



UFRJ

**VENTILAÇÃO NATURAL E QUALIDADE DO AR EM ESCRITÓRIO
CARIOCA: ANÁLISE E PROPOSTAS PARA O EDIFÍCIO BARÃO DE
LADÁRIO**

Marco Antonio Lacerda

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura, área de concentração em Sustentabilidade, Conforto Ambiental e Eficiência Energética.

Orientador: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos

Rio de Janeiro
Abril de 2014

VENTILAÇÃO NATURAL E QUALIDADE DO AR EM ESCRITÓRIO
CARIOCA: ANÁLISE E PROPOSTAS PARA O EDIFÍCIO BARÃO DE
LADÁRIO

Marco Antonio Lacerda

Orientador: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura, Linha de pesquisa em Sustentabilidade, Conforto Ambiental e Eficiência Energética.

Aprovada por:

Presidente, Prof. Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos, D.Sc.

Prof^a Cláudia Mariz de Lyra Barroso-Krause, D.Sc.

Prof. Eduardo Breviglieri Pereira de Castro, D.Sc.

Prof^a Maria Julia de Oliveira Santos, D.Sc.

Rio de Janeiro

Abril de 2014

Lacerda, Marco Antonio.

Ventilação natural e qualidade do ar em escritório carioca: análise e propostas para o Edifício Barão de Ladário/ Marco Antonio Lacerda. - Rio de Janeiro: UFRJ/ FAU, 2014.

xvi, f.: 172 il.; 29,7 cm.

Orientador: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ PROARQ/ Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, 2014.

Referências Bibliográficas: f. 159-165.

1. Ventilação Natural. 2. Qualidade do Ar. 3. Escritórios. I. Bastos, Leopoldo Eurico Gonçalves. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter iluminado meu caminho, por me dar serenidade, perseverança e inspiração para concluir mais esta etapa da minha vida.

Às minhas amadas, esposa Juliana e filha Marina, que são meu incentivo constante e sempre alegam o meu dia.

Aos meus pais Luiz e Iára e a minha irmã Silvia pelo contínuo incentivo aos estudos e apoio nas horas mais difíceis.

À Marinha do Brasil, em especial a Diretoria de Obras Civis da Marinha, pela oportunidade de aprofundar meus conhecimentos e crescer na profissão.

Ao meu orientador Leopoldo Bastos pelas informações valiosas, excelente orientação e por acreditar nas minhas ideias.

Aos professores Cláudia Barroso-Krause, Eduardo Breviglieri e Maria Julia por participarem da banca, contribuindo com sugestões para melhoria deste trabalho.

Aos amigos, Marília e Rafael, pela contribuição e troca de conhecimento que enriqueceram esta pesquisa.

E agradeço também à equipe do PROARQ, em especial à Maria da Guia, Rita e Vanda, sempre solícitas e dispostas a ajudar com muito profissionalismo.

RESUMO

VENTILAÇÃO NATURAL E QUALIDADE DO AR EM ESCRITÓRIO CARIOCA: ANÁLISE E PROPOSTAS PARA O EDIFÍCIO BARÃO DE LADÁRIO

Marco Antonio Lacerda

Orientador: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura.

Os edifícios de escritórios representam uma grande parcela das edificações nas grandes cidades. No centro da cidade do Rio de Janeiro-RJ, a procura desses edifícios, principalmente por grandes corporações, aliada a escassez de terrenos, tem motivado a reabilitação em prédios já edificados para atender essa demanda. De modo frequente, as soluções arquitetônicas assumidas são inadequadas para contexto de clima tropical-úmido. Usualmente, estratégias bioclimáticas como a ventilação natural para fins de conforto higrotérmico dos usuários, não constam do programa de necessidades. Em contrapartida, o condicionamento artificial do ar está sempre presente, apesar de ser potencialmente uma fonte poluidora do ar interior. Por outro lado, torna-se um desafio a ventilação natural para fins de conforto higrotérmico, em prédios de escritórios inseridos em contexto urbano denso, devido à influência da canópi urbana no regime dos ventos. Além de que no ambiente interior influenciam também a configuração do *layout*; os ganhos térmicos devido ao calor dissipado pelos equipamentos; a taxa de ocupação; o metabolismo dos usuários e a resistência térmica de suas vestimentas.

A presente pesquisa centrou-se no estudo e análise das condições de ventilação natural em um andar de escritório de um edifício situado no centro da cidade do Rio de Janeiro. Através de simulação computacional (software CFX 14.5) foram examinados: o caso existente e outras situações com possíveis implementações em termos de layout e fenestraçãoes. Procurou-se atender condições necessárias de conforto higrotérmico. A estimativa sobre a qualidade do ar respirável para os usuários é examinada através da metodologia de Fanger, sendo utilizado o programa AEOUZ-MZ. Como resultado pôde ser verificado que as propostas de intervenção ao escritório relativas ao arranjo do layout; altura de painéis e tipologia de janelas acarretam uma substancial melhoria nas condições de conforto, devido a melhor distribuição dos fluxos de ar e um incremento da velocidade em algumas zonas do ambiente.

Palavras-chave: Ventilação natural; Qualidade do ar; Escritórios.

Rio de Janeiro
Abril de 2014

ABSTRACT

NATURAL VENTILATION AND INDOOR AIR QUALITY IN A CARIOCA CORPORATE BUSINESS BUILDING: ANALYSIS AND PROPOSALS FOR THE BARÃO DE LADÁRIO BUILDING

Marco Antonio Lacerda

Supervisor: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos

Abstract of a Master Degree thesis submitted to the Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, as a partial fulfillment of the requirements to obtain the degree of Master in Architecture Science.

Business and corporate buildings are the most found in big cities. Related with Rio de Janeiro down-town, there is a scarcity of land to built and retrofit for old buildings is being a solution. However, in general the architecture solutions adopted are not in accordance with the existing humid-hot climatic conditions. Bioclimatic strategies as natural ventilation are not being considered for the building requirement program to provide thermal comfort, but mechanical air conditioning is ever present in it, despite being a potential pollution source. By other hand, is a challenge to utilize natural ventilation for thermal comfort purpose in business buildings sited in dense urban context, due to the urban canopy characteristics on wind patterns. Beside this, indoor there is layout influence; thermal gains from equipments; people occupation and clothes. The aim of the present research is to perform an analysis about the natural ventilation conditions for a business floor of a building down-town Rio de Janeiro. By means CFD computer simulations (software CFX 14.5) are considered the present building floor case and other possible variations about layout and fenestrations. The idea was to be in accordance with thermal comfort requirements, PMV/PPPD. Also it was examined the indoor air quality, following Fanger methodology, by means AEOLUS-MZ software. As a result, it was find some increase on flow circulation and improvements in air velocity compared with the base case and related with: new layout; height panels; and fenestration typologies

