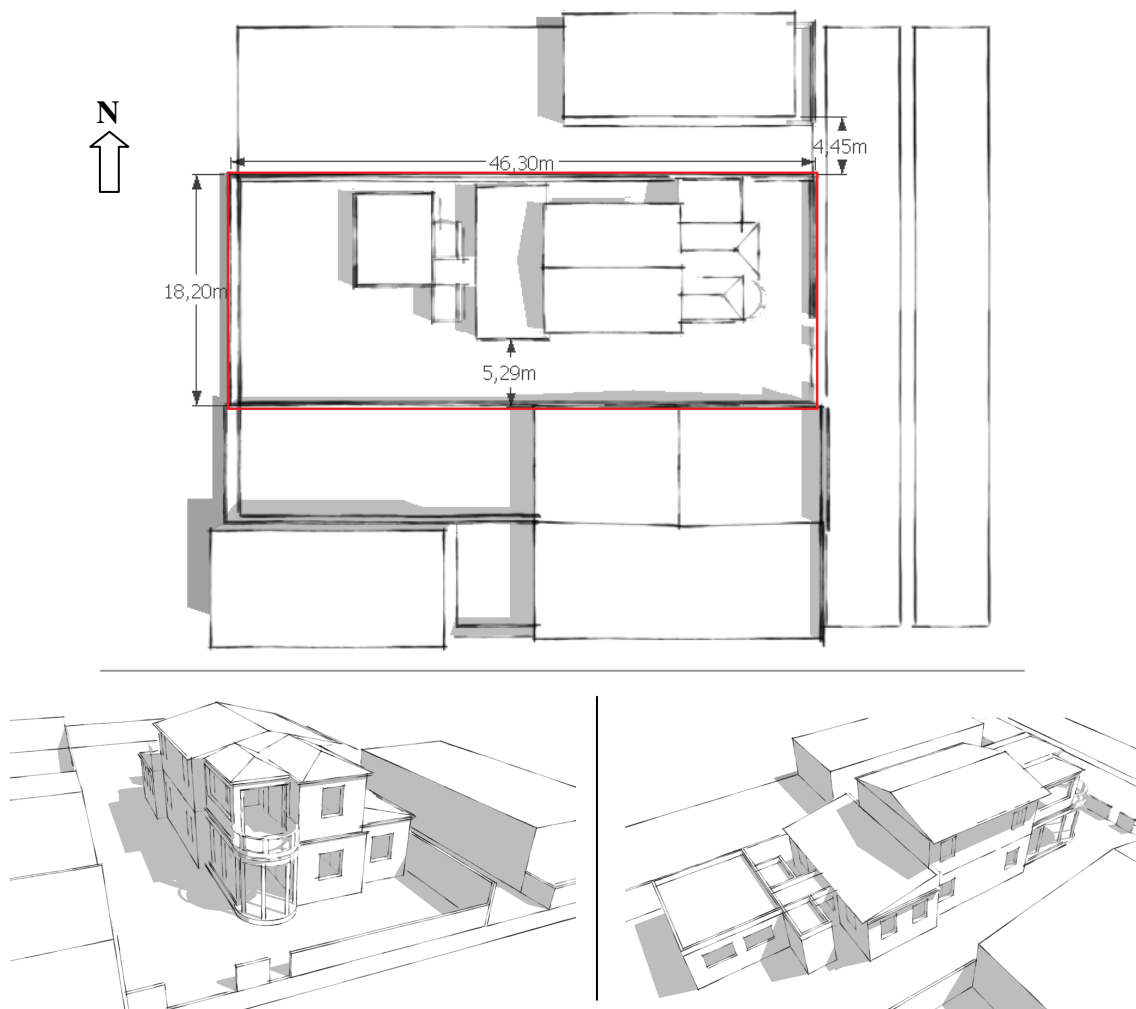


Figura 31 - Implantação e perspectivas da edificação e seu entorno.

Em termos de incidência da radiação solar, a edificação apresenta suas fachadas mais longas (maiores superfícies) orientadas no sentido Norte – Sul, e suas menores fachadas orientadas no sentido Leste – Oeste (Figura 32). Como não existem elementos no entorno que proporcionem sombreamento considerável sob o lote onde esta localizada a edificação; e a mesmo não possui elementos de proteção solar, a incidência de radiação solar nas fachadas leste e oeste é considerável. No entanto, além de serem as menores fachadas, estas superfícies possuem reduzidas áreas envidraçadas.

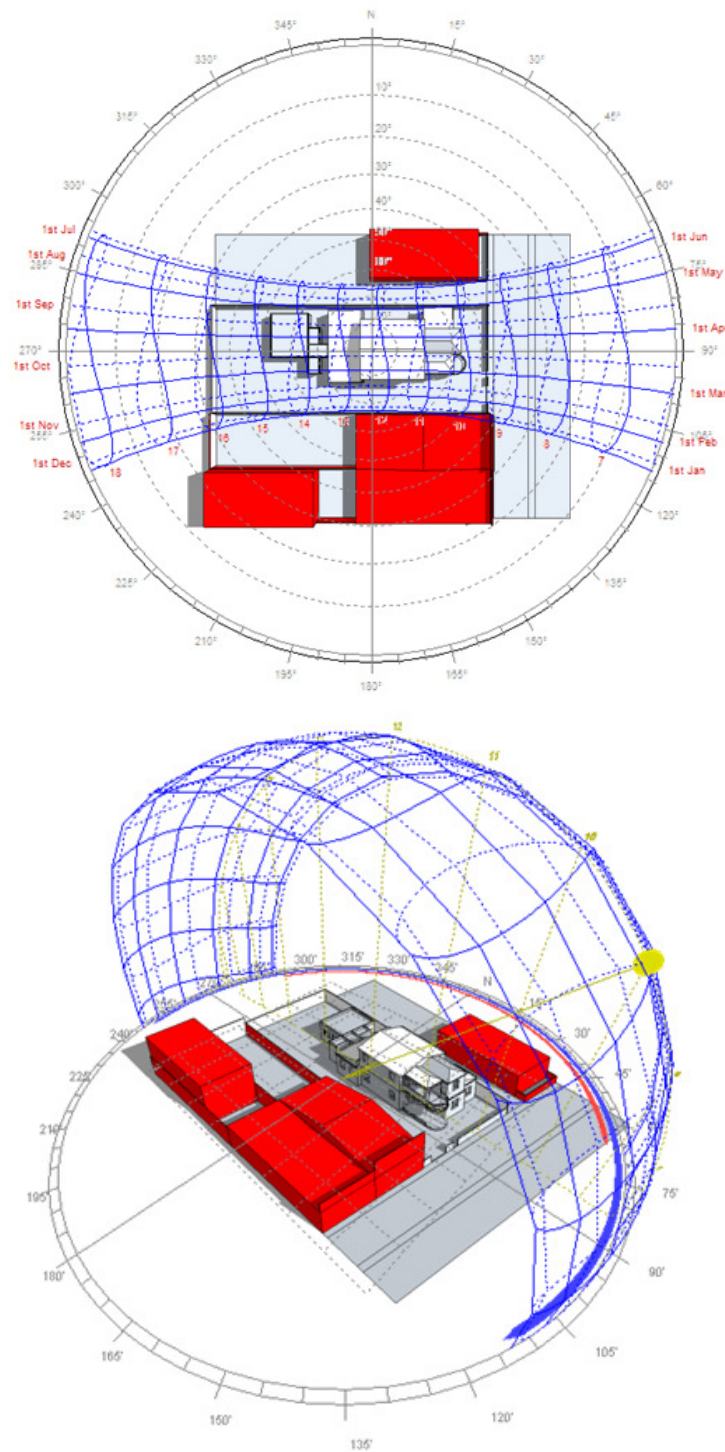


Figura 32 – Representação da incidência solar no estudo de caso

Internamente a edificação é dividida em 10 ambientes na parte térrea e 4 ambientes na parte superior, num total de 14 ambientes (Figura 33). Os ambientes, somados às áreas de circulação, representa uma área de 288,21m². Suas funções estão relacionadas abaixo:

1. Recepção / Uso misto;
2. Uso misto;
3. Depósito térreo;
4. Biblioteca;
5. Biblioteca / Sala de estudo;
6. Cozinha;
7. Armazenagem de alimentos;
8. Banheiro feminino;
9. Banheiro masculino;
10. Sala de reunião;
11. Secretaria de Esportes;
12. Banheiro;
13. Secretaria de Cultura;
14. Sala do secretário de cultura.

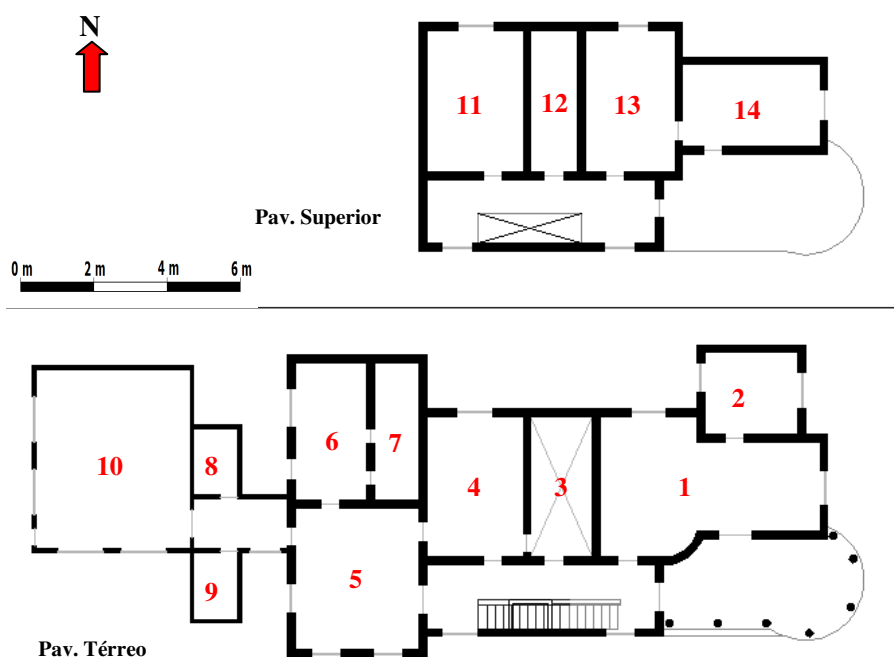


Figura 33 - Planta dos pavimentos térreo e superior da edificação; e relação dos ambientes.

Após a caracterização da edificação e sua entorno, teve início a fase e análise dos aspectos relativos ao conforto ambiental na edificação, com foco na ventilação natural. O próximo tópico irá abordar como foi realizada esta análise.

3.2. Medições *in loco* e aplicação de questionários

Visando uma análise mais completa do atual desempenho da ventilação natural no estudo de caso, foram realizadas medições de temperatura, umidade e velocidade do ar no interior da edificação. Também foram aplicados questionários aos funcionários e ao pesquisador que realizou as medições sobre a sensação térmica percebida nos ambientes. A aplicação destes dois métodos visa a comparação com os resultados obtidos por meio das simulações computacionais e, conseqüentemente, a melhor compreensão dos efeitos da ventilação natural no estudo de caso.

3.2.1. Medições de temperatura, umidade e velocidade do fluxo de ar no interior da edificação

Para as medições na edificação foram identificados dez ambientes de permanência prolongada, excluindo banheiros, corredores, DML, por exemplo. Dos dez ambientes, quatro foram escolhidos para a realização das medições, sendo eles a Recepção (1); Biblioteca/Sala de Estudos (5); Sala de Reuniões (10); e Sala do Secretário de Cultura (14) (Figuras 34 e 35). Os quatro ambientes são os que apresentam maior ocupação ao longo do dia, estão localizados em pontos diversos da edificação e em orientações diferentes; motivos que levaram a escolha destes. Destaca-se que a Sala de Reuniões (10) é o único ambiente da edificação que utiliza sistema de condicionamento artificial. As janelas são fixas, fato que não permite o aproveitamento da ventilação natural.



Figura 34 - Destacados em amarelo os ambientes escolhidos para a realização das medições.



Figura 35 - Da esquerda para a direita e de cima para baixo: Recepção; Biblioteca/Sala de leitura; Sala de Reuniões; e Sala do secretário de cultura.

A realização das medições nestes ambientes foi dividida em dois períodos do ano: medição no período menos chuvoso, realizada no dia 11/07/2010; e medição no período mais chuvoso, realizada no dia 05/03/2011. Nas medições foram utilizados os seguintes equipamentos: termo-higrômetro para temperatura e umidade; e anemômetro para a velocidade do vento. As medições foram feitas aos finais de semana, utilizando uma planilha onde foram preenchidas as informações horárias dos dados coletados.

3.2.2. Questionários sobre a sensação térmica do pesquisador e dos funcionários.

O preenchimento da sensação térmica do pesquisador foi realizado juntamente com as medições *in loco*. Para a anotação das sensações térmicas foram utilizadas três nomenclaturas: Agradável (A); Indiferente (I); e Desagradável (D). As nomenclaturas foram assinaladas para cada hora do dia em que foram medidos os dados nos ambientes analisados, e posteriormente dispostos em planilha no formato Excel. Com a visualização destas informações, relacionadas com o ambiente e o período do dia, pode-se identificar em quais ambientes a ventilação natural está atuando para a melhoria da sensação de conforto térmico. Estas informações também

possibilitaram a comparação com as simulações de velocidade e distribuição do fluxo de ar na edificação.

O questionário sobre a sensação térmica e de ventilação no interior dos ambientes para o preenchimento dos funcionários da edificação foi aplicado em dias diferentes em relação às medições, devido a impossibilidade imposta pela direção da Secretaria de Cultura. O modelo de questionário aplicado aos funcionários (Anexo 1) aborda aspectos como a idade, sexo, e tipo de vestimenta. O questionário aborda também a percepção dos funcionários com relação a sensação térmica no sentido da temperatura do ambiente e no efeito da ventilação natural. O questionário teve como base o trabalho de Lamberts e Xavier (2002), onde é apresentado um modelo de avaliação de conforto e aceitabilidade térmica segundo requisitos da norma ISO 10551/95.

Com relação ao universo amostral, foi identificado que na edificação trabalham apenas onze funcionários. Desta forma o questionário foi aplicado para 100% da amostra. Os questionários foram aplicados em dias da semana, sempre às 9:00 horas e às 15:00 horas, dos dois períodos do ano; totalizando 4 questionários para cada funcionário, ou seja, somou-se 44 questionários no total.

3.3. Elaboração dos modelos para simulações em CFD.

Nesta etapa foi estruturada em duas fases. A primeira consistiu na elaboração do modelo real da edificação, representando as características encontradas no local. Esta primeira etapa visou analisar o comportamento do fluxo de ar no interior da edificação. A segunda etapa consistiu na elaboração de modelos e cenários onde foram alterados os tamanhos das aberturas, os ângulos de incidência e a velocidade externa do vento. Cada etapa será descrita a seguir.

3.3.1. Elaboração do modelo real

Para a elaboração do modelo real, representando as características encontradas no local, foram utilizados três programas: AutoCAD 2D versão 2008; SolidWorks 2011; e a extensão CFX do programa ANSYS/Workbench versão v12.1.

As plantas do pavimento térreo e superior da edificação foram elaboradas no programa AutoCAD, tendo como base o levantamento realizado no local. A utilização do programa foi importante para a observação mais precisa do posicionamento e tamanho das aberturas em cada ambiente, da configuração do espaço interno, e na elaboração do modelo real e elementos presentes no entorno. Após a elaboração das

plantas arquitetônicas da edificação e seu entorno, foi possível exportar o arquivo do AutoCAD (.dwg) para o programa SolidWorks visando a construção do modelo tridimensional e em formato CAD, representando os volumes ocupados pelo ar (fluido); o qual pode ser exportado posteriormente para o programa ANSYS (Figura 36).

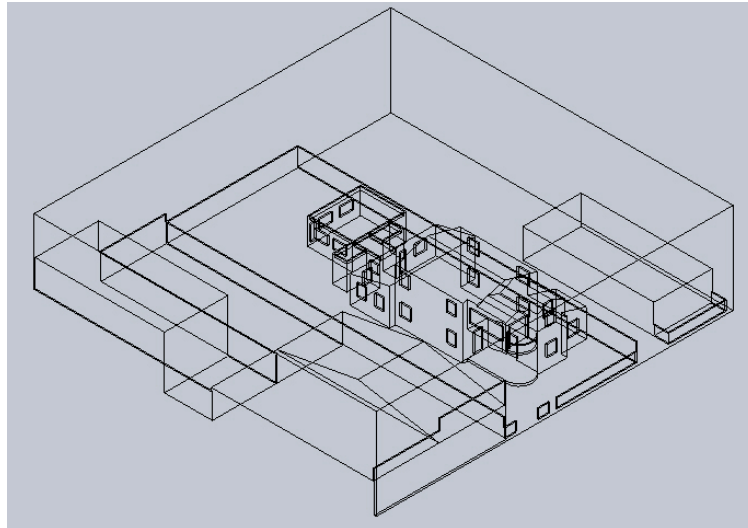


Figura 36 - Modelo tridimensional representando a edificação e seu entorno imediato exportado para o programa CFX.