Keywords: Natural ventilation; Indoor air quality; Corporate business buildings

Rio de Janeiro
April 2014

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xv
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA	7
1.1-Ventilação natural no contexto urbano.....	7
1.1.1- Princípios do movimento do ar.....	7
1.1.2- Avaliação do potencial eólico para fins de ventilação.....	8
1.1.3- Camada limite atmosférica.....	9
1.1.4- Perfil de velocidade do vento e transposição dos dados de vento da estação meteorológica para o sítio do projeto.....	10
1.1.5- Configuração do fluxo de ar no espaço externo.....	12
1.1.6- Coeficiente de pressão.....	16
1.2-Ventilação natural no interior da edificação.....	18
1.2.1- Ventilação por ação dos ventos (cruzada).....	18
1.2.2- Ventilação por efeito chaminé (termossifão).....	21
1.2.3- Efeito combinado.....	23
1.2.4- Configuração do fluxo de ar interno.....	24
1.2.5- Coeficiente de descarga.....	31
1.3-Ventilação natural e conforto.....	33
1.3.1- Conforto térmico.....	33
1.3.2- Qualidade do ar no interior da edificação.....	40
1.3.3- Arrefecimento do edifício.....	48
CAPÍTULO 2 – O AMBIENTE DE ESCRITÓRIO	49
2.1 – O <i>layout</i> dos escritórios.....	49
2.1.1- Escritório fechado.....	51
2.1.2- Escritório aberto.....	52
2.1.3- Escritório semiaberto.....	53

2.1.4- Escritório misto.....	54
2.2 – O objeto de estudo: Edifício Barão de Ladário.....	55
2.2.1- Características do edifício e do entorno.....	55
2.2.2- Características do pavimento de análise.....	57
2.2.3- Dados climáticos e Índice de Qualidade do Ar.....	60
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.....	71
3.1–Simulação computacional com o programa CFD.....	71
3.1.1 – Preparação das geometrias: edifícios e domínio.....	72
3.1.2 – Geração da malha.....	77
3.1.3 – CFX-Pre.....	85
3.1.4 – CFX-Solver.....	89
3.1.5 – CFX-Post.....	90
3.2 – Simulação computacional com o programa AEOLUZ MZ.....	91
CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS, DISCUSSÃO E	
ANÁLISE.....	87
4.1–Simulações com o programa CFX 14.5.....	93
4.1.1 - Simulações do Modelo M1.....	94
4.1.1.1 – Resultados para o Modelo M1-1.....	95
4.1.1.2 – Resultados para o Modelo M1-2.....	99
4.1.1.3 – Resultados para o Modelo M1-3.....	103
4.1.1.4 – Considerações sobre o Modelo 1.....	107
4.1.2 - Simulações do Modelo M2.....	107
4.1.2.1 – Resultados para o Modelo M2-1.....	108
4.1.2.2 – Resultados para o Modelo M2-2.....	110
4.1.2.3 – Resultados para o Modelo M2-3.....	112
4.1.2.4 – Resultados para o Modelo M2-4.....	114
4.1.2.5 – Resultados para o Modelo M2-5.....	116
4.1.2.6 – Resultados para o Modelo M2-6.....	118
4.1.2.7 – Resultados para o Modelo M2-7.....	120
4.1.2.8 – Resultados para o Modelo M2-8.....	122
4.1.2.9 – Resultados para o Modelo M2-9.....	125
4.1.2.10 – Resultados para o Modelo M2-10.....	127

4.1.2.11 – Resultados para o Modelo M2-11.....	129
4.1.2.12 – Resultados para o Modelo M2-12.....	132
4.1.2.13– Considerações sobre o Modelo 2.....	134
4.1.3 – Simulações do Modelo 3.....	134
4.1.3.1– Resultados para o Modelo M3-1.....	135
4.1.3.2– Resultados para o Modelo M3-2.....	137
4.1.3.3– Resultados para o Modelo M3-3.....	139
4.1.4 – Simulações do Modelo 4.....	141
4.1.4.1– Resultados para o Modelo M4-1.....	143
4.1.4.2– Resultados para o Modelo M4-2.....	146
4.1.4.3– Resultados para o Modelo M4-3.....	149
4.1.4.4– Considerações sobre o Modelo 4.....	151
4.2–Simulação com o programa AEOLUZ MZ.....	151
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES.....	156
BIBLIOGRAFIA.....	159
ANEXOS.....	165

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – Frequências e direções de vento mensais para a cidade do Rio de Janeiro.....	9
FIGURA 1.2– Camada limite urbana.....	10
FIGURA 1.3 – Perfis de velocidade do vento para diferentes rugosidades.....	11
FIGURA 1.4 – Fluxo de ventos ao redor das edificações.....	15
FIGURA 1.5 - Coeficientes de pressão pelo método CSTB.....	17
FIGURA 1.6– Fluxos nas superfícies e dimensões dos edifícios.....	18
FIGURA 1.7 - Coeficientes de pressão($C_p \times 100$) para prédios altos.....	18
FIGURA 1.8 – Estratégia de utilização de <i>wing walls</i> para aberturas em paredes adjacentes.....	19
FIGURA 1.9 – Estratégias para ventilação cruzada em edificações com corredores.....	20
FIGURA 1.10 – Aumento percentual da vazão em áreas de aberturas desiguais.....	23
FIGURA 1.11 – Estratégias para ventilação cruzada e por efeito chaminé.....	24
FIGURA 1.12 – Velocidade do ar em função da relação entre aberturas de entrada e saída.....	25
FIGURA 1.13 – Velocidade do ar em função da relação entre a direção do vento e a porosidade.....	26
FIGURA 1.14 – Efeito da forma da abertura em função da direção do vento e da existência de protetores solares.....	26
FIGURA 1.15 – Influência da localização e dimensão das aberturas.....	27
FIGURA 1.16– Principais tipologias de portas e janelas e o fluxo de ar promovido.....	28
FIGURA 1.17 – Estratégia de utilização de <i>wing walls</i> para aberturas na mesma parede.....	29
FIGURA 1.18 – Efeito das projeções horizontais no fluxo de ar interno.....	30
FIGURA 1.19 – Efeito de elementos horizontais no fluxo de ar em edifícios.....	30
FIGURA 1.20 – Efeito das divisões internas na configuração do fluxo de ar em edifícios.....	31
FIGURA 1.21 – Zona de conforto segundo Givoni.....	34
FIGURA 1.22 – Acréscimo da temperatura limite de conforto em função da velocidade do ar.....	35
FIGURA 1.23 – Temperatura de conforto para umidade relativa de 60% sem vento.....	36
FIGURA 1.24 – Temperatura de conforto para umidade relativa de 60% e roupa 0,2clo.....	36
FIGURA 1.25 – Porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD), em função do voto médio estimado (PMV).....	38
FIGURA 1.26 – Programa PMVPPD para cálculo do PMV e PPD.....	39
FIGURA 1.27 – Condições ambientais e efeitos adversos à saúde.....	43
FIGURA 1.28 – Percentual de pessoas insatisfeitas em função da ventilação.....	44
FIGURA 1.29 – Percentual de pessoas insatisfeitas em função da poluição do ar.....	44