Após a geração do modelo tridimensional foi desenvolvida uma malha não estruturada composta por células prismáticas. A escolha deste tipo de malha levou em consideração sua capacidade de apresentar maior liberdade de arranjos tendo em vista a complexidade dos volumes modelados. No programa CFX foram definidas as condições de contorno ao domínio (velocidade, ângulo de incidência, temperatura vento, entre outros). Nesta etapa também foram identificadas no programa as “regiões” representando as aberturas por onde o fluido entra (*inlet`s*) e sai (*outlet`s*). Com isso, será possível, por exemplo, uma análise individualizada da velocidade do vento em cada abertura (Figura 37). Foram utilizados dados do INMET e variáveis fixas sugeridas pela rotina do programa nos casos em que não se possui informações precisas: “fluido isotérmico”, Modelo turbulento “*Shear and stress transport*”, regime permanente, subsônico e monofásico.



Figura 37 - Identificação das regiões/aberturas da edificação no programa CFX.

A velocidade média do vento para a cidade de Bragança é de aproximadamente 3,0 m/s. No entanto, para efeito deste estudo, foi decidido utilizar metade desta velocidade visando analisar a edificação sob um cenário menos favorável. Como esta etapa busca identificar os ambientes com os melhores e piores aspectos em relação ao fluxo de ar, a utilização de velocidades elevadas (como 3,0 m/s) poderia mascarar ambientes com pior escoamento do fluido. Além disso, mesmo que ocorram velocidades de 3,0 m/s (ou superiores) no local onde está situada a edificação, estas também são alternadas por velocidades entre 1,5 m/s (ou inferiores) em uma fração considerável de tempo ao longo do dia. A Tabela 1 apresenta as principais informações utilizadas como dados de entrada no programa nesta etapa.

Tabela 1 - Principais dados de entrada relativos ao fluxo de ar. **Fonte:** INMET

Velocidade do vento	1.5 (m/s)
Temperatura do fluido	23.95 (°C)
Ângulos de incidência do vento	Leste - Nordeste

3.3.2. *Elaboração dos cenários para a análise da influência do tamanho das aberturas no comportamento de fluxo de ar.*

Após a elaboração do modelo real foi possível identificar o trecho da edificação com melhor desempenho em relação ao aproveitamento da ventilação natural. O desempenho deste trecho será abordado no Capítulo 4 referente aos resultados das simulações. Com base neste trecho, que compreendem os ambientes “Recepção/Usó Misto” e “Biblioteca/Sala de Estudo” (Figura 38) foram desenvolvidos mais quatro modelos tridimensionais: Modelo Real com redução de 10% no tamanho das aberturas (MR-10%); Modelo Real com redução de 20% no tamanho das aberturas (MR-20%); Modelo Real com acréscimo de 10% no tamanho das aberturas (MR+10%), e Modelo Real com acréscimo de 20% no tamanho das aberturas (MR+20%). A Tabela 2 apresenta as dimensões das aberturas dos modelos desenvolvidos.

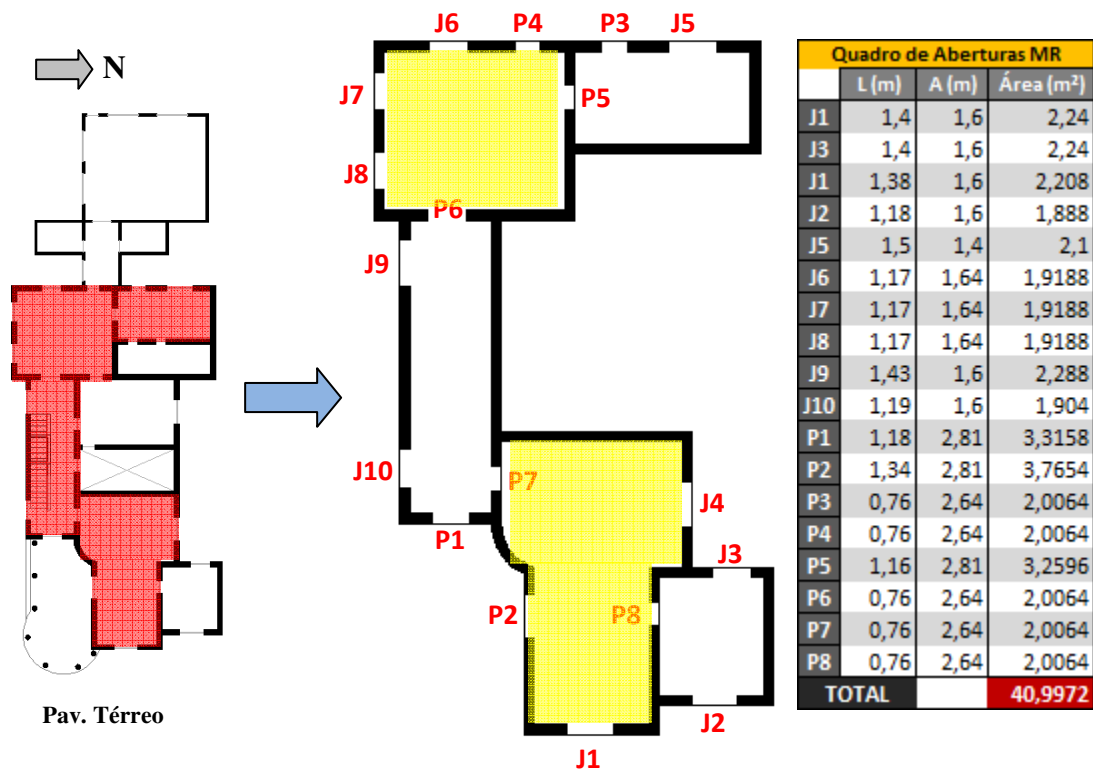


Figura 38 - Em amarelo, trecho escolhido para o estudo da influência do tamanho das aberturas na ventilação natural. Identificação das aberturas e suas respectivas áreas.

Tabela 2 - Áreas dos modelos desenvolvidos.

Quadro de Aberturas M-10%			Quadro de Aberturas M-20%			Quadro de Aberturas M+10%			Quadro de Aberturas M+20%						
	L-10% (m)	A -10% (m)	Área (m²)	L -20% (m)	A -20% (m)	Área (m²)	L+10% (m)	A+10% (m)	Área (m²)	L+20% (m)	A+20% (m)	Área (m²)			
J1	1,26	1,44	2,016	J1	1,12	1,28	1,792	J1	1,54	1,76	2,464	J1	1,68	1,92	2,688
J2	1,26	1,44	2,016	J2	1,12	1,28	1,792	J2	1,54	1,76	2,464	J2	1,68	1,92	2,688
J3	1,242	1,44	1,9872	J3	1,104	1,28	1,7664	J3	1,518	1,76	2,4288	J3	1,656	1,92	2,6496
J4	1,062	1,44	1,6992	J4	0,944	1,28	1,5104	J4	1,298	1,76	2,0768	J4	1,416	1,92	2,2656
J5	1,35	1,26	1,89	J5	1,2	1,12	1,68	J5	1,65	1,54	2,31	J5	1,8	1,68	2,52
J6	1,053	1,476	1,72692	J6	0,936	1,312	1,53504	J6	1,287	1,804	2,11068	J6	1,404	1,968	2,30256
J7	1,053	1,476	1,72692	J7	0,936	1,312	1,53504	J7	1,287	1,804	2,11068	J7	1,404	1,968	2,30256
J8	1,053	1,476	1,72692	J8	0,936	1,312	1,53504	J8	1,287	1,804	2,11068	J8	1,404	1,968	2,30256
J9	1,287	1,44	2,0592	J9	1,144	1,28	1,8304	J9	1,573	1,76	2,5168	J9	1,716	1,92	2,7456
J10	1,071	1,44	1,7136	J10	0,952	1,28	1,5232	J10	1,309	1,76	2,0944	J10	1,428	1,92	2,2848
P1	1,062	2,529	2,98422	P1	0,944	2,248	2,65264	P1	1,298	3,091	3,64738	P1	1,416	3,372	3,97896
P2	1,206	2,529	3,38886	P2	1,072	2,248	3,01232	P2	1,474	3,091	4,14194	P2	1,608	3,372	4,51848
P3	0,684	2,376	1,80576	P3	0,608	2,112	1,60512	P3	0,836	2,904	2,20704	P3	0,912	3,168	2,40768
P4	0,684	2,376	1,80576	P4	0,608	2,112	1,60512	P4	0,836	2,904	2,20704	P4	0,912	3,168	2,40768
P5	1,044	2,529	2,93364	P5	0,928	2,248	2,60768	P5	1,276	3,091	3,58556	P5	1,392	3,372	3,91152
P6	0,684	2,376	1,80576	P6	0,608	2,112	1,60512	P6	0,836	2,904	2,20704	P6	0,912	3,168	2,40768
P7	0,684	2,376	1,80576	P7	0,608	2,112	1,60512	P7	0,836	2,904	2,20704	P7	0,912	3,168	2,40768
P8	0,684	2,376	1,80576	P8	0,76	2,64	2,0064	P8	0,836	2,904	2,20704	P8	0,76	2,64	2,0064
TOTAL			36,8975	TOTAL			33,199	TOTAL			45,0969	TOTAL			48,7954

A determinação dos percentuais de acréscimo e redução no tamanho das aberturas levou em consideração o tamanho usual de janelas e portas. Também foram lavados em consideração percentuais de acréscimo ou redução que influenciasssem sensivelmente os resultados das simulações. Ou seja, uma redução maior que 20%, por exemplo, ocasionaria alturas de portas menores de 2,10m; não representando a altura usual e adequada aos padrões estabelecidos em norma. Com relação ao intervalo de porcentagens, a prática usual de simulações realizadas no programa CFX do ANSYS, aponta para uma alteração irrelevante nos resultados quando são alteradas porcentagens muito pequenas em relação a um modelo pré-estabelecido (2%, 5%, por exemplo). Desta forma, adotou-se o intervalo de 10% para os acréscimos e reduções.

Para as simulações dos cenários, também foram adotadas algumas simplificações em termos de modelagem de janelas e portas. Foram desprezadas, por exemplo, venezianas posicionadas na parte superior das portas (Figura 39) as quais apresentavam aberturas muito reduzidas, entre outros detalhes, inviáveis de serem modelados no programa. Também foram desprezadas algumas portas identificadas como “não relevantes” no comportamento da ventilação natural nos ambientes em análise. No levantamento *in loco*, foi identificado que as portas dos ambientes 3 (Depósito térreo), 4 (Biblioteca) e 7 (Armazenagem de alimentos) permaneciam fechadas na maior parte do período de funcionamento da edificação (Figura 40). Caso fossem modeladas como aberturas no programa CFX poderiam influenciar nos resultados finais do fluxo do ar; assim; foram desprezadas e consideradas como área de parede.



Figura 39 - Destaque para as venezianas posicionadas na parte superior das portas.

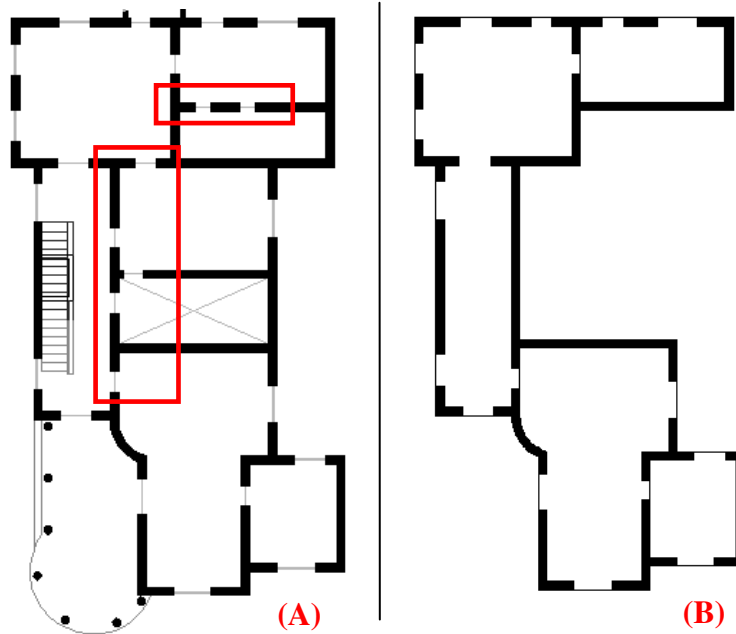


Figura 40 - Em destaque, a simplificação do modelo CFX (B), em relação à planta real da edificação (A).

Com a estruturação dos modelos e conhecimento dos tamanhos das aberturas a serem utilizadas nas simulações, foi gerada a malha e definidas as regiões que representam as aberturas de entrada e saída do ar (Figura 35), assim como feito para o modelo real. Após a elaboração dos modelos, foram definidas as variáveis dos cenários para simulação, consistindo na variação de velocidade externa (2 variáveis) e o ângulo de incidência do vento (2 variáveis); estas variáveis são apresentadas na Tabela 3.

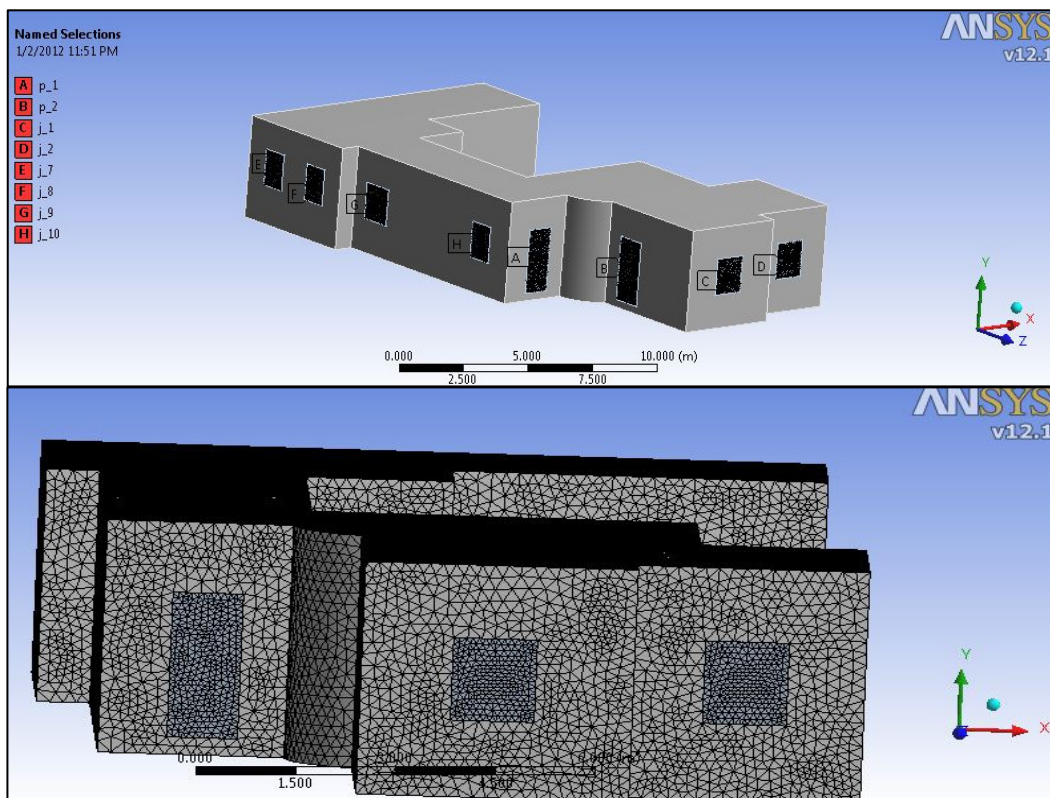


Figura 41 – Na parte superior, definição das aberturas de entrada e saída dos modelos. Na parte inferior, elaboração da malha não estruturada nos modelos.

Tabela 3 - Variáveis dos cenários utilizadas nas simulações dos modelos propostos.