FIGURA 2.1 – Diagrama organizacional das empresas.....	49
FIGURA 2.2 – Escritórios fechados: individual, compartilhado, de equipe e cabine individual.....	51
FIGURA 2.3 – Escritório aberto.....	53
FIGURA 2.4 – Escritórios semiabertos: estação linear e estação celular.....	53
FIGURA 2.5 – Escritório misto.....	54
FIGURA 2.6 – Fotografias das fachadas do EBL.....	55
FIGURA 2.7 – Fotografias de satélite do EBL e do entorno.....	56
FIGURA 2.8 – Layout do 16º andar do EBL.....	57
FIGURA 2.9 – Corte do 16º andar do EBL.....	59
FIGURA 2.10 – Carta Bioclimática com TRY do Rio de Janeiro.....	61
FIGURA 2.11 – Localização do EBL em relação à SBRJ.....	62
FIGURA 2.12 – Rosa dos ventos para o período de 7 às 18 horas.....	63
FIGURA 2.13 – Rosa dos ventos para o período de 7 às 11 horas.....	64
FIGURA 2.14 – Rosa dos ventos para o período de 12 às 13 horas.....	65
FIGURA 2.15 – Rosa dos ventos para o período de 14 às 18 horas.....	65
FIGURA 2.16 – Gráfico das frequências de velocidades do vento das 7 às 18 horas.....	66
FIGURA 2.17 – Gráfico das temperaturas médias mensais na cidade do Rio de Janeiro.....	67
FIGURA 2.18 – Gráfico das temperaturas médias máxima e mínima na cidade do Rio de Janeiro.....	67
FIGURA 2.19 – Gráfico das umidades relativas do ar médias na cidade do Rio de Janeiro.....	68
FIGURA 3.1 – Etapas de simulação com o CFX.....	72
FIGURA 3.2 – Geometria dos edifícios.....	73
FIGURA 3.3 – Geometria do escritório localizado no 16º andar do EBL.....	74
FIGURA 3.4 – Entorno a ser modelado do EBL num raio de 300m.....	75
FIGURA 3.5 – Domínio cilíndrico da área de análise.....	77
FIGURA 3.6 – Agrupamento das entidades geométricas.....	78
FIGURA 3.7 – Configuração dos elementos da malha próximos às fronteiras sólidas.....	80
FIGURA 3.8 – Valor do y^+ para diferentes modelos de turbulência.....	81
FIGURA 3.9 – Alturas do primeiro elemento da camada de prismas.....	83
FIGURA 3.10 – Elementos da malha com qualidade ortogonal entre 0.11 e 0.15.....	85
FIGURA 3.11 – Condições de contorno do domínio.....	87
FIGURA 3.12 – Gráficos RMS de Momentum e Massa, e de Turbulência.....	90
FIGURA 3.13 – Gráfico de velocidades do ar em um plano horizontal.....	91

FIGURA 4.0 – Pontos de registro de velocidade no escritório com o atual <i>layout</i>	93
FIGURA 4.1 – Indicação dos planos horizontais em corte.....	94
FIGURA 4.2 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	95
FIGURA 4.3 – Vetores de velocidade no PH1.....	96
FIGURA 4.4 – <i>Isovels</i> no plano PH2.....	96
FIGURA 4.5 – <i>Isovels</i> no plano PH3.....	96
FIGURA 4.6 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	97
FIGURA 4.7 – Isóbaras nas fachadas ENE, NNW e WSW.....	97
FIGURA 4.8 – Vetores de velocidade no PV2.....	98
FIGURA 4.9 – Linhas de corrente do ar no plano PV2.....	98
FIGURA 4.10 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	100
FIGURA 4.11 – Vetores de velocidade no PH1.....	100
FIGURA 4.12 – <i>Isovels</i> no plano PH2.....	100
FIGURA 4.13 – <i>Isovels</i> no plano PH3.....	101
FIGURA 4.14 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	101
FIGURA 4.15 – Isóbaras nas fachadas ENE, NNW e WSW.....	101
FIGURA 4.16 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	102
FIGURA 4.17 – Linhas de corrente de ar no plano PV2.....	102
FIGURA 4.18 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	103
FIGURA 4.19 – Vetores de velocidade no PH1.....	103
FIGURA 4.20 – <i>Isovels</i> no plano PH2.....	104
FIGURA 4.21 – <i>Isovels</i> no plano PH3.....	104
FIGURA 4.22 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	104
FIGURA 4.23 – Isóbaras nas fachadas ENE, NNW e WSW.....	105
FIGURA 4.24 – Vetores de velocidade no plano PV1.....	105
FIGURA 4.25 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	106
FIGURA 4.26 – Linhas de corrente de ar no plano PV2.....	106
FIGURA 4.27 – Tipologias das janelas analisadas.....	107
FIGURA 4.28 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	108
FIGURA 4.29 – Vetores de velocidade no PH1.....	109
FIGURA 4.30 – Vetores de velocidade no PH1.....	109
FIGURA 4.31 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	109
FIGURA 4.32 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	110
FIGURA 4.33 – Vetores de velocidade no PH1.....	111

FIGURA 4.34 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	111
FIGURA 4.35 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	111
FIGURA 4.36 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	112
FIGURA 4.37 – Vetores de velocidade no PH1.....	113
FIGURA 4.38 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	113
FIGURA 4.39 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	113
FIGURA 4.40 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	114
FIGURA 4.41 – Vetores de velocidade no PH1.....	115
FIGURA 4.42 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	115
FIGURA 4.43 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	115
FIGURA 4.44 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	117
FIGURA 4.45 – Vetores de velocidade no PH1.....	117
FIGURA 4.46 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	117
FIGURA 4.47 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	118
FIGURA 4.48 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	119
FIGURA 4.49 – Vetores de velocidade no PH1.....	119
FIGURA 4.50 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	119
FIGURA 4.51 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	120
FIGURA 4.52 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	121
FIGURA 4.53 – Vetores de velocidade no PH1.....	121
FIGURA 4.54 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	121
FIGURA 4.55 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	122
FIGURA 4.56 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	123
FIGURA 4.57 – Vetores de velocidade no PH1.....	123
FIGURA 4.58 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	124
FIGURA 4.59 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	124
FIGURA 4.60 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	125
FIGURA 4.61 – Vetores de velocidade no PH1.....	125
FIGURA 4.62 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	126
FIGURA 4.63 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	126
FIGURA 4.64 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	128
FIGURA 4.65 – Vetores de velocidade no PH1.....	128
FIGURA 4.66 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	128
FIGURA 4.67 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	129
FIGURA 4.68 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	130