Velocidade do vento (INMET)	1.5 (m/s)
Velocidade do vento (no local)	3.0 (m/s)
Ângulo de incidência predominante	Leste – 45°
Ângulo de incidência secundário	Nordeste (Norte - utilizado)

As velocidades utilizadas nas simulações levaram em conta os valores obtidos nos arquivos do INMET para estabelecer a variável de 3,0 m/s, e os fatores já mencionados anteriormente para estabelecer a variável de 1,5 m/s. Quanto aos ângulos de incidência do vento, foram utilizados os ângulos Leste e Nordeste. No entanto, em decorrência de dificuldades estabelecimento do ângulo Nordeste na elaboração do domínio, utilizou-se o ângulo de incidência Norte nas simulações. Desta forma, como foram propostos 5 modelos e 4 cenários, sendo realizadas 20 simulações, visando identificar a influência do tamanho das aberturas no comportamento da ventilação natural no estudo da caso. O capítulo seguinte irá apresentar os resultados encontrados por meio dos métodos utilizados.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1. Influência da Configuração Urbana do Sítio e do Entorno Imediato

No decorrer dos levantamentos foi possível observar que a configuração urbana do local onde a edificação está inserida favorece o aproveitamento da ventilação natural. Foram identificados três aspectos principais em termos da influência da configuração urbana sob o fluxo dos ventos:

- De forma geral, a cidade é constituída de edificações térreas, caracterizando a baixa rugosidade do relevo e, conseqüentemente, possibilidade de ocorrência de níveis mais elevados de velocidade do vento;
- O solo ainda possui diversas áreas livres e espaços pouco adensados, favorecendo a distribuição e velocidade do vento;
- A cidade está situada próxima ao litoral, às margens de um rio (fatores que refletem em um maior fluxo de vento em relação a outras regiões) e sua orla não possui obstáculos que obstruam o fluxo do vento.

Além disso, o local onde a edificação está inserida também favorece o aproveitamento da ventilação natural. Foram identificados três aspectos principais do entorno:

- Inexistência de obstáculos, como prédios com altura superior a 4 pavimentos ou vegetação muito densa, que obstruam o fluxo do vento na edificação;
- Grandes áreas livres no entorno, como a praça situada à frente do estudo de caso com aproximadamente 9600 m² de área livre;
- O local está em uma das partes mais altas da cidade, a 12 m de altura em relação ao rio que margeia a cidade (ponto mais baixo).

A partir dos aspectos citados anteriormente foram realizadas simulações dos níveis de pressão do fluxo de ar sob o modelo real, com os elementos do entorno imediato do estudo de caso, visando analisar a incidência do vento nas superfícies externas. A partir dos resultados obtidos, para o ângulo de incidência leste e velocidade de 1,5m/s, foi identificado que o principal elemento de obstrução da ventilação natural são as edificações localizadas à esquerda do estudo de caso (Figura 42). Neste caso, por seu formato vertical plano, o conjunto de edificações apresenta os maiores níveis de pressão (19.07 Pa). No entanto, a fachada leste do estudo de caso

também apresenta níveis consideráveis de pressão (10.19 Pa), apontando que a incidência do vento nesta área possui potencial para penetrar na edificação e se distribuir pelos ambientes.

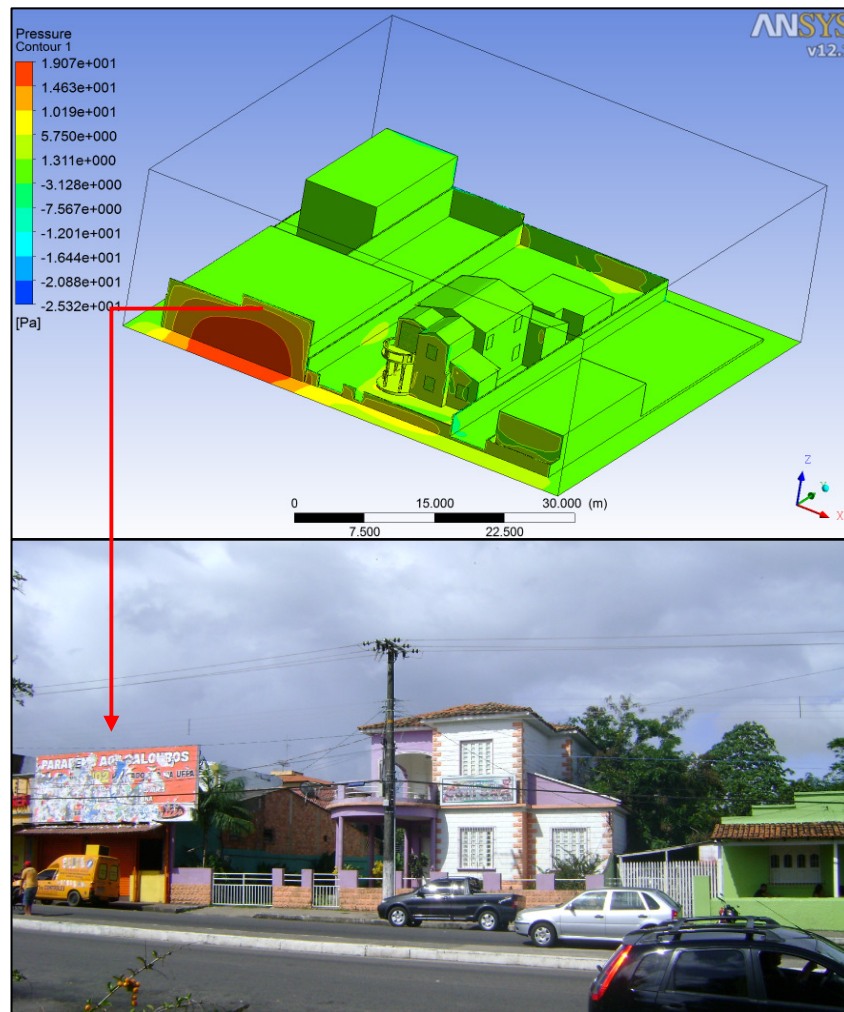


Figura 42 – Resultados da simulação de pressão dos ventos para o ângulo de incidência leste.

Para esta mesma situação foram realizadas simulações da influência das edificações no escoamento/velocidade do vento incidente. Desta forma, foi identificado que o conjunto de edificações localizadas à esquerda, pelos fatores mencionados anteriormente, são as que mais influenciam na velocidade do vento. Devido à sua forma, existe uma aceleração no fluxo do ar estipulado na condição de contorno (1,5 m/s). As áreas laterais e superior do conjunto foram encontradas velocidades de até 4,3 m/s (Figura 43). Esta aceleração do fluxo de ar influencia principalmente na velocidade dos ventos que atingem a fachada sul do estudo de caso.

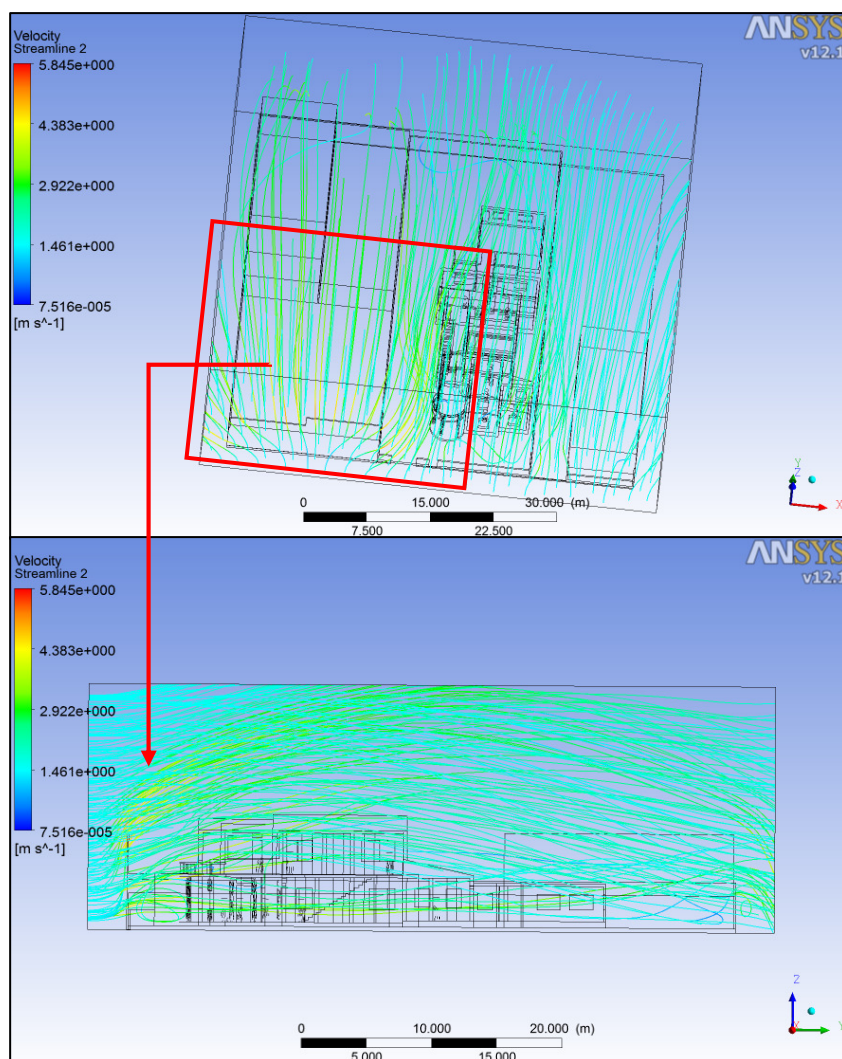


Figura 43 – Vista superior e elevação do escoamento do vento, identificado a aceleração ocasionada pela forma das edificações.

Os mesmos aspectos foram analisados para o ângulo de incidência norte. Para a pressão sob as fachadas norte, foi identificado que a edificação situada à direita do estudo de caso é o principal elemento de obstrução, apresentando uma pressão em sua fachada de 11,21 Pa (Figura 44). No entanto, a fachada norte do estudo de caso também apresenta níveis consideráveis de pressão, em torno de 8.7 Pa.

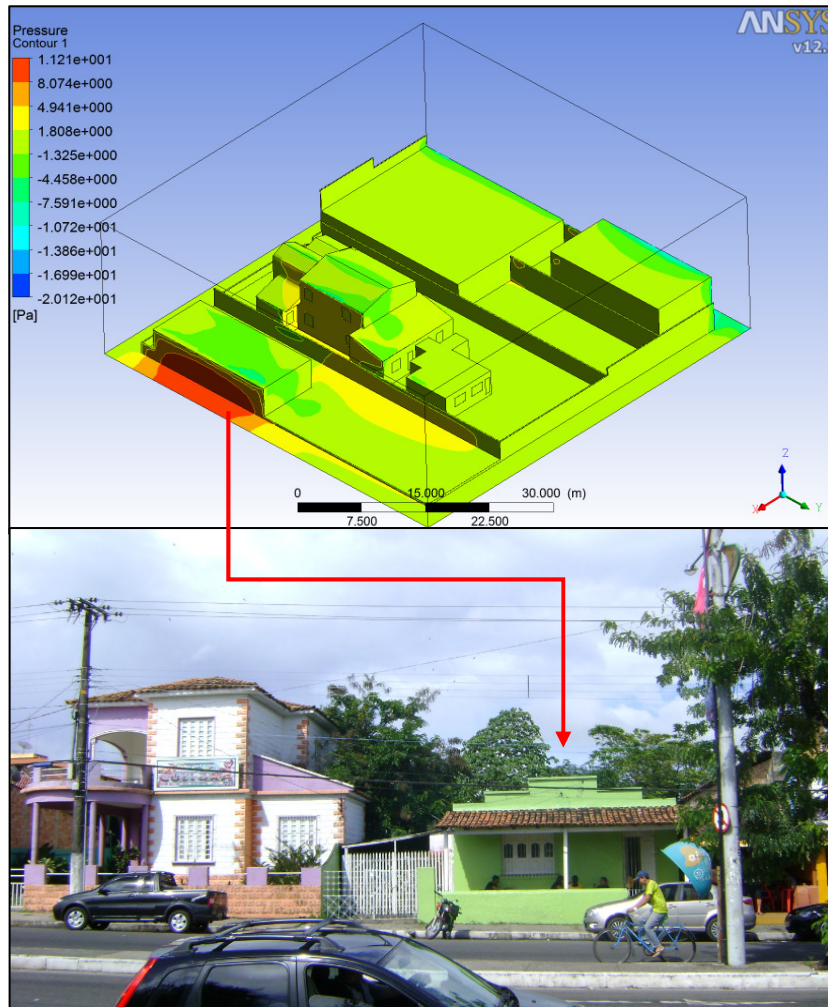


Figura 44 – Resultado da simulação de pressão dos ventos para o ângulo de incidência norte.

Foi identificado que a mesma edificação que apresenta os maiores níveis de pressão na fachada norte também é a que mais influi no escoamento/velocidade do vento. Para velocidade inicial de 1,5 m/s, nas áreas superior e lateral foram encontrados valores entre 2,66 m/s e 3,99 m/s (Figura 45). A parcela do fluxo de ar acelerado atinge principalmente as aberturas superiores do estudo de caso, influenciando na ventilação dos ambientes ali localizados. No entanto, foi identificado que existe uma obstrução do fluxo de ar para as aberturas localizada na parte inferior da fachada Norte.

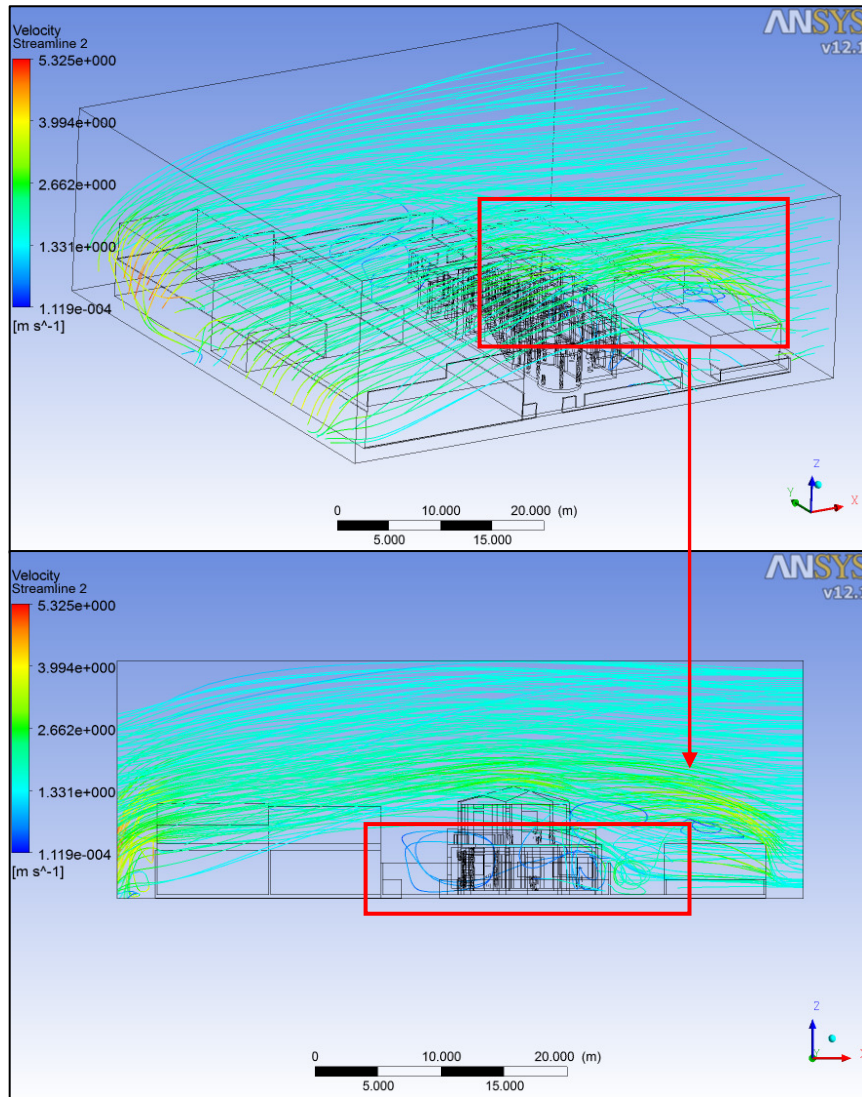


Figura 45 – Vista superior e elevação do escoamento do vento, identificando a aceleração ocasionada pela forma da edificação na parte superior; e a obstrução do fluxo na parte inferior do estudo de caso.

4.2. Avaliação do Pesquisador e Respostas dos Funcionários ao Questionário

4.2.1. Influência da ventilação natural sobre a sensação térmica do pesquisador

Com base nas medições de temperatura, umidade e velocidade do ar, realizadas no local, foi feita uma avaliação da importância da ventilação natural como principal sistema de condicionamento do ar utilizado na edificação em estudo. Dos quatro ambientes escolhidos para a análise apenas um, ambiente 10 (sala de reunião), utiliza de condicionamento artificial (ar condicionado do tipo *Split*). No entanto, ao longo das medições e visitas realizadas à edificação, o sistema de ar condicionado não estava operante. Mesmo assim, as reuniões continuavam a acontecer uma vez por semana no final do expediente. Nos outros três ambientes, Recepção (amb. 1);

Biblioteca (amb. 5); e Sala do secretário de cultura (amb. 14), a ventilação natural é utilizada para resfriar os ambientes (Figura 46).

Desta forma, as impressões percebidas pelo pesquisador buscaram identificar a sensação térmica nos ambientes ventilados naturalmente e no ambiente com ar condicionado, contrapondo estas sensações com as temperaturas e velocidades do vento medidas no interior dos ambientes.



Figura 46 – Ambientes onde foram realizadas as medições e analisadas sensações térmicas pelo pesquisador.

As temperaturas do ar medidas ao longo do dia nos ambientes apontam tanto as elevadas temperaturas quanto a existência de uma baixa amplitude térmica (característica da região), de apenas 4°C em média. Foi identificado também que o ambiente 10 apresenta a maior elevação diária na temperatura interna do ar, assim como a não ocorrência de ventilação natural. Tal fato se deve às características dos materiais como tijolo simples e laje de concreto, às maiores superfícies envidraçadas e às janelas fixas para o uso do ar condicionado. Os ambientes 1, 5 e 14 apresentaram uma menor elevação da temperatura interna do ar e níveis consideráveis de velocidade do fluxo de ar. Tal fato se deve as características dos materiais (especas paredes de adobe), a menor área envidraçada, e as grandes aberturas (janelas e portas) distribuídas em vários pontos da edificação e possibilitando a ventilação cruzada nos ambientes (Gráficos 4 e 5).

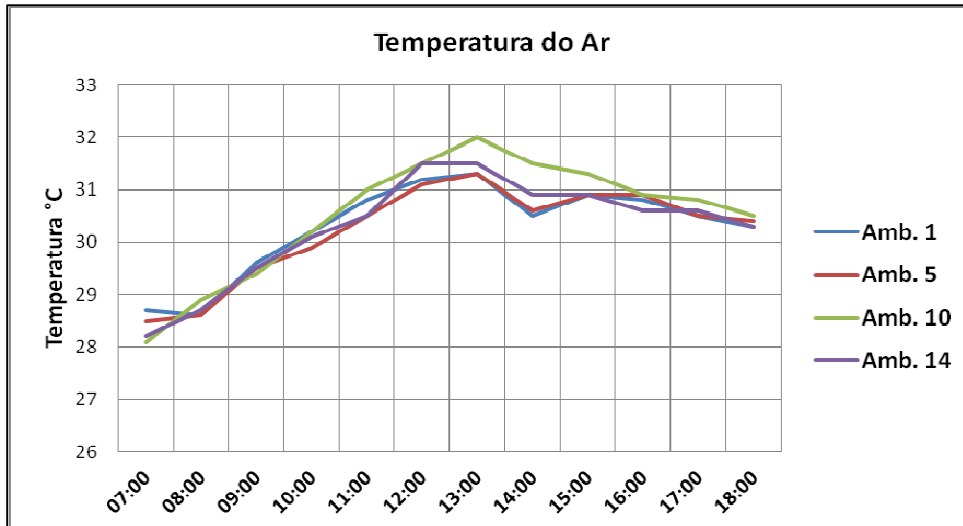


Gráfico 4 – Média das temperaturas internas nos ambientes analisados.

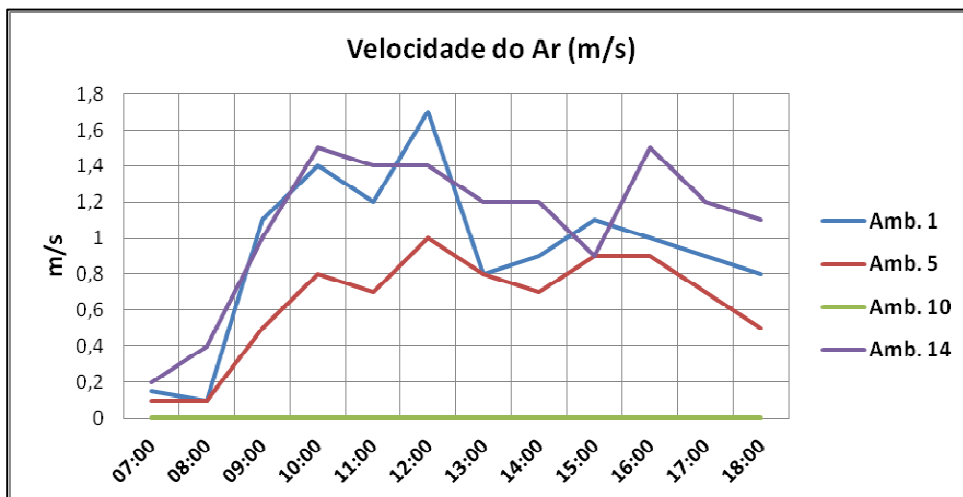


Gráfico 5 – Média das velocidades do ar no interior dos ambientes analisados

Juntamente com as medições foram anotadas as sensações térmicas percebidas pelo pesquisador. A Tabela 4, demonstra que o ambiente 10 apresentou os maiores níveis de “desconforto” (D) ao longo do dia, das 09:00h às 17:00h. Os demais ambientes apresentaram sensação “agradável” (A) na maior parte da manhã e no final da tarde. Destaca-se que nestes períodos a velocidade do vento apresentou níveis acima de 0,6 m/s; e no final da tarde o fluxo de ar garantiu a sensação térmica agradável mesmo com a temperatura interna do ar entre os 30 °C.

Tabela 4 – Sensação térmica horária em cada ambiente anotada pelo pesquisador.

	Sensação Térmica Anotada pelo Pesquisador											
	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Amb. 1	A	A	A	I	I	D	D	D	D	I	A	A
Amb. 5	A	A	A	A	I	I	D	D	I	I	A	A
Amb. 10	A	I	D	D	D	D	D	D	D	D	D	I
Amb. 14	A	A	A	A	I	D	D	D	I	I	A	A

4.2.2. Resposta do questionário aplicado aos funcionários sobre a sensação térmica

Os questionários foram aplicados sempre às 09:00h e às 15:00h, para todos os onze funcionários que trabalham na edificação, e nos períodos mais chuvoso e mais seco do ano. Desta forma, foram totalizados 44 questionários respondidos. Como esta parte do estudo visou uma complementação da análise e importância de ventilação natural no estudo de caso, as respostas encontradas são apresentadas em porcentagem geral do total de questionários preenchidos; tendo em vista que a demonstração individualizada de respostas dos 44 questionários tornaria a apresentação dos resultados muito extensa.

Primeiramente é importante destacar que apenas a Recepção; Biblioteca; Secretaria de Esportes; e Secretaria de Cultura apresentam funcionários fixos. Os demais funcionários circulam pelos ambientes conforme as necessidades de funcionamento da edificação. Dos onze funcionários que trabalham na edificação, quatro são do sexo feminino com faixa de idades entre 30 e 40 anos. A faixa de idade dos funcionários do sexo masculino está entre os 30 e 60 anos. Os funcionários utilizam, em geral, roupas leves. Destaca-se a utilização de sandálias, bermudas e camisetas de manga curta, por grande parte dos funcionários masculinos; e de sandálias, vestidos e camisetas de tecido fino por parte dos funcionários femininos no dia-a-dia de trabalho (Figura 47). A permissão de utilização destes tipos de roupas e calçados colabora para o conforto térmico e sensação de refrescamento com a ventilação natural.



Figura 47 – Funcionários da edificação preenchendo o questionário.

Para o quesito do questionário que abordava sobre como o funcionário se sentia no momento do preenchimento em relação a sua sensação térmica; 46% dos funcionários responderam que se sentiram “levemente com calor” nos horários e meses em que foram aplicados os questionários. Já 36% dos funcionários sentiram

“calor” e 18% responderam que se sentiram “neutros” em relação à temperatura do ambiente (Gráfico 6).

"Com relação a sua sensação térmica, como você está se sentindo nesse momento?"

■ Com calor ■ Levemente com calor ■ Neutro

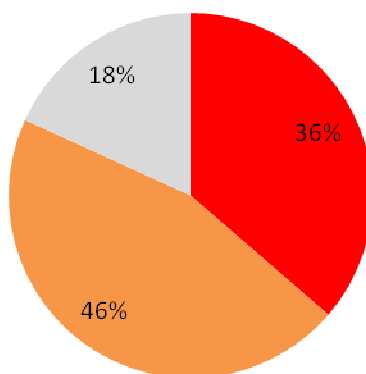


Gráfico 6 – Respostas dos funcionários para a sensação térmica sentida nos períodos de aplicação do questionário.

Em relação à maneira em que o funcionário se encontrava no momento da aplicação do questionário, 9% estavam “confortáveis”; 55% disseram que estavam “levemente confortáveis” e 36% “inconfortáveis” nos dois horários e meses em que foram aplicados os questionários. Destaca-se que o campo “muito inconfortável” não foi marcado em nenhum das aplicações do questionário (Gráfico 7).

"De que maneira você se encontra neste momento?"

■ Confortável ■ Levemente confortável ■ Inconfortável ■ Muito inconfortável

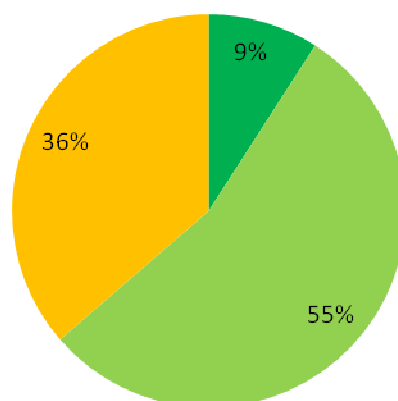


Gráfico 7 – Respostas dos funcionários para a sensação de conforto sentida nos períodos de aplicação do questionário.

Por fim, quando os funcionários foram questionados de como prefeririam estar se sentindo no momento do preenchimento, 64% disseram que prefeririam estar “um pouco mais refrescados”; 18% prefeririam estar “assim mesmo”; 9% prefeririam estar “mais refrescados”; e 9% “bem mais refrescados” (Gráfico 8).

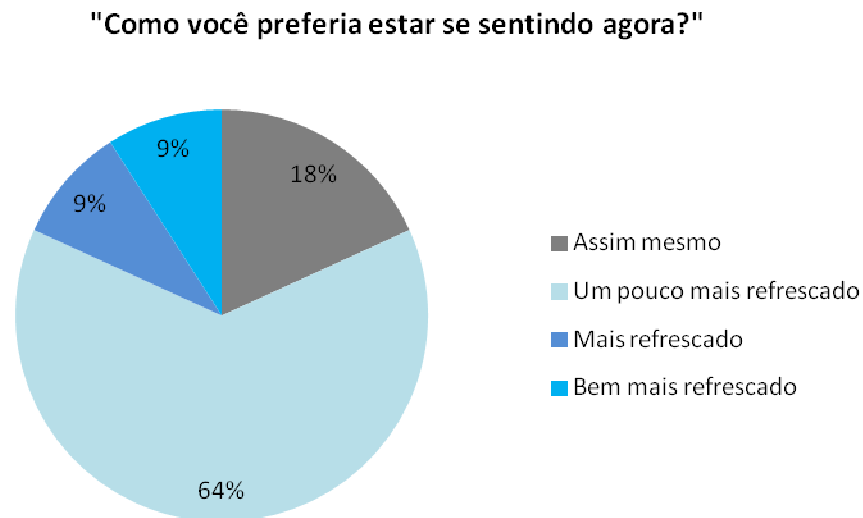


Gráfico 8 – Respostas dos funcionários para a sensação de refrescamento sentida nos períodos de aplicação dos questionários.

4.3. Simulações CFD do Comportamento do Fluxo de Ar no Interior do Estudo de Caso

4.3.1. Análise do Modelo Real baseado no estudo de caso.

Para as simulações do modelo real, representando as características encontradas no estudo de caso, foi utilizada a velocidade do vento de 1,5 m/s com ângulos de incidência Leste e Norte. Para a velocidade do fluxo constante de 1,5 m/s e ângulo de incidência Leste, foi identificado que os ambientes da Recepção e Biblioteca apresentam maior distribuição e velocidade do fluxo de ar em comparação com os demais ambientes (Figura 48).

Ao analisar isoladamente o aspecto de velocidade do vento, observa-se que a janela localizada no pavimento superior, próxima às escadas, é a que apresenta a maior velocidade de entrada, aproximadamente 4 m/s (Figura 48). Tal valor é coerente com as simulações realizadas para identificar a influência do entorno sob a ventilação que incide sob o estudo de caso onde foi identificado um aumento da velocidade do ar em decorrência das características do conjunto edificado situado ao lado do estudo de caso.

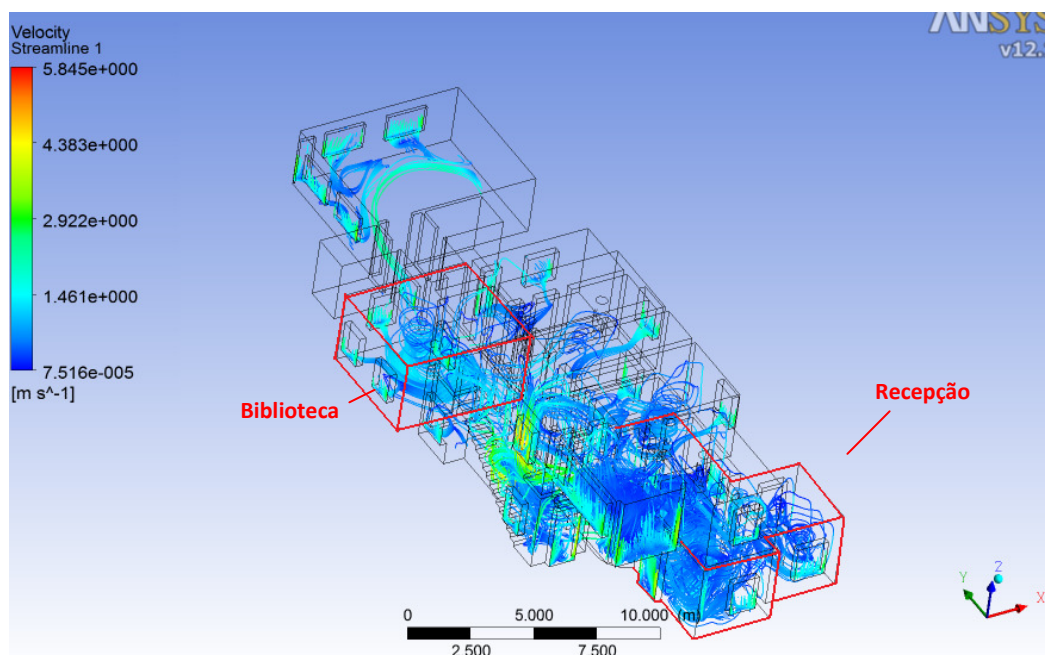


Figura 48 – Resultado da simulação da velocidade do fluxo de ar no interior da edificação/modelo real, para o ângulo de incidência Leste.

Para a simulação com o ângulo de incidência Norte, foi observada uma redução na distribuição e velocidade máxima do fluxo de ar. No entanto, os ambientes da Recepção e Biblioteca continuaram a apresentar maior distribuição e velocidade (Figura 49). Desta forma, este trecho da edificação, que corresponde aos dois ambientes e ao espaço que os conecta, foi escolhido para a elaboração dos modelos representando os cenários de análise da influência do tamanho das aberturas nos aspectos de velocidade e distribuição do fluxo de ar.