FIGURA 4.69 – Vetores de velocidade no PH1.....	130
FIGURA 4.70 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	131
FIGURA 4.71 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	131
FIGURA 4.72 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	132
FIGURA 4.73 – Vetores de velocidade no PH1.....	132
FIGURA 4.74 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	133
FIGURA 4.75 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	133
FIGURA 4.76 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	135
FIGURA 4.77 – Vetores de velocidade no PH1.....	136
FIGURA 4.78 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	136
FIGURA 4.79 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	136
FIGURA 4.80 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	137
FIGURA 4.81 – Vetores de velocidade no PH1.....	138
FIGURA 4.82 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	138
FIGURA 4.83 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	138
FIGURA 4.84 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	139
FIGURA 4.85 – Vetores de velocidade no PH1.....	140
FIGURA 4.86 – <i>Isovels</i> no plano PH4.....	140
FIGURA 4.87 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	140
FIGURA 4.88 – Pontos de registro de velocidade no escritório com layout proposto.....	143
FIGURA 4.89 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	145
FIGURA 4.90 – Vetores de velocidade no PH1.....	145
FIGURA 4.91 – <i>Isovels</i> no plano PH2.....	145
FIGURA 4.92 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	146
FIGURA 4.93 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	147
FIGURA 4.94 – Vetores de velocidade no PH1.....	147
FIGURA 4.95 – <i>Isovels</i> no plano PH2.....	148
FIGURA 4.96 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	148
FIGURA 4.97 – <i>Isovels</i> no plano PH1.....	149
FIGURA 4.98 – Vetores de velocidade no PH2.....	150
FIGURA 4.99 – <i>Isovels</i> no plano PH5.....	150
FIGURA 4.100 – Vetores de velocidade no plano PV2.....	150
FIGURA 4.101 – Trajetórias dos fluxos de ar no escritório.....	152
FIGURA 4.102 – Ilustração sobre dados de entrada relativos ao EBL.....	153
FIGURA 4.103 – Taxa de vazão do ar entre os ambientes.....	155

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Parâmetros da camada Limite atmosférica.....	12
Tabela 1.2	12
Tabela 1.3 – Quadro com os efeitos aerodinâmicos de vento sobre os conjuntos de edificações.....	13-14
Tabela 1.4 – Exemplos de Cd por tipo de janela.....	32
Tabela 1.5 – Escala de sete pontos da sensação térmica.....	38
Tabela 1.6 – Fator de expectativa para edificações não climatizadas artificialmente em climas quentes.....	38
Tabela 1.7 – Relação entre o PMV e a sensação térmica.....	39
Tabela 1.8 – Sintomas mais comuns na SED.....	42
Tabela 1.9 – Três níveis de qualidade de ar percebida.....	44
Tabela 1.10 – Carga olf por ocupante.....	45
Tabela 1.11 – Exemplos de ocupação em espaços.....	46
Tabela 1.12 - Carga olf causada pelo edifício (móvel, carpete e sistema de.....	46
Tabela 2.1 – Escalas de sensações térmicas em função da velocidade do ar.....	69-70
Tabela 3.1 – Configuração da malha pelo método global.....	79
Tabela 3.2 – Valores indicadores da qualidade da malha.....	84
Tabela 3.3 – Configuração do domínio no CFX-Pre.....	86
Tabela 3.4 – Configuração das Condições de Contorno no CFX-Pre.....	87-88
Tabela 3.5 – Expressões com variáveis para cálculo do perfil de velocidade logarítmico.....	89
Tabela 4.1 – Síntese das características do Modelo 1.....	94
Tabela 4.2 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M1-1.....	99
Tabela 4.3 – Velocidade do vento nos pontos de medição (m/s) _ modelo M1-2.....	102
Tabela 4.4 – Velocidade do vento nos pontos de medição (m/s) _ modelo M1-3.....	106
Tabela 4.5 – Síntese das características do Modelo 2.....	108
Tabela 4.6 – Velocidade do vento nos pontos de medição (m/s) _ modelo M2-1.....	110
Tabela 4.7 – Velocidade do vento nos pontos de medição (m/s) _ modelo M2-2.....	112
Tabela 4.8 – Velocidade do vento nos pontos de medição (m/s) _ modelo M2-3.....	114
Tabela 4.9 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M2-4.....	116
Tabela 4.10 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M2-5.....	118
Tabela 4.11 – Velocidade do vento nos pontos de medição (m/s) _ modelo M2-6.....	120
Tabela 4.12 – Velocidade do vento nos pontos de medição (m/s) _ modelo M2-7.....	122
Tabela 4.13 – Velocidade do vento nos pontos de medição (m/s) _ modelo M2-8.....	124
Tabela 4.14 – Velocidade do vento nos pontos de medição (m/s) _ modelo M2-9.....	126

Tabela 4.15 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M2-10.....	129
Tabela 4.16 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M2-11.....	131
Tabela 4.17 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M2-12.....	133
Tabela 4.18 – Síntese das características do Modelo 3.....	134
Tabela 4.19 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M3-1.....	137
Tabela 4.20 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M3-2.....	139
Tabela 4.21 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M3-3.....	141
Tabela 4.22 – Síntese das características do Modelo 4.....	142
Tabela 4.23 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M4-1.....	146
Tabela 4.24 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M4-2.....	148
Tabela 4.25 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M4-3.....	151
Tabela 4.26 - Dados de entrada relativos às características físicas e de ocupação dos ambientes.....	153
Tabela 4.27 – Características dos vãos e das esquadrias.....	154
Tabela 4.28 - Dados de entrada relativos às trajetórias dos fluxos de ar entre os ambientes.....	154
Tabela 4.29 – Resultados da simulação.....	155

INTRODUÇÃO

Contexto

Ao longo da história da civilização, o conhecimento das condições climáticas locais e dos seus efeitos desejáveis e indesejáveis era uma preocupação por parte do arquiteto, para que o espaço habitado apresentasse condições de salubridade e de conforto térmico. No período clássico, Vitruvius mencionava em seu Tratado de Arquitetura recomendações sobre a orientação do edifício em relação ao sol e aos ventos (VITRUVIUS, 2007).