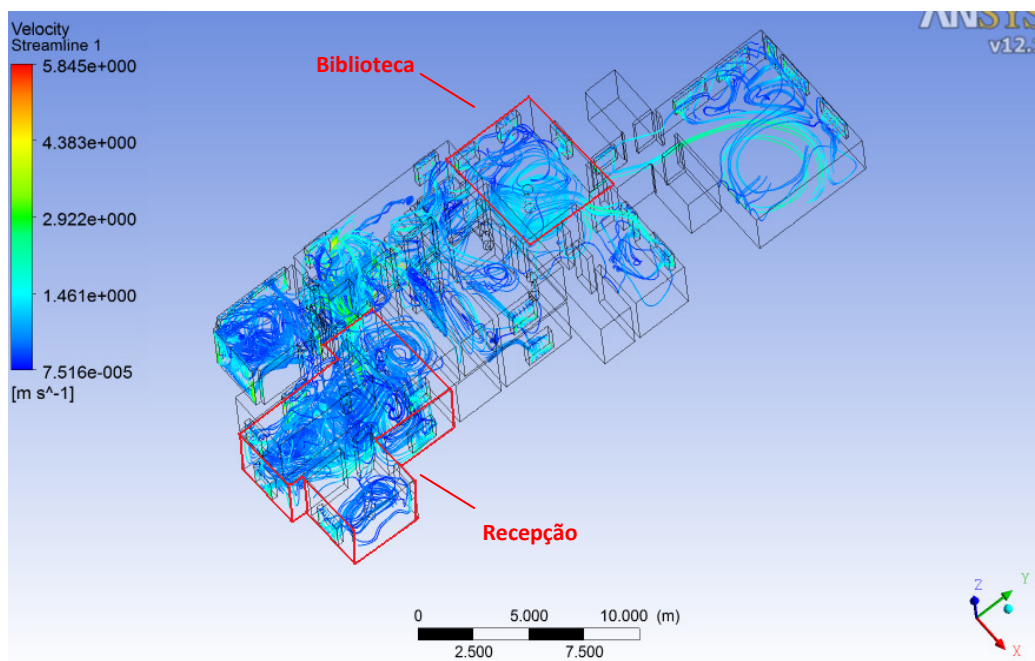


Figura 49 – Resultado da simulação de velocidade do fluxo de ar no interior da edificação/modelo real, para o ângulo de incidência Norte.

Por fim, destaca-se que nas simulações deste modelo foi considerado o ambiente da Sala de Reunião com as janelas abertas com o intuito de verificar a possibilidade de utilização da ventilação natural no recinto, tendo em vista os aspectos discutidos no item 4.2.1. Nas simulações foi observado que a sala de reunião apresenta níveis satisfatórios de velocidade do fluxo (aproximadamente 1,4 m/s) e distribuição razoável do ar, tendo em vista a inexistência de movimentação do fluxo em certas áreas. Tal ambiente também é beneficiado pela penetração do vento pela conexão com aberturas de outros ambientes da edificação.

4.3.2. *Análise dos cenários referentes à influência do tamanho das aberturas no comportamento do fluxo de ar.*

Para a melhor compreensão dos resultados obtidos pela simulação dos cenários propostos, a análise foi dividida em duas partes. A primeira parte expõe as imagens geradas pelo programa ANSYS, onde foram analisados os aspectos da influência do aumento e redução do tamanho das aberturas na distribuição e velocidade do fluxo de ar no interior dos ambientes em estudo (Recepção e Biblioteca). Assim, a análise da distribuição levou em conta o preenchimento dos volumes modelados pelas linhas gráficas utilizadas pelo programa para representar o movimento do fluxo de ar. A análise da velocidade levou em conta as cores das linhas gráficas que representam a escala de velocidade do ar. Para este trabalho, considera-

se que estes dois aspectos são importantes, principalmente, como indicativos de conforto térmico; pois estão relacionados com a área beneficiada pela ventilação natural (distribuição) e a velocidade do ar nesta área (capacidade de refrescamento).

A segunda parte aborda os valores de velocidade do fluxo do ar para as aberturas de entrada e saída. Assim, a análise levou em conta a influência do aumento ou diminuição das aberturas de entrada e saída nas suas respectivas velocidades. Para este trabalho, considera-se que este aspecto é importante para a identificação de estratégias de resfriamento passivo, como por exemplo: a necessidade de aumento da velocidade do fluxo de ar em uma área específica próxima a janela; a combinação de tamanhos diferenciados de abertura para acelerar a entrada ou saída do ar. Visando a melhor visualização dos resultados, a comparação entre os cenários foi feita por meio de gráficos gerados pelo programa Excel a partir da inserção dos valores presentes no relatório de saída do programa CFX.

4.3.2.1. Cenário 1 – ângulo de incidência Leste e velocidade do vento de 1,5m/s

A comparação entre os resultados (Figura 50) aponta que o modelo com aberturas 20% maiores (MR+20%) apresenta o melhor desempenho em termos de uniformidade de distribuição do fluxo de ar no volume modelado. O grande preenchimento por linhas correspondentes a escala de cor próxima a 1 m/s, também aponta o potencial para o melhor escoamento do fluxo de ar. O modelo real (MR) e o modelo com 10% a mais de abertura se assemelham, não apresentando uma distribuição tão uniforme quanto ao modelo MR+20%. No entanto, o modelo MR-10% apresenta bons níveis de velocidade interna, principalmente no ambiente da recepção. O modelo com redução de 10% nas aberturas (MR-10%) apresentou a pior distribuição no ambiente da biblioteca e velocidades internas na faixa do 0,5 m/s. No modelo com redução de 20% nas aberturas (MR-20%) foi identificada a pior distribuição do fluxo de ar no ambiente da recepção e velocidades muito baixas na média, em torno de 0,09 m/s em grande parte do volume interno.

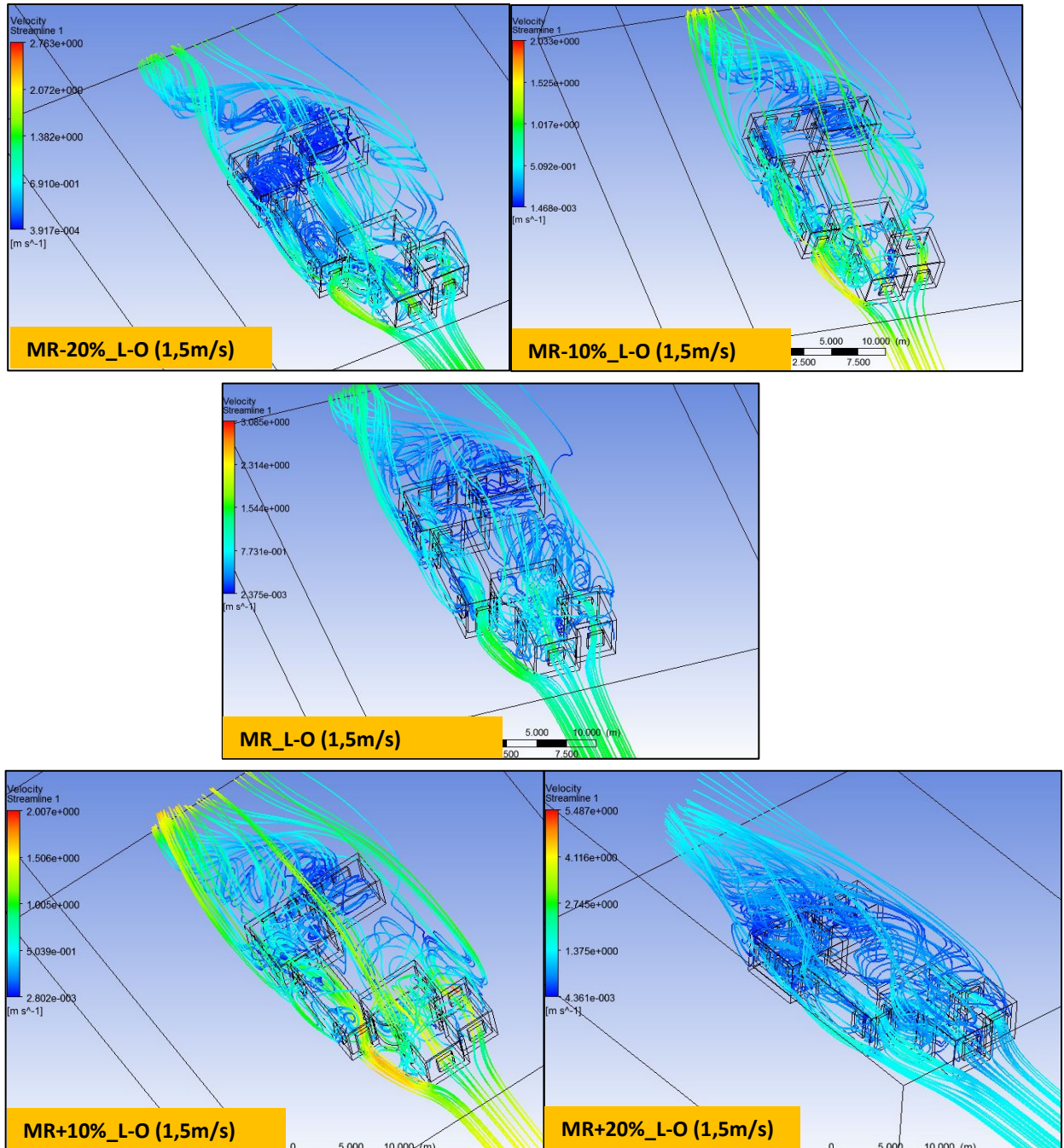


Figura 50 – Resultados dos modelos simulados para o ângulo de incidência L-O e velocidade do vento de 1,5m/s

Em relação aos valores de velocidade do fluxo do ar nas aberturas de entrada e saída (Gráfico 9), os resultados apontam que o modelo MR+20% apresenta as maiores velocidades em todas as aberturas em relação ao modelo real, com exceção da janela “j6” (abertura de saída). Os modelos MR+10%; MR-10% e MR-20% apresentaram velocidades semelhantes em relação às aberturas de entrada. No entanto, estes modelos apresentaram velocidades diferentes nas aberturas de saída (j7; j8; j9 e j10), em que o modelo MR-10% apresentou as maiores velocidades.

Destaca-se que o modelo real (MR), no geral, apresentou as menores velocidades nas aberturas em relação aos demais modelos.

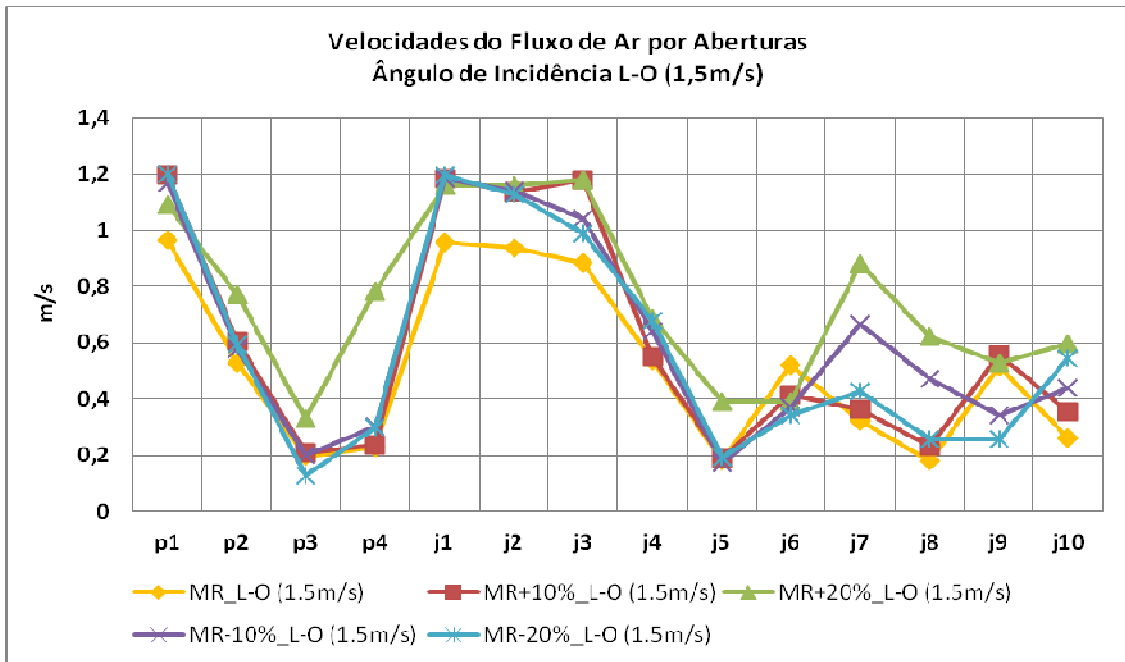
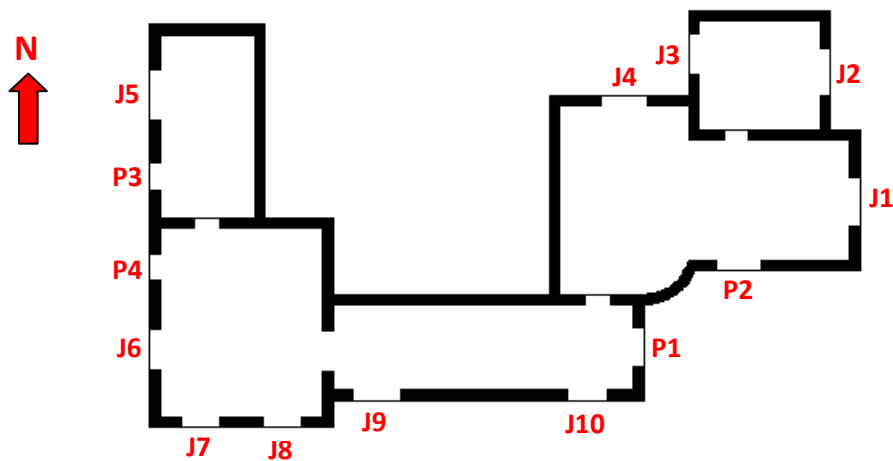


Gráfico 9 – Resultados dos modelos simulados com o ângulo de incidência L-O e velocidade do ar de 1,5m/s



4.3.2.2. Cenário 2 – ângulo de incidência Leste e velocidade do vento de 3,0m/s

Os resultados dos modelos do cenário 2 apresentaram aspectos semelhantes aos do cenário 1; onde o modelo MR+20% apresentou o melhor desempenho em termos de uniformidade de distribuição do fluxo e velocidade do ar nos ambientes (Figura 51). Os modelos MR+10% e MR-10% apresentaram velocidades no fluxo em

torno de 3m/s no interior do ambiente da recepção, ficando os modelos MR-20% e MR um pouco abaixo desse valor (2,5m/s aproximadamente). Assim como no cenário 1, o ambiente da biblioteca apresentou o pior aspecto de distribuição no modelo MR-10%.

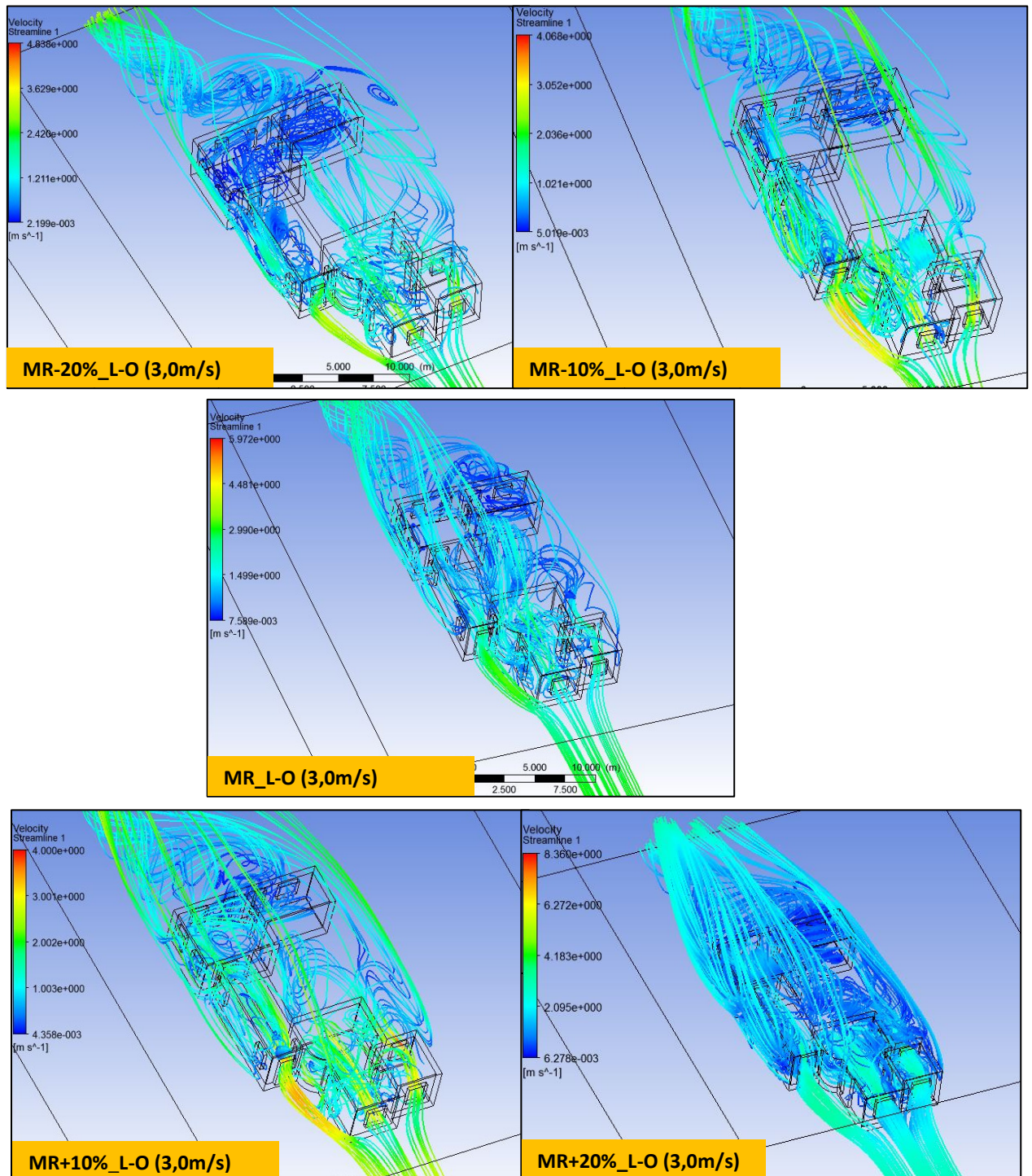


Figura 51 – Resultados dos modelos simulados para o ângulo de incidência L-O e velocidade do vento de 3,0m/s

Em relação às velocidades do fluxo de ar por aberturas de entrada e saída, o modelo MR+20% apresentou os maiores valores em relação aos demais modelos do cenário 2 (Gráfico 10). No entanto, os modelos apresentaram resultados com diferenças mínimas, na maioria das aberturas, com exceção da abertura laterais (j7; j8; j9; e j10) Nestas aberturas houve diferenças na ordem de 0,5 m/s a 1,5 m/s.