A partir da Revolução Industrial, com surgimento de novos materiais e técnicas, como o aço e o concreto, criam-se condições para mudanças na forma de projetar. Em meados do século XIX, os países industrializados começaram a exportar elementos pré-fabricados para o mundo inteiro (FRAMPTON, 2003).

No final do século XIX, a transformação técnica na engenharia estrutural permitiu que Le Corbusier, em 1915, criasse um sistema estrutural em concreto armado, o qual torna possível articular a planta e as fachadas do edifício de forma independente da estrutura (FRAMPTON, 2003). Trata-se de um projeto de importância fundamental para a essência da arquitetura moderna. Desse sistema descendem princípios estéticos inovadores como os elementos da sintaxe dos “cinco pontos”: a planta e fachada livres, o *pilotis*, o terraço jardim e a janela em fita horizontal. A importância desses elementos em relação ao conforto ambiental está justamente na possibilidade de maiores aberturas nas fachadas podendo contribuir nas questões de iluminação e ventilação; a planta livre permite melhor circulação do ar podendo promover a ventilação cruzada; o terraço jardim permite menores ganhos de calor no interior da edificação; o *pilotis* elevou a massa acima do solo, conferindo uma nova forma de ventilar o espaço urbano, a qual permite a ventilação de locais e construções situadas posteriores à edificação. Esses elementos foram utilizados em larga escala na arquitetura moderna brasileira.

Na arquitetura moderna brasileira, temos bons exemplos de edifícios projetados de forma adequada ao clima como o edifício Gustavo Capanema, no Rio de Janeiro e o Edifício Copan, em São Paulo, ambos com participação de Oscar Neimeyer. Esses edifícios utilizaram técnicas bem sucedidas de controle solar e ventilação natural.

Após a 2ª Guerra Mundial, impulsionado pelo desenvolvimento tecnológico de sistemas de ar condicionado aliado ao baixo custo da energia elétrica, o aspecto formal da arquitetura é dado maior ênfase por uma grande quantidade de arquitetos e o condicionamento térmico passa a ser função quase que exclusiva do engenheiro mecânico. Nos edifícios corporativos passam a serem empregadas fachadas envidraçadas como símbolo de *status* e conseqüentemente uma necessidade de sistema de ar condicionado, grande consumidor de energia. A janela começa a perder uma de suas funções mais primitivas que é a de ventilar. Esse elemento arquitetônico que desde os primórdios da arquitetura era um elemento mediador entre o entorno climático e o microclima da edificação passa a ser apenas um elemento hermético para contemplação da paisagem.

O significativo aumento do consumo de energia necessário para proporcionar conforto térmico nesse tipo de arquitetura, não era motivo de preocupação em virtude do custo da energia elétrica ser baixo. Na ocasião, também não era objeto de atenção o impacto ao meio ambiente causado pela geração e o consumo dessa energia (CORBELLA, 2003).

Com a crise energética da década de 70, aliado ao aumento da população, a produção de eletricidade teve de aumentar, porém os investimentos eram muito altos. Segundo Geller apud Lamberts et al(1997), é mais barato economizar energia do que fornecê-la. Neste panorama crítico, (re)nasce uma arquitetura preocupada na sua integração com as condições climáticas locais para a obtenção do conforto térmico humano, a Arquitetura Bioclimática.

Em resposta a crise energética, algumas correntes surgem na arquitetura, voltadas para a questão ecológica, conforme aponta Gauzin-Müller (2011): o low-tech (ou no-tech), high-tech (ou eco-tech), o humanismo ecológico, a ecologia democrática- social e o minimalismo ecológico.

Dentre essas correntes ecológicas, a arquitetura high-tech é apresentada como símbolo dos prédios de escritórios caracterizados com o emprego de metal e vidro. Arquitetos renomados como Renzo Piano, Norman Foster, Richard Rogers, Thomas Herzog são partidários dessa corrente. Questões relacionadas ao uso de energias renováveis na edificação são resolvidas com emprego de alta tecnologia e informática, com o uso de dispositivos de conversão da energia solar, dupla fachada

de vidro, etc. Porém, essa arquitetura é muito questionada quanto ao conforto térmico no verão e à economia de energia no inverno, além dos altos custos envolvidos para sua construção.

No contexto atual brasileiro, a arquitetura corporativa vem se inspirando na estética do high-tech, inclusive em obras de *retrofit*, principalmente nos grandes centros, porém frequentemente as soluções são inadequadas para o clima tropical. Algumas tecnologias relacionadas à economia de energia são aplicadas nessas edificações para servir de instrumento de marketing, no entanto não resistem a uma análise criteriosa a respeito dos indicadores do conforto térmico e da eficiência energética. Nesses prédios, estratégias bioclimáticas como o uso da ventilação natural geralmente não são adotadas, mesmo em locais em que a disponibilidade desse recurso natural seja abundante. A estratégia de conforto térmico consiste no uso de sistema condicionador de ar.

A ação do vento nas edificações pode promover arrefecimento da sua envoltória e de favorecer o emprego da ventilação por diferencial de pressão (ventilação cruzada). A ventilação natural deve ser usada sempre que possível, devido à redução de consumo energia elétrica de meios artificiais de climatização e uma melhora da qualidade interna do ar.

No entanto, as aberturas localizadas na envoltória e os dispositivos internos como mobiliário e divisões podem influenciar o conforto ambiental em uma edificação e no seu consumo de energia, visto que interfere diretamente sobre os fluxos de ar nos ambientes internos. Dispositivos arquitetônicos como a janela pode apresentar desempenho bem distinto em relação à ventilação natural com mudanças em sua geometria e distribuição. A respeito da influência das divisões internas, Bittencourt e Cândido (2010) afirmam:

A presença de divisões nos espaços arquitetônicos modifica o padrão do fluxo do ar no interior dos ambientes dependendo da localização das aberturas nessas divisões. Além de uma distribuição inapropriada do fluxo de ar, a má localização das divisórias pode causar uma queda na velocidade do mesmo.

Cabe destacar que em prédios de escritórios, torna-se um desafio conseguir conforto térmico com a ventilação natural, devido a esse tipo de edificação estar muitas vezes inserido em um contexto urbano de grande adensamento, onde há muita

obstrução aos ventos; outros motivos estão relacionados ao *layout* que pode dificultar o fluxo do ar, aos altos ganhos internos de calor pelos equipamentos, além da resistência térmica das vestimentas típicas, e da densidade ocupacional.

Por outro lado, em pesquisa recente sobre um modelo de escritório localizado na cidade de São Paulo, chegou-se a conclusão que a ventilação natural poderia ser usada ao longo de seis meses do ano, para conforto térmico de 90% dos usuários, desde que os usuários pudessem regular as aberturas, nos períodos de maior frio ou alterar suas vestimentas (FIGUEIREDO, 2007).