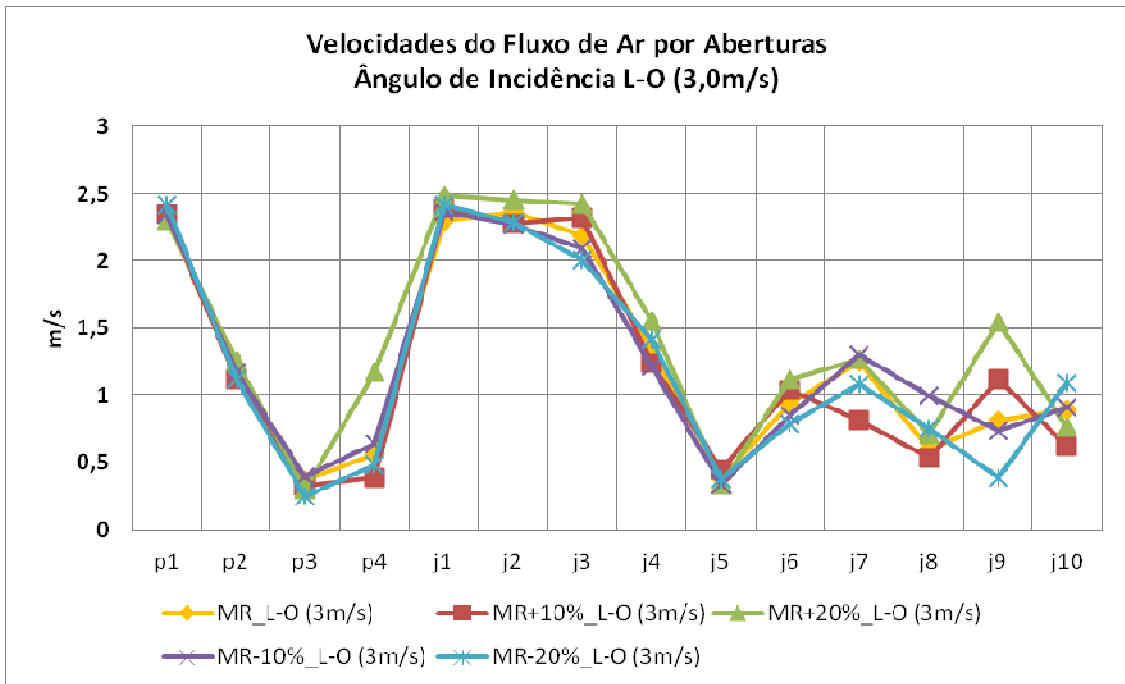
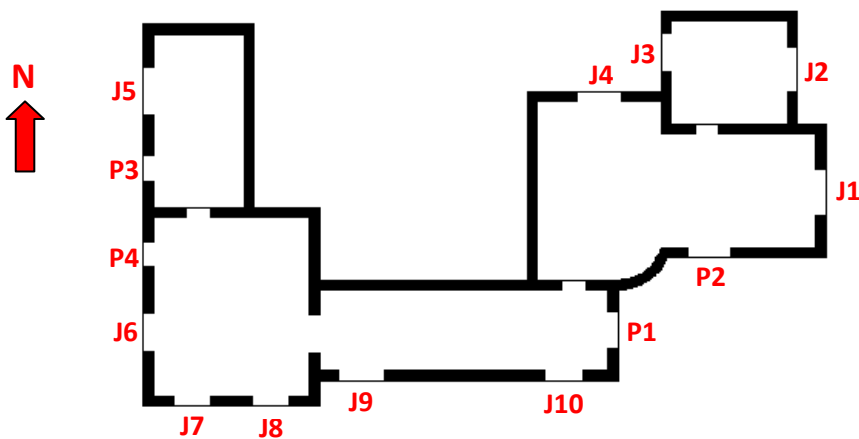


Gráfico 10 – Resultados dos modelos simulados com ângulo de incidência L-O e velocidade do ar de 3,0m/s



4.3.2.3. Cenário 3 – ângulo de incidência Norte e velocidade do vento de 1,5m/s

Para o cenário 3 o modelo MR+20% e MR+10% apresentaram os melhores resultados quanto à distribuição uniforme do fluxo de ar nos ambientes em relação

aos demais modelos (Figura 52). Os modelos MR e MR-10% apresentaram o pior desempenho quanto à distribuição do fluxo no ambiente da biblioteca. De forma geral, todos os modelos apresentaram velocidades internas semelhantes, no entanto os modelos MR+10% e MR+20% apresentaram os melhores resultados.

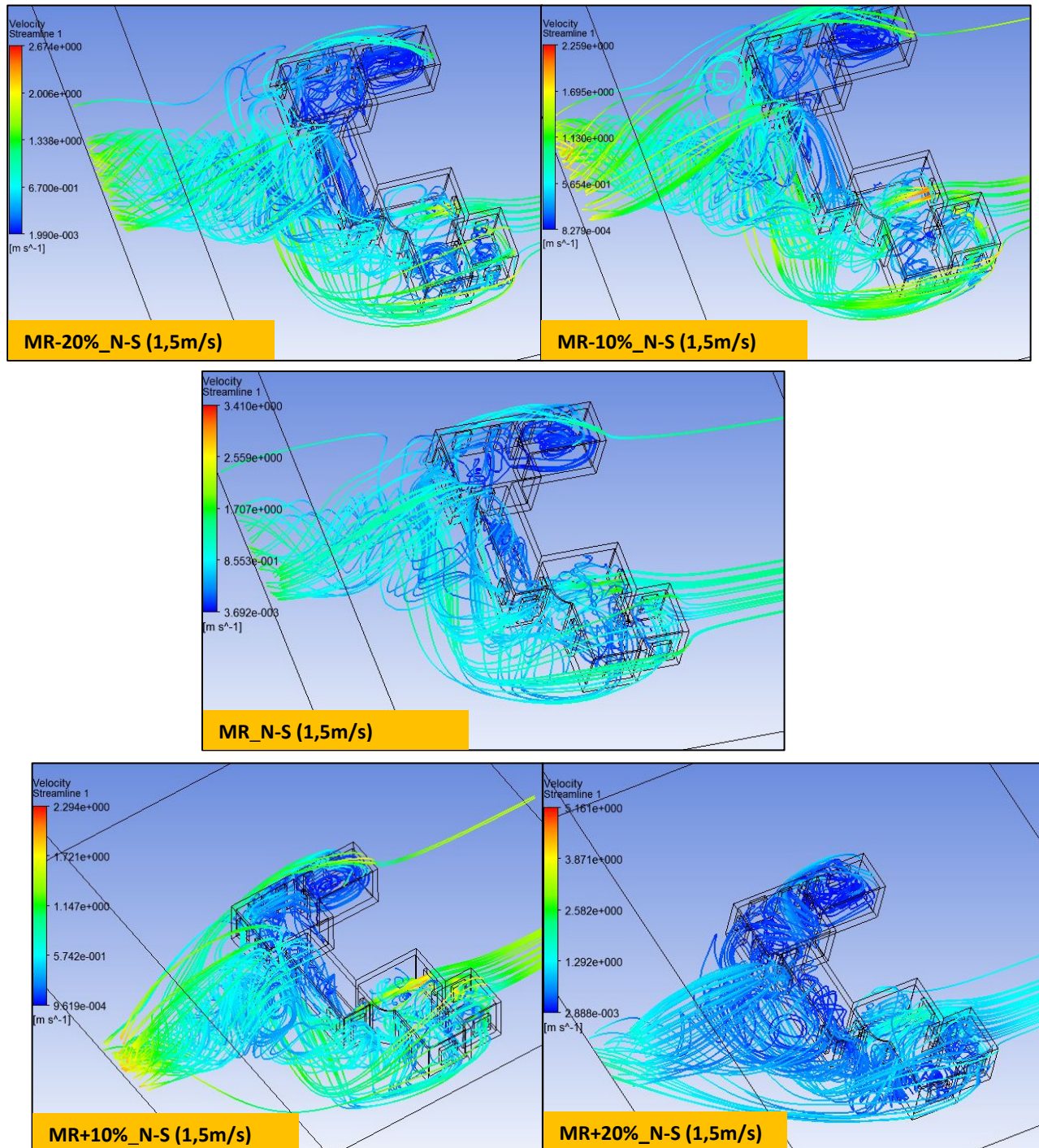


Figura 52 – Resultados dos modelos simulados para o ângulo de incidência N-S e velocidade do vento de 1,5m/s

Os resultados do cenário 3 para as velocidades do fluxo de ar nas aberturas apontaram o modelo MR-10% com os valores mais elevados nas aberturas de saída “p1”; “p2”; “j6” e “j8”. O mesmo modelo também apresentou bons valores para as demais aberturas de entrada, principalmente “j1”; “j3”; e “j4”. O modelo MR+20% apresentou as velocidades mais baixas nas aberturas de saída (Gráfico 11).

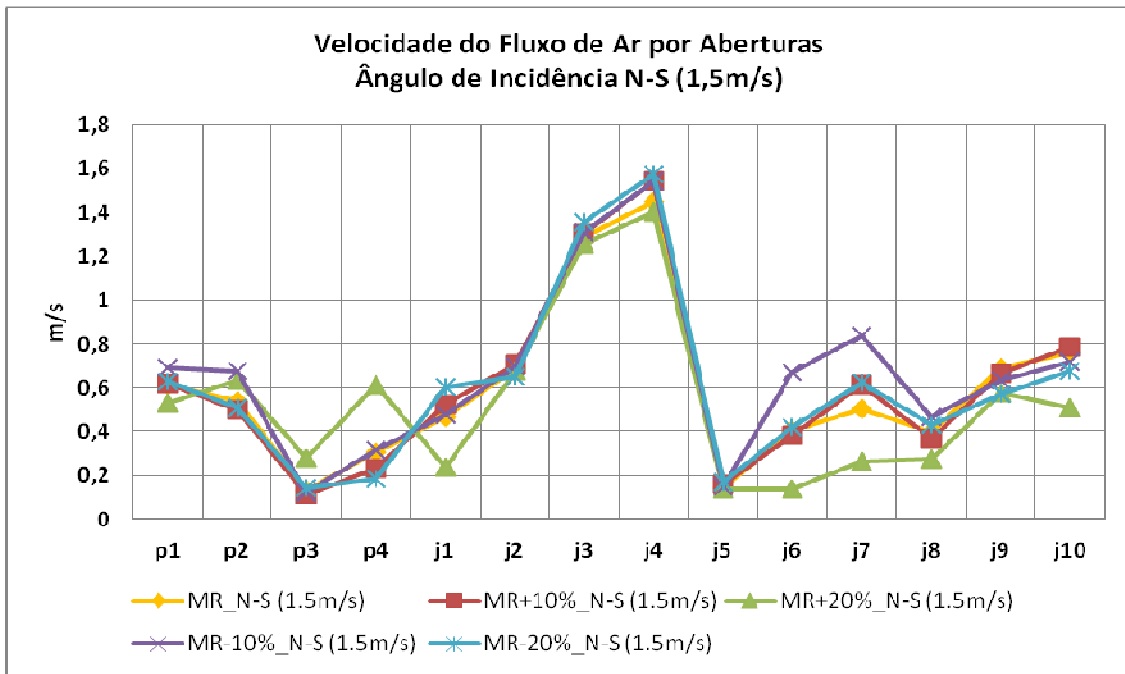
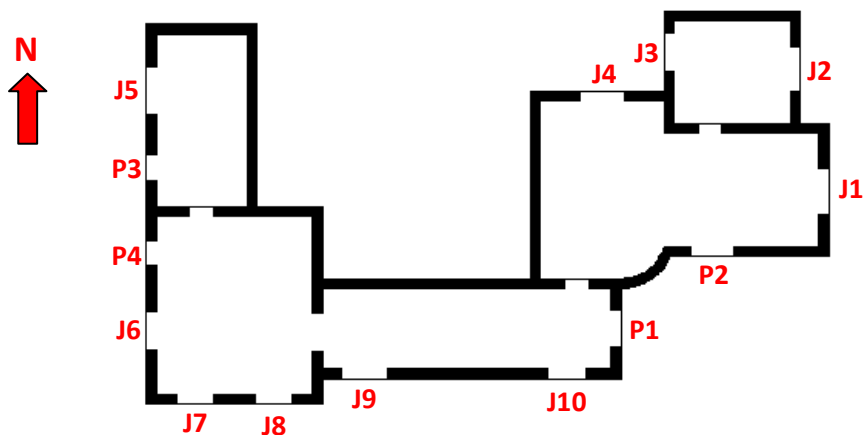


Gráfico 11 – Resultados dos modelos simulados com ângulos de incidência N-S e velocidade do ar de 1,5m/s



4.3.2.4. Cenário 4 – ângulo de incidência Norte e velocidade do vento de 3,0m/s

No cenário 4 o modelo MR+10% apresentou os melhores resultados quanto a distribuição do fluxo de ar nos ambientes. Os modelos MR e MR-10% apresentaram menor uniformidade na distribuição do fluxo de ar nos ambientes de forma geral (Figura 53). Em termos de velocidade do fluxo no espaço interno, os modelos MR+10%

e MR-10% apresentaram as maiores velocidades no ambiente da recepção, chegando a valores acima de 3,0 m/s. No entanto o modelo MR+10% obteve velocidades maiores no ambiente da biblioteca. Os modelos MR e MR-20% apresentaram as menores velocidades internas.