No Brasil há uma carência de estudos mais aprofundados e conclusivos sobre o potencial do uso da ventilação natural em ambientes de escritórios para obter conforto térmico e qualidade do ar interior, o que justifica a presente pesquisa. Parte dessa lacuna de estudos sobre o tema decorre principalmente pela complexidade dos fenômenos envolvidos na dinâmica dos fluidos, relacionada com o comportamento do fluxo de ar no interior do ambiente, o que torna necessário o uso de túnel de vento e softwares CFD (*Computer Fluids Dynamics*).

Para fins de etiquetagem da edificação determina o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), que para os edifícios naturalmente ventilados ou em ambientes de longa permanência (escritórios, lojas, etc.) não condicionados artificialmente, faz-se necessário a comprovação por simulação de condições adequadas de conforto higrotérmico, durante um fixado percentual de horas ocupadas.

Conforme os desafios apresentados, típicos dos ambientes de escritórios, a pesquisa centrou-se na procura de respostas para as seguintes questões:

- É possível obter conforto térmico com uso da ventilação natural em ambientes de prédios de escritórios na cidade do Rio de Janeiro?
- Em virtude das diversas fontes de poluição do ar presentes nos escritórios, pode ser esperada uma boa qualidade do ar interior com o uso da ventilação natural?

Objetivo Geral

- Avaliar o potencial da ventilação natural em edifício de escritórios localizado no centro da cidade do Rio de Janeiro – RJ, objetivando o conforto térmico e qualidade do ar para os usuários.

Objetivos Específicos

- Propor soluções adequadas de dispositivos arquitetônicos visando melhor aproveitamento da ventilação natural.
- Avaliar o potencial da ventilação natural como uma estratégia bioclimática em edificações de escritórios;
- Analisar a adequabilidade da densidade ocupacional para o objeto de estudo face ao uso da ventilação natural recomendada nas normas DGMM-0600 (MB, 2002) e NBR 9077 (ABNT, 2001).

Metodologia

Esta pesquisa está estruturada nas seguintes etapas metodológicas:

- Pesquisa bibliográfica sobre os fenômenos e variáveis que possam influenciar a ventilação natural e a qualidade do ar em edifícios de escritórios; levantamento sobre dados climáticos da cidade do Rio de Janeiro;
- Levantamento em campo sobre o edifício Barão de Ladário, dados sobre a arquitetura, o entorno, a densidade ocupacional, cargas térmicas, tipos de equipamentos e características de uso;
- Simulações computacionais para avaliação das condições de ventilação natural e qualidade do ar interno num escritório do edifício, com as atuais características arquitetônicas e com novas propostas arquitetônica baseadas em diretrizes que promovam uma melhora na qualidade da ventilação.
- Verificação da adequabilidade da densidade populacional prevista na norma DGMM-0600 (MB, 2002) para ambientes ventilados naturalmente. Utilização dos programas CFX 14.5 para análise da ventilação natural e temperatura; e AEOLUS para verificação da qualidade do ar interior.
- Análise comparativa dos resultados das simulações para o modelo de escritório com as características atuais e os modelos com novas propostas, identificação das mudanças de comportamento do escoamento e na vazão de ar no interior do ambiente.

Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se estruturada em termos de uma introdução e cinco capítulos, descritos da seguinte forma:

- Introdução: Descreve-se sobre a importância do uso da ventilação natural como estratégia bioclimática para o conforto ambiental e economia de energia. Apresentação de justificativa baseada nas lacunas existentes sobre o tema. Definição do problema de promoção das condições ventilação adequada em escritórios. Apresentação dos objetivos gerais e específicos, além da metodologia a ser seguida.
- Capítulo 1 – Revisão de Literatura: Neste capítulo é inserido o tema dentro de um quadro de referência teórica para explicá-lo. Identificam-se os fenômenos relativos à ventilação natural e a influência do entorno e da arquitetura no comportamento do fluxo de ar. Também são apresentados os fatores que influenciam a qualidade do ar no interior da edificação.
- Capítulo 2 – O ambiente de escritórios: São apresentadas as características dos escritórios quanto aos padrões construtivos, *layouts*, ocupação. Descreve-se o objeto de estudo identificando o seu contexto urbano, as suas características arquitetônicas e de ocupação.
- Capítulo 3 – Metodologia: Descreve-se todo o procedimento para simulação computacional dos programas utilizados. Após os resultados da simulação do modelo base existente, definem-se os parâmetros a serem utilizados em novas simulações.
- Capítulo 4 – Análise dos resultados e discussões: Neste capítulo, são os resultados das simulações confrontados com dados da literatura. Também, busca-se identificar as soluções mais adequadas para uma aplicação na edificação objeto do estudo de caso.
- Capítulo 5 – Conclusões: apresentam-se as conclusões sobre os resultados da pesquisa, as limitações do método empregado e sugestões para futuras pesquisas.

CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA

1.1-Ventilação natural no contexto urbano

1.1.1- Princípios do movimento do ar

Para a compreensão dos fenômenos envolvidos na ventilação natural das edificações, é necessário o conhecimento dos princípios físicos que regem o movimento do ar. Muitos projetistas desconhecem o comportamento do vento e fazem o uso desse recurso de forma equivocada, ocasionando ambientes desconfortáveis nos quais inevitavelmente haverá a utilização de condicionadores de ar.

Os ventos ao atingirem barreiras naturais ou edificadas, sofrem alterações no seu padrão de escoamento, e que concorrem para alterações de direção e velocidade. Esse fenômeno é bem acentuado nos centros urbanos, onde geralmente a velocidade média do vento é reduzida e sua direção modificada. Brown e Dekay (2004) apontam três características relacionadas com a circulação dos ventos:

- 1) A velocidade do vento é menor próxima à superfície do solo do que em partes mais altas da atmosfera devido ao fenômeno do atrito. Essa redução da velocidade ocorre em função da rugosidade do solo;
- 2) A direção principal de escoamento do ar não se altera quando este encontra um obstáculo, como resultado de sua inércia;
- 3) O escoamento de ar se dá entre regiões de alta pressão para baixa pressão.

Além disso, diversos fenômenos ocorrem ao nível da edificação como, por exemplo, o escoamento do ar no ambiente interno é determinado pelas diferenças de pressão nas superfícies da envoltória da edificação. Essas pressões podem ser geradas por forças exercidas pelo vento (pressão dinâmica) ou por diferenças de temperaturas entre o ar interno e externo das edificações (pressão estática).

O vento é acelerado ao passar por uma área mais estreita como o espaçamento entre duas edificações ou quando é canalizado por conjunto de edificações, efeito Venturi.

1.1.2- Avaliação do potencial eólico para fins de ventilação

Para o uso da ventilação natural como estratégia para a promoção de condições de conforto dos usuários de uma edificação no contexto de clima quente-úmido, o arquiteto deve ter o conhecimento dos dados meteorológicos relativos ao regime de ventos do sítio do projeto. Segundo Bittencourt e Cândido (2010): “O desconhecimento das características dos ventos disponíveis em um determinado local tem conduzido a erros de interpretação do real potencial da ventilação natural em edificações”.

Por meio de informações relacionadas com a frequência, direção e velocidade dos ventos, disponíveis na rosa dos ventos ou cartas eólicas, é possível avaliar o potencial do uso da ventilação natural como estratégia de conforto. Porém, essas informações devem indicar as variações sazonais importantes que ocorrem em determinadas regiões.

Bittencourt e Cândido (2010) apontam que a utilização de dados de ventos médios anuais, pode resultar em avaliações erradas quanto ao uso da ventilação natural, visto que em uma determinada região essa média pode ser resultado de condições indesejáveis como ventos fortes no inverno e ventos fracos no verão em regiões onde ocorre desconforto tanto por calor quanto por frio. O conhecimento da variação da velocidade do vento ao longo do dia permite avaliar se a velocidade é adequada para obtenção de conforto térmico nas diversas horas do dia, como no horário de ocupação do ambiente.

Informações sobre a frequência, intensidade e a direção dos ventos são fundamentais para a elaboração do projeto arquitetônico. A direção do vento pode variar ao longo do dia, como acontece em regiões litorâneas, ou conforme os meses do ano (figura 1.1).

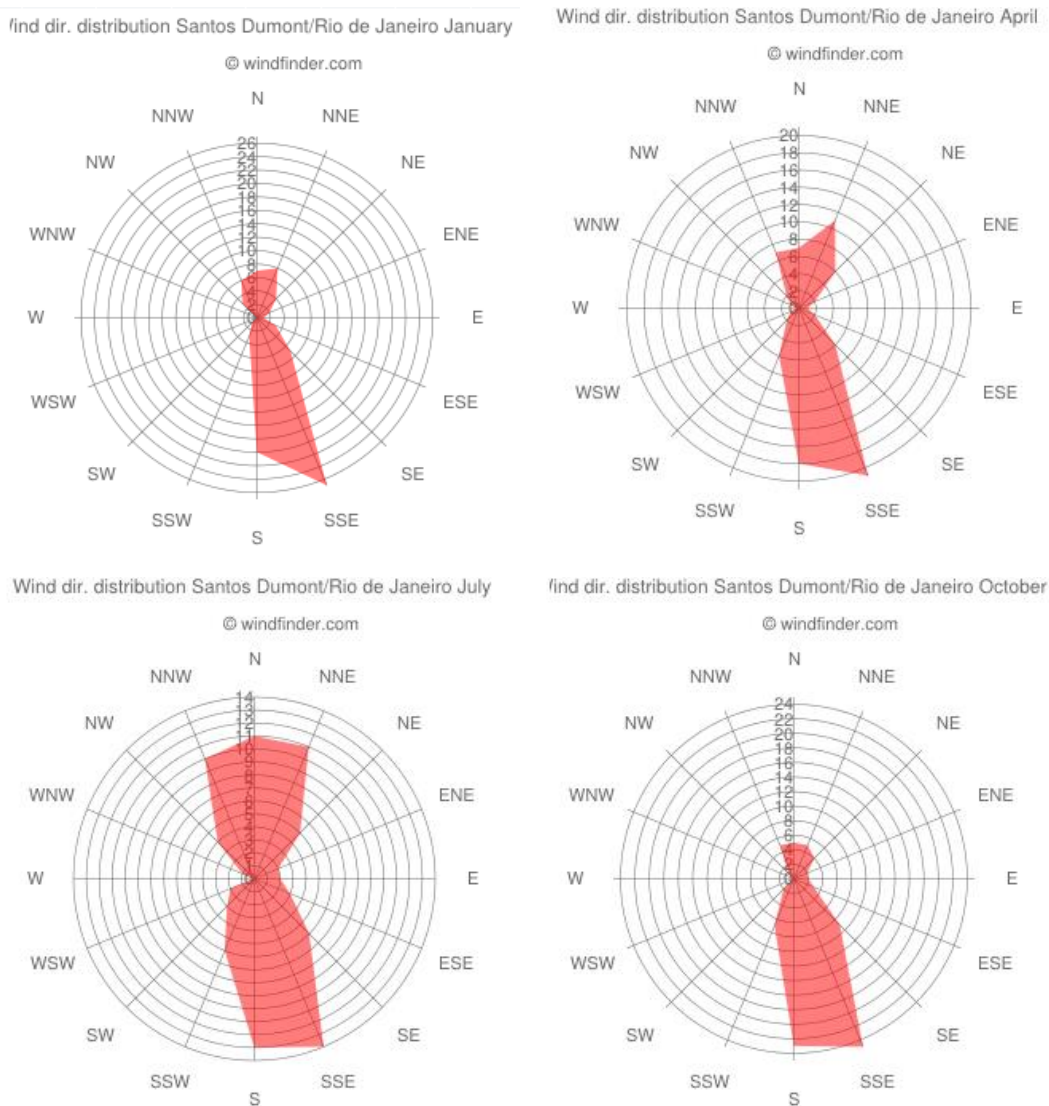


FIGURA 1.1 – Frequências e direções de vento mensais para a cidade do Rio de Janeiro

Fonte: www.windfinder.com/windstats/windstatistic_santos_dumont_rio_de_janeiro.htm

O conhecimento sobre a frequência, direção e velocidades dos ventos de forma conjugada permite ao arquiteto uma melhor avaliação sobre quais as orientações adequadas para as aberturas do edifício.

1.1.3 - Camada limite atmosférica

A camada limite atmosférica (CLA) consiste na faixa entre a superfície da terra e uma determinada altura de cota (z) por meio da qual o escoamento do ar sofre modificações conforme o tipo de rugosidade da superfície (efeito viscoso) e os efeitos térmicos (SILVA, 1999). A espessura da CLA varia conforme as barreiras do

sítio, em áreas urbanas ela é mais espessa, enquanto em áreas rurais a espessura é menor (figura 1.2).

A velocidade do vento é próxima de zero na superfície do terreno e aumenta até atingir a altura gradiente (z_g), a partir desse ponto a velocidade torna-se constante, denominada velocidade gradiente (v_g), que ocorre acima da camada limite, e a rugosidade não exerce mais influência na velocidade do vento.

De forma aproximada, considera-se que no topo da camada limite a velocidade atinge 99% da velocidade de escoamento sem atrito (INCROPERA, 2003).