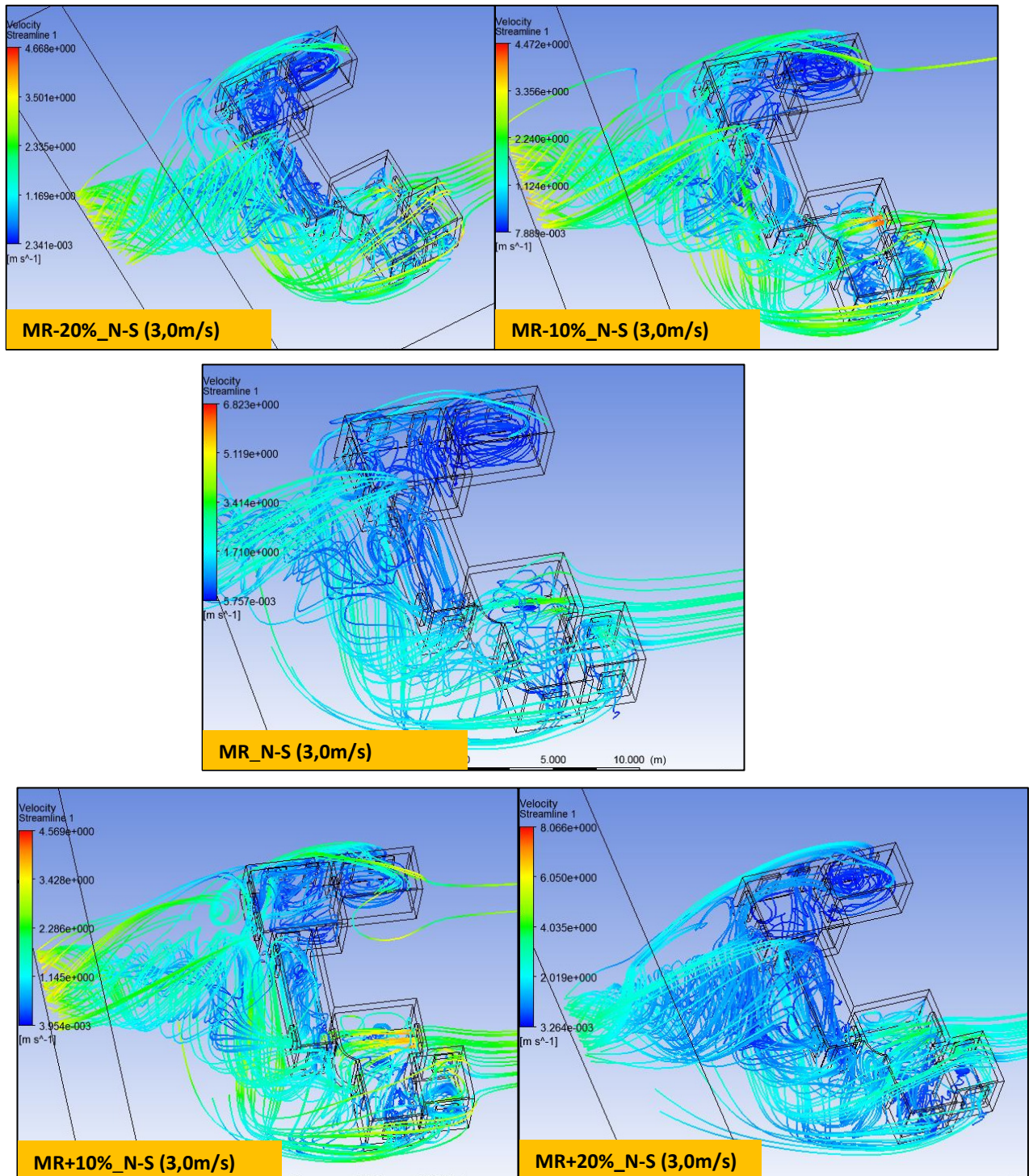


Figura 53 – Resultados dos modelos simulados para o ângulo de incidência N-S e velocidade do vento de 3,0m/s

Para as velocidades do ar nas aberturas o modelo MR-10% apresentou, de forma geral, as maiores velocidades, principalmente nas aberturas de saída “p1”, “p2” e “j7”; assim como na abertura de entrada “j6”. O modelo MR apresentou as menores velocidades nas aberturas de entrada “j2”, “j3” e “j4”. Já o modelo MR+20% apresentou as menores velocidades para as aberturas “p1”, “j1”, “j6”, “j7” e “j8” (Gráfico 12).

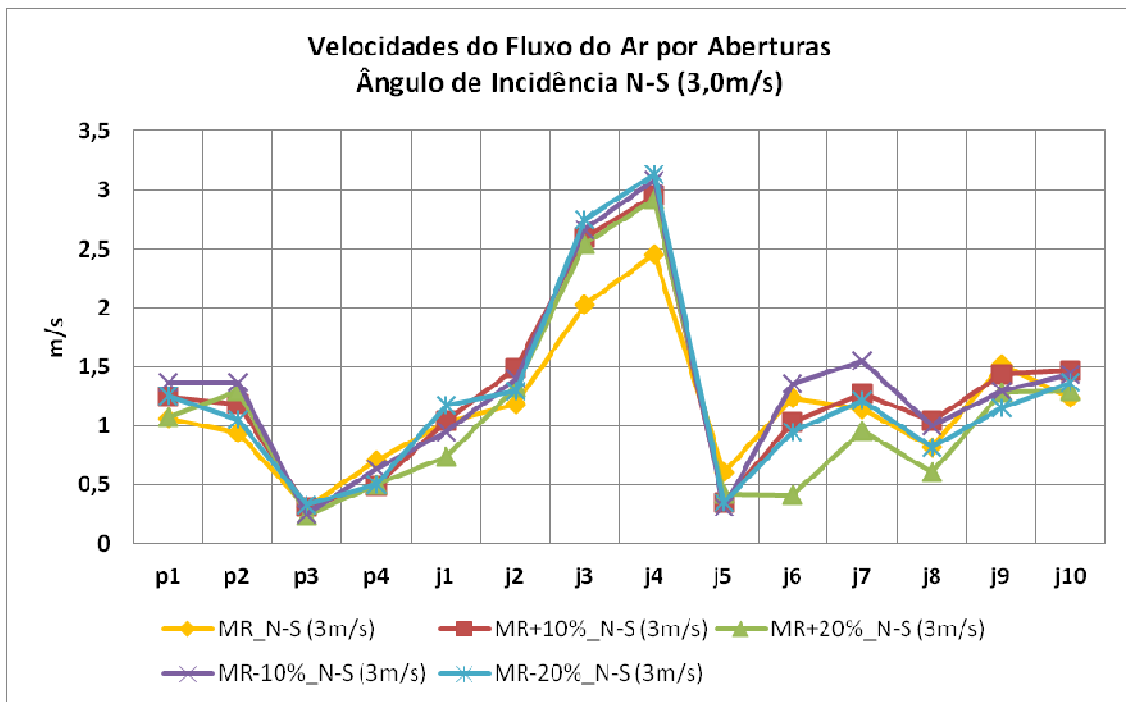
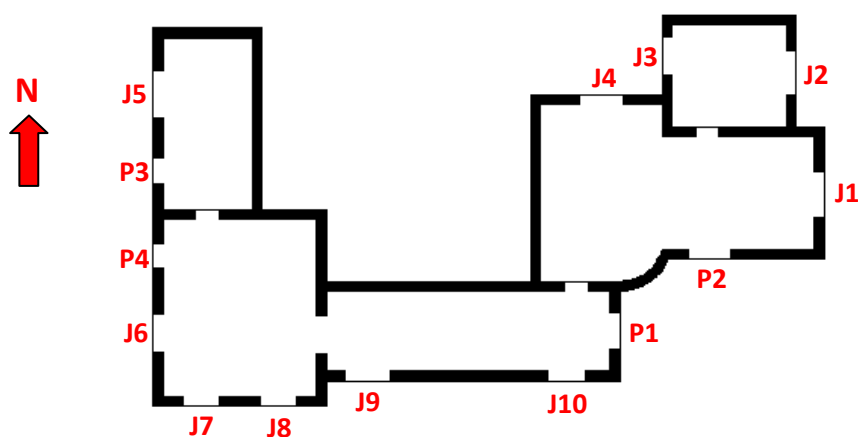


Gráfico 12 – Resultados dos modelos simulados com ângulos de incidência N-S e velocidade do ar de 3,0m/s



Com base nos resultados obtidos nas simulações dos cenários, foi elaborada uma tabela resumo (Tabela 5). Nesta tabela foram marcados na cor azul os aspectos

positivos e em laranja os aspectos negativos encontrados por meio da comparação dos modelos para cada cenário. Ou seja, o (s) modelo (s) que apresentou a melhor uniformidade na distribuição do fluxo de foi marcada em azul e o (s) modelo (s) que apresentou pior distribuição no fluxo de ar foi marcado em laranja. O mesmo foi feito para os modelos que apresentaram as maiores ou menores velocidades no fluxo interno; e as maiores ou menores velocidades nas aberturas de entrada e saída.

Tabela 5 – Tabela Resumo dos resultados para cada cenário.

	Cenário 1 (L -1,5ms)			Cenário 2 (L-3m/s)			Cenário 3 (N-1,5m/s)			Cenário 4 (N-3m/s)		
	Distrib.	V.I	V.A	Distrib.	V.I	V.A	Distrib.	V.I	V.A	Distrib.	V.I	V.A
MR-20%												
MR-10%												
MR												
MR+10%												
MR+20%												

“Distrib” – distribuição do fluxo de ar nos ambientes de forma geral;
 “V.I” – velocidade interna do fluxo de ar nos ambientes de forma geral;
 “V.A” – velocidade por aberturas de entrada e saída.

CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, as conclusões do trabalho são dispostas nos tópicos a seguir.

5.1. Conclusões Gerais do Aproveitamento da Ventilação Natural no Estudo de Caso

Os dados coletados junto ao INMET relativos a temperatura média do ar na cidade, em torno de 23 °C, e velocidade média dos ventos de 3,0 m/s; são aspectos favoráveis para o aproveitamento da ventilação natural como estratégia de resfriamento passivo. Apontam que a velocidade e temperatura do ar possuem capacidade de calor das superfícies nos espaços internos e capacidade de resfriamento da pele do corpo humana, tendo como base os conceitos apresentados no referencial teórico sobre conforto térmico e conforto adaptativo.

Os aspectos da malha urbana da cidade, a massa edificada pouco verticalizada (em média três pavimentos), áreas livres sem elementos de obstrução da circulação da ventilação; entre outros, também foram identificados como positivos para o aproveitamento da ventilação natural. Além disso, a edificação/estudo de caso possui uma localização favorável, pois está situada em um dos pontos mais altos do relevo da cidade (aproximadamente 12 metros acima em relação ao nível mais baixo do relevo); com uma área livre considerável voltada para a orientação predominante dos ventos (Leste); as edificações situadas nas demais orientações não representam elementos consideráveis de obstrução dos ventos.

Para reforçar estas afirmações, as simulações de pressão do vento na fachada Leste demonstraram que mesmo com as edificações do entorno imediato o fluxo de ar chega com 52% da pressão total possível para velocidade do vento de 1,5 m/s. Para a fachada Norte (orientação com segunda maior incidência dos ventos), as simulações de pressão apontaram a o fluxo de ar chega com 72% da pressão total possível para a velocidade do vento de 1,5 m/s.

Com relação à influência das edificações do entorno na velocidade do vento que chega a edificação/estudo de caso, as simulações apontaram que, para a orientação Leste de incidência, existe um aumento de 1,5 m/s para aproximadamente 4,0 m/s na velocidade do fluxo que atinge a fachada sul da edificação. Fato semelhante foi identificado nas simulações para o ângulo de incidência Norte, onde ocorre uma aceleração do fluxo do ar que atinge as aberturas na parte superior da fachada ocasionada pela edificação do entorno. A única obstrução significativa identificada nas

simulações para a incidência Norte, foi para as aberturas localizadas na parte inferior da fachada.

5.2. Conclusões sobre a Edificação/Estudo de Caso quanto ao Aproveitamento da Ventilação Natural

As medições de temperatura e velocidade do ar no interior dos ambientes selecionados e as anotações do pesquisador (Gráficos 4 e 5, e Tabela 4), apontam que a ventilação natural é decisiva para a sensação de conforto térmico no estudo de caso. Os ambientes 1; 5 e 14, apresentaram bons níveis de velocidade do vento (aproximadamente entre 0,8 m/s e 1,4 m/s) além de um grande período de sensação térmica “agradável” ao longo do dia. Já o ambiente 10, onde não existe o aproveitamento a ventilação natural, apresentou as temperaturas do ar mais elevadas ao longo do dia; além de permanecer das 09:00h às 17:00h com o status de “desconforto” anotado pelo pesquisador. Tal fato indica que a ventilação natural é fundamental para o conforto térmico na edificação.

A importância da ventilação natural na edificação também foi um ponto de destaque nas respostas dos funcionários aos questionários aplicados ao longo do trabalho. Analisando os Gráficos 6, 7 e 8 fica claro que em 64% das respostas, os funcionários alegaram estar “neutros” ou “levemente com calor”; e apenas 36% das respostas indicaram o claro desconforto com relação à sensação térmica (calor). Esta indicação fica ainda mais sustentada tendo em vista as respostas dadas para a pergunta “de que maneira você se encontra neste momento?”. Em 64% das respostas os funcionários alegaram estar se sentindo “confortáveis” ou “levemente confortáveis”; e em apenas 36% das respostas alegaram estar “inconfortáveis”. Destaca-se que para essa mesma pergunta havia a opção “muito inconfortável”, não sendo marcada em nenhum dos 44 questionários respondidos.

Por fim, quando questionados de “como preferiam estar se sentindo?” apenas 18% das respostas foram para “assim mesmo”; e 64% preferiam estar “um pouco mais refrescados”. Este fato lembra muito o tema abordado por Dear et al. (1997), e mencionado na revisão bibliográfica, sobre o fato das pessoas em climas quentes preferirem estar sob temperaturas mais baixas do que a temperatura ideal (neutralidade). Desta forma, este trabalho considerou que a opção “um pouco mais refrescado” não significaria que o respondente estivesse em desconforto; mas sim, dentro da faixa de aceitabilidade térmica.

As indicações do bom desempenho térmico da edificação possibilitado pelo uso da ventilação natural obtidas pela análise dos resultados coletados em campo

complementam os resultados obtidos na simulação da edificação real no programa CFX. Como visto no 4.3.1, a edificação apresentou bons resultados em termos de distribuição e velocidade do fluxo de ar em grande parte do espaço interno; com destaque para os dois ambientes com grande ocupação (Biblioteca e Recepção). A exceção ficou por conta dos ambientes situados mais ao fundo do lote, como a Sala de Reunião; Cozinha e Banheiros. Pode-se destacar que os bons resultados se devem ao conjunto de fatores que compõem os aspectos gerais (apresentados no item 5.1); aliados a quantidade, disposição e tamanho das aberturas. Desta forma, ressalta-se que a distribuição e a quantidade de aberturas também são fatores fundamentais para os resultados encontrados em relação ao comportamento do fluxo de ar no estudo de caso. No entanto, este trabalho teve como foco apenas o estudo da influência do tamanho das aberturas na ventilação natural.

5.3. Conclusões sobre os Modelos e Cenários Propostos

Com base no trecho da edificação analisado, os resultados dos modelos e cenários simulados apontam que o aumento do tamanho das aberturas representa a melhor solução caso fosse pretendido aumentar os níveis de distribuição e velocidade do fluxo de ar na edificação. Os modelos com aumento de 10% e 20% apresentaram os melhores resultados para os cenários com alteração de velocidade e ângulo de incidência do vento externo.

Principalmente para o ângulo de incidência Leste (Cenários 1 e 2), o modelo com aumento de 20% nas aberturas (MR+20%) apresentou os melhores resultados em relação aos demais modelos. Para este mesmo ângulo de incidência, o modelo com redução de 10% (MR-10%) apresentou os piores resultados quanto a distribuição interna do fluxo de ar nas duas velocidades simuladas; e o modelo MR-20% apresentou os piores resultados quanto à velocidade interna. Ainda em relação ao ângulo de incidência Leste, o modelo real apresentou o pior resultado quanto a velocidade nas aberturas de entrada e saída do fluxo de ar para velocidade de 1,5 m/s. Já para velocidade de 3,0 m/s o modelo MR-20% apresentou o pior resultado para velocidade nas aberturas de entrada.

Para o ângulo de incidência Norte (Cenários 3 e 4) o modelo MR+20% apresentou a melhor distribuição no fluxo de ar para a velocidade de 1,5 m/s; e o modelo MR+10% apresentou o melhor resultado para a velocidade de 3,0 m/s. Estes dois modelos também se destacaram em relação a velocidade interna do fluxo de ar nos dois cenários. Os modelos MR e MR-10% apresentaram os piores resultados para o ângulo de incidência Norte, nas duas velocidades simuladas. O modelo MR-20%, assim como nos Cenários 1 e 2, apresentou os piores resultados quanto a velocidade interna

do fluxo de ar. Destaca-se que o modelo MR-10% apresentou os melhores resultados quanto a velocidade nas aberturas de entrada e saída para o ângulo de incidência Norte; bem como o modelo MR+20% apresentou os piores resultados para este mesmo aspecto.

Pode-se concluir, portanto, que quando o vento incide do Norte para o Sul a configuração e posicionamento das aberturas faz com que a redução de 10% em todas as aberturas aumente a velocidade do ar nas entradas e saídas de ar. Fato inverso ocorre com o aumento das aberturas em 20%. No entanto, de forma geral, o aumento das aberturas representou uma melhor distribuição no fluxo de ar interno e em sua velocidade de escoamento. Desta forma, o aumento das aberturas, principalmente em 20%, representa a melhor solução dos cenários simulados.

Importante destacar que a possível necessidade de aumento da velocidade do fluxo de ar que escoam pelos ambientes da edificação, tendo em vista as respostas dos usuários em relação à sensação de conforto/refrescamento, deve ser considerada em conjunto com outros fatores. Por exemplo, as implicações da velocidade interna do ar de 2,5 m/s pode ocasionar transtornos como o vôo de papéis e “desarranjo” de penteados; como abordado na revisão bibliográfica. Também devem ser consideradas as implicações do aumento excessivo das aberturas em relação aos ganhos de carga térmica e a privacidade inerente a cada atividade desenvolvida nos ambientes.

Por fim, com base nos objetivos estabelecidos, as conclusões se resumem nos seguintes pontos:

- A comparação entre os resultados das simulações computacionais e levantamentos realizados no local foram fundamentais para a compreensão das necessidades dos usuários, importância dos aspectos urbanos e do entorno imediato sob o potencial de aproveitamento e possível otimização da ventilação natural na edificação.
- A abordagem integrada, realizada neste estudo, possibilitou uma análise mais precisa dos aspectos da ventilação natural na edificação e em seus ambientes; identificando deficiências e possibilidades.
- Com os modelos e cenários propostos foi possível identificar a influência do tamanho das aberturas para ângulos de incidência e velocidade diferentes. De forma geral, o modelo com aumento de 20% na área de abertura apresentou os melhores resultados para a distribuição e velocidade interna do fluxo de ar.

- A quantificação precisa da distribuição e velocidade interna do fluxo de ar não foi possível, devido ao tipo de representação gráfica fornecida pelo programa ANSYS. A escala de cores dificulta afirmação de velocidades médias por ambiente, por exemplo. No entanto, o tipo de visualização dos resultados fornecida pelo programa foi fundamental para a compreensão do comportamento da ventilação natural no estudo de caso, e satisfatória para identificação da influência do tamanho das aberturas na velocidade e distribuição do fluxo interno do ar.
- Foi possível a quantificação das velocidades nas aberturas de entrada e saída de ar; pois os valores precisos e individualizados são fornecidos pelo relatório do programa. Assim, após dispostos nos gráficos (Gráficos 9 a 12), pode-se comparar cada abertura dos modelos em cada cenário. Tal aspecto pode ser utilizado no desenvolvimento de estratégias de resfriamento passivo específicas para a edificação.
- Os resultados apresentaram que o estudo individualizado e detalhado de cada caso é o mais recomendável quando se trata de ventilação natural. As simulações computacionais em conjunto com a percepção do pesquisador e opinião dos usuários geraram análises mais seguras, aumentando as chances de sucesso em possíveis melhorias.

5.4. Sugestões para trabalhos futuros

- Como mencionado, os aspectos de distribuição e posicionamento das aberturas também são importantes para o comportamento da ventilação natural no interior da edificação. Em um futuro estudo que aborde tema semelhante, se pode realizar simulações de modelos com a alteração destes aspectos.
- Visando averiguar a influência do entorno sob o estudo de caso, poderiam ser propostos cenários onde fosse alterada a configuração do entorno; ou seja, aumento das alturas das edificações; aumento da densidade da massa edificada do entorno; etc.
- Simulação específica para a averiguação do conforto térmico dos usuários e consumo energético da edificação também poderiam ser realizadas; tendo como variáveis o tamanho das aberturas e velocidade interna dos ventos.

Referências

- ALLARD, F.; SANTAMOURIS, M.; ALVAREZ, S.; DASCALAKI, E.; GUARRACINO, G.; MALDONADO, E.; SCIUTO, S.; VANDAELE, L. **Natural Ventilation in Buildings**. James & James. London, 2002;
- ALLARD, F.; DASCALAKI, E.; SANTAMOURIS, M.. **Natural Ventilation Studies within the EC PASCOOL Joule II Project**. Air Infiltration Review. v.17, n.4, p.1-4. 1996;
- Agência Internacional de Energia – IEA. **Key World Energy Statistics**. Paris, 2010. (disponível em: www.iea.org);
- ALUCCI, M.; MOTEIRO, L. **Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: considerações históricas, discussão do estado da arte e proposições de classificação de modelos**. In.: Ambiente Construído. v.7, n.3, p.43-58. Associação Nacional do Ambiente Construído. INSS: 1678-8621. Porto Alegre, 2007;
- AMORIM, C.; BRAGA, D.. **Métodos e Técnicas para o Conforto Ambiental e Reabilitação do Espaço Construído**. Apostila do Curso de Pós-Graduação em Reabilitação Ambiental Arquitetônica e Urbanística – REABILITA da Universidade de Brasília. Brasília, 2009;
- AULICIEMS, A.; SZOKOLAY, S.. **Thermal Comfort**. PLEA NOTES – Passive and Low Energy Architecture International. Design Tools and Techniques, 2007;
- AYNSLEY, R.; MELBOURNE, W.; VICKERY, B.. **Architectural Aerodynamics**. Applied Science Publishers. London, 1977;
- AYNSLEY, R.. **Natural Ventilation in Passive Design**. BEDP Environment Design Guide. Tec 2. May, 2007; (disponível em: <http://www.environmentdesignguide.com.au/media/TEC02.pdf>);
- _____ **Unresolved Issues in Natural Ventilation for Thermal Comfort**. In.: International One Day Forum on Natural and Hybrid Ventilation. Technical Paper... Sydney, 1999.
- BAHADORI, M. **Passive Cooling Systems in Iranian Architecture**. Scientific American. n.2,v.238,p.144-154. 1978;
- BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C.. **Introdução à Ventilação Natural**. EdUFAL, 3ª edição. Maceió, 2008;

- BITTENCOURT, L.; SACRAMENTO, A.; LEAL, T.; CÂNDIDO, C.. **A influência do tipo de fechamento dos peitoris ventilados na velocidade e distribuição da ventilação natural em salas de aula.** In: IX Encontro Nacional sobre o Conforto no Ambiente Construído, 2007, Ouro Preto. Anais do IX Encontro Nacional sobre o Conforto no Ambiente Construído, 2007.

- BITTENCOURT, L.; LOBÔ, D.. **A influência da localização das aberturas na ventilação natural de edificações escolares.** In: V Encontro Nacional sobre o Conforto no Ambiente Construído, 1999, Ouro Preto. Anais do V Encontro Nacional sobre o Conforto no Ambiente Construído, 1999.

- BITTENCOURT, L.. **Ventilation as a Cooling Resource for Warm-Humid Climates: na investigation on perforated block wall geometry to improve ventilation inside low-rise buildings.** Tese de Doutorado. Architectural Association Graduate School. Environment and Energy Studies Programme. Londres, 1993;

- BUTERA, F.. **Da Caverna à Casa Ecológica: história do conforto e da energia.** Ed. Nova Técnica. São Paulo, 2004;

- CHANDRA, S.; SWAMI, M.. **Procedures for Calculating Natural Ventilation Airflow Rates in Buildings.** Florida Solar Energy Center. Flórida, 1987;

- COOPER, G.. **Air-Conditioning America: Engineers and the Controlled Environment, 1900-1960.** The Jonh Hopkins University Press, 1998;

- CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental.** Ed. Revan, Rio de Janeiro, 2003;

- CÓSTOLA, D.; ALUCCI, M.. **Aplicação de CFD para cálculo de coeficientes de pressão externos nas aberturas de um edifício.** In.: Ambiente Construído. v.11, n.1, p.145-158. Associação Nacional do Ambiente Construído. INSS: 1678-8621. Porto Alegre, 2011;
- Energy Information Administration – EIA. **A Look at Residential Energy Consumption in 1997.** U.S Department of Energy.Washington, 1997. (disponível em: <ftp://ftp.eia.doe.gov/pub/pdf/consumption/063297.pdf>);

- de Dear, R.; BRAGER, G.; COOPER, D.. **Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference.** Final Report ASHRAE RP – 884, 1997;

- DRACH, P.. **Modelagem Computacional e Simulação Numérica em Arquitetura Visando Conforto em Ambientes Construídos.** Tese de Doutorado. Laboratório

Nacional de Computação Científica. Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional. Petrópolis-RJ, 2007;

- ESDU 82026 - **Strong winds in the atmospheric boundary layer. Part 1: hourly-mean wind speeds.** The Source of Critical Information and and Insight. London, 1982. (disponível em: http://www.esdu.com/graphics/dataitem/di_82026e.htm);

- FAIREY, P. **Passive Cooling and Human Comfort.** Florida Energy Solar Center, FSEC Publication. Florida, 1994;

- FIRMINO, S.; GOULART, S.; LAMBERTS, R.. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras.** UFSC/Procel/Eletróbrás. Florianópolis, 1998;

- FORTUNA, A.. **Técnicas Computacionais em Dinâmica dos Fluidos – Conceitos básicos e aplicações.** Ed. EDUSP, São Paulo, 2000.

- FROTA, A.; SCHIFFER, S.. **Manual de Conforto Térmico.** Ed. Studio Nobel, 8ª edição. São Paulo, 2009;

- GIVONI, B.. **Man, Climate and Architecture.** Applied Science Publishers. London, 1976;

- _____ **Comfort Climatic Analysis and Building Design Guidelines.** Energy and Building, v.18, n.1, pp.11-23, 1992;

- CLARKE, R.; CLIFFORD, M.; EVERITT, P.; RIFFAT, S.. **Using Computacional Fluid Dynamics as a Design Tool for Naturally Ventilated Buildings.** Building and Environment, vol.32, n.4, pp.305-312, 1997;

- GROSSO, M.; RAIMONDO, L.; PARISI, E.; SIMONETTI, M.; DELL'ANNA, F.; CASSIBBA, M.. **Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato.** Maggioli Editore. Roma, 2008;

- HAGHIGHAT, F.; LIN, Y.; MEGRI, A.. **Zonal Model – A Simplified Multiflow Element Model.** In.: First International One Day Forum on Natural and Hybrid Ventilation, HybVent Forum, Technical Paper. Sydney, 1999;

- HUMPHREYS, M.; NICOL, J.. **The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments.** Energy and Buildings. n.34, p.667-684. 2002;

- KOENIGSBERGER, O.; INTERSOL, T.; MAYHEW, S.; SZOKOLAY, S.. **Manual of Tropical Housing and Building**. Part I: Climatic Design. London, 1974;
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo, Ed. PW Editores, 1997;
- LAMBERTS, R.; XAVIER, A.. **Conforto Térmico e Stress Térmico**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002. (disponível em: www.dec.ufms.br/lade/docs/cft/ap-labeee.pdf);
- LIDDAMENT, M.. **Air infiltration calculation techniques – an applications guide**. Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC), 1986;
- _____ **Ventilation and Building Sickness – A brief review**. Air Infiltration Review. v.11, n.13, p.4-6; february-april, 1990;
- LÔBO, D.; BITTENCOURT, L.. **A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos**. In: VI Encontro Nacional sobre o Conforto no Ambiente Construído, 2001, São Paulo. Anais do VI Encontro Nacional sobre o Conforto no Ambiente Construído, 2001.
- MASSEY, B.; SMITH, J.. **Mechanics of Fluids**. Taylor & Francis. London, 2002;
- MATOS, M.. **Simulação Computacional do Desempenho Térmico de Residências em Florianópolis Utilizando a Ventilação Natural**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.
- MATSON, E.; SHERMAM, H.. **Why We Ventilate Our Houses – An Historical Look**. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, American Council for an Energy Efficient Economy, Volume 7, Pacific Grove, CA, p.241-250. Washington, 2004;
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2009**: ano base 2008. Brasília: MME, 2009.
- NAGENGAST, B.. **A History of Comfort Cooling Using Ice**. ASHRAE Journal, 1999.
- NICOL, J.; RAJA, I.; ALLAUDIN, A.; JAMY, G.. **Climatic variations in comfortable temperatures: the Pakistan projects**. Energy and Buildings. n.30, p.261-279. 1999;

- OLGAY, V.. **Design with Climate**. New Jersey, Princeton University Press, U.S.A, 1963;

- OKE, T.; WIERINGA, J.; DAVENPORT, A.; GRIMMOND, C.. **New Revision of Davenport Roughness Classification**. In: 3rd European & African Conference on Wind Engineering. Netherlands, 2001.

- QUEIROZ, N.. Tutorial ANSYS Workbench 11.0 – Simulação com CFD de escoamento de fluxo ao redor de um edifício de 10 andares. Laboratório de Conforto Ambiental – LABCON/UFRN, 2008. (disponível em: www.labcon.ct.ufrn.br/arquivos/TutorialAnsysWorkbench.pdf)

- ROMERO, Marta A. B.. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. ProEditores, 2ª edição, São Paulo, 2000;

- _____ **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. Ed. Universidade de Brasília (3ª reimpressão), Brasília, 2007;

- _____ **Arquitetura do Lugar: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília**. Ed. Nova Técnica. São Paulo-SP, 2011;

- ROMÉRO, M.; ORNSTEIN, S.. **Avaliação Pós-Ocupação Métodos e Técnicas Aplicadas à Habitação Social**. Coleção HABITARE/FINEP. Porto Alegre, 2003;

- SANTAMOURIS, M., ASIMAKOPOULOS, D.. **Passive Cooling of Buildings**. James & James. London, 1996;

- SCHMID, A.. **A Idéia de Conforto – reflexões sobre o ambiente construído**. Ed. Pacto Ambiental. Curitiba, 2005;

- SILVA, P.. **Simulação Numérica e de Campo para Avaliação de um Sistema por Resfriamento Evaporativo em uma Praça de Alimentação**. Projeto Final de Graduação em Engenharia Mecânica. Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília. Brasília, 2011;

- SOUZA, V.. **A influência da ocupação do solo no comportamento da ventilação natural e na eficiência energética em edificações. Estudo de caso em Goiânia – Clima Tropical de Altitude**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília, 2006;

- TOLEDO, A.. **Critérios para o dimensionamento de aberturas de ventilação natural dos edifícios.** In: VI Encontro Nacional sobre o Conforto no Ambiente Construído, 2001, São Paulo. Anais do VI Encontro Nacional sobre o Conforto no Ambiente Construído, 2001.

- YAO, R.; LI, B.; LIU, J.. **A Theoretical Adaptative Modelo f Thermal Comfort – adaptative predicted mean vote (aPMV).** Building and Environment. n.44, p.2089 – 2096. 2009;

ANEXO - 1

Ficha de Avaliação de Conforto e Aceitabilidade Térmica				
Quesito 1				
Idade		Altura		Peso
Sexo	() Masculino	() Feminino	Horário do preenchimento	
Quesito 2 - Tabela conforme ISO 9920/95				
Marque as vestimentas que está usando				
Roupas de Baixo e Acessórios		Blusa leve fina de manga curta		
Sapato com sola fina		Camiseta		
Sapato com sola grossa		Calças		
Sandálias		Calça curta (bermuda)		
Botinas		Calça de tecido fino		
Meia soquete fina		Calça jeans		
Meia soquete grossa		Calça grossa de lã ou flanela		
Meia de nylon longa fina		Vestidos e Saias		
Meia calça com pernas longas		Saia leve, de verão		
Meia calça com pernas curtas		Saia pesada de inverno		
Cueca		Vestido de verão, mangas curtas		
Calcinha		Vestido de inverno, mangas longas		
Soutien		Vestido completo, fechado		
Camiseta de baixo		Casacos e Suéteres		
Camiseta de baixo manga longa		Colete sem mangas fino		
Gravata		Colete sem mangas grosso		
Camisas e Blusas		Suéter manga longa fino		
Camisa de manga curta		Suéter manga longa grosso		
Camisa de manga longa tecido fino		Jaqueta leve		
Camisa de manga longa tecido normal		Jaqueta, normal		
Camisa de flanela ou moletom		Paletó		
Blusa leve fina, manga longa		Paletó de verão, blazer		
Quesito 3 - Tabela de percepção (ISO 10551/95)				
<i>"Com relação a sua sensação térmica, como você está se sentindo nesse momento?"</i>				
Com muito calor				
Com calor				
Levemente com calor				
Neutro				
Levemente com frio				
Com frio				
Com muito frio				
Quesito 4 - Tabela de Avaliação (ISO 10551/95)				
<i>"De que maneira você se encontra neste momento?"</i>				
Confortável				
Levemente confortável				
Inconfortável				
Muito inconfortável				
Quesito 5 - Tabela de Preferências Térmicas (ISO 10551/95)				
<i>"Como você preferia estar se sentindo agora?"</i>				
Mais aquecido				
Assim mesmo				
Um pouco mais refrescado				
Mais refrescado				
Bem mais refrescado				