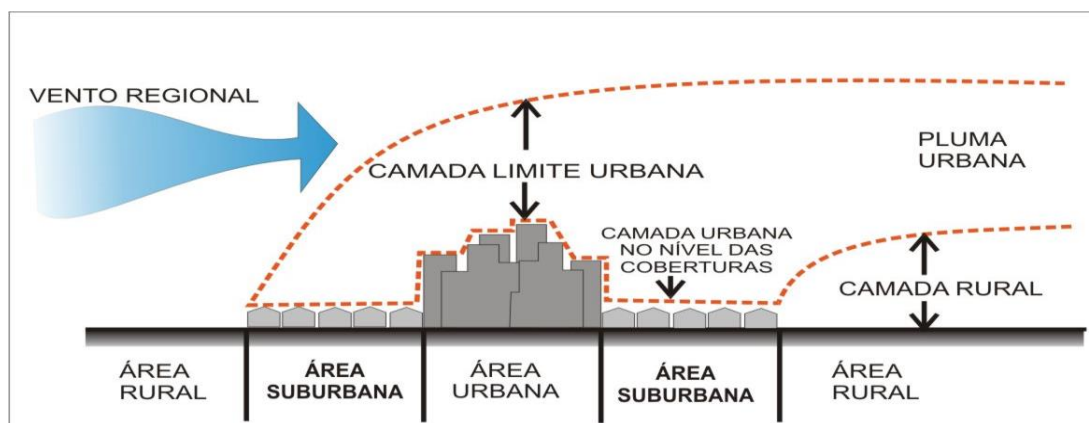


FIGURA 1.2– Camada limite urbana

Fonte: Stramandinoli, 2008.

1.1.4- Perfil de velocidade do vento e transposição dos dados de vento da estação meteorológica para o sítio do projeto

Conforme mencionado anteriormente, o vento aumenta de velocidade de acordo com altitude até atingir a altura gradiente, e esta dependerá da rugosidade do terreno. Assim, em campos abertos, áreas suburbanas ou cidades, diferentes perfis de velocidade do vento são formados por possuírem rugosidades distintas. A figura 1.3 ilustra perfis de velocidade de vento para diferentes rugosidades segundo um modelo exponencial.

Os registros dos dados de ventos coletados em estações localizadas em aeroportos podem servir com os devidos ajustes para o sítio do projeto. A velocidade pode ser menor em função da rugosidade do terreno e também o ponto de medição do local de interesse, poder estar em cotas menores que a da estação meteorológica,

sendo nesta normalmente feita a medição a 10 metros acima do solo. Da mesma forma, em locais muito expostos ou em edificações em cotas mais altas que a da estação provavelmente as velocidades serão maiores (BROWN e DEKAY, 2004).

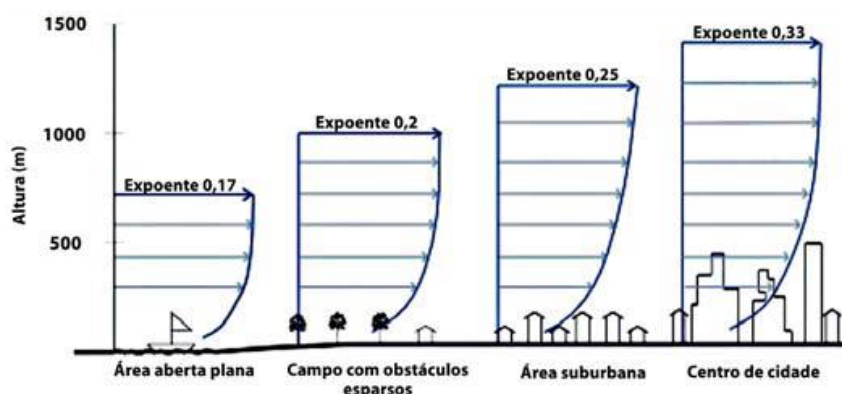


FIGURA 1.3 – Perfis de velocidade do vento para diferentes rugosidades

Fonte: Bittencourt e Cândido, (2010).

Segundo a ASHARE (2001), a equação abaixo poderá ser utilizada para determinar a velocidade do vento para um determinado sítio:

$$U_H = U_{met} \left(\frac{\delta_{met}}{H_{met}} \right)^{a_{met}} \left(\frac{H}{\delta} \right)^a \quad [1]$$

Onde:

U_H : velocidade do vento no sítio;

U_{met} : velocidade do vento na estação meteorológica;

δ : espessura da camada limite;

δ_{met} : altura da camada limite, 270 m.

H : altura do ponto de medição;

H_{met} : altura da estação meteorológica, 10 m;

a : coeficiente dependente do terreno;

a_{met} : coeficiente da estação meteorológica: 0,14.

Tipo de terreno	<i>a</i>	δ (m)
Cidades grandes com 50% dos prédios > 21m e distância frontal a barlavento de 2000m.	0,33	460
Região suburbana com residências esparsas, áreas florestais.	0,22	370
Terreno livre com obstáculos esparsos < 10m de altura.	0,14	270
Áreas expostas ao vento próximas a grandes massas de água, distantes até 500m da costa.	0,10	210

Fonte: ASHRAE, 2001

Também poderá ser utilizado o método do perfil CSTB (1997) para determinar a velocidade do vento para um determinado local. Esse método consiste na aplicação da seguinte equação:

$$V_h/V_{10}=a.\ln(h/z_0) \quad [2]$$

Onde:

V_h : velocidade do vento no local de medição;

V_{10} : velocidade do vento na estação meteorológica (10 m);

a: coeficiente dependente do terreno

h: altitude do local de medição;

z_0 : rugosidade do terreno.

Tipo de terreno	z_0	<i>a</i>
Grandes extensões de água	0,005	0,166
Terreno plano com vegetação rasteira	0,02	0,182
Vegetação arbustiva alta	0,07	0,202
Campo com casas isoladas	0,25	0,229
Região urbana com baixa densidade	0,4	0,240
Cidade	1,0	0,266

Fonte: CSTB, 1997.

1.1.5 - Configuração do fluxo de ar no espaço externo

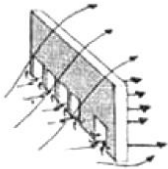
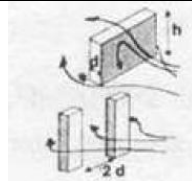
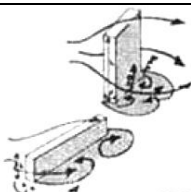
Quando o fluxo de ar atinge um volume como um edifício, surge uma zona de pressão positiva, maior que a pressão atmosférica, a barlavento, e uma zona de pressão negativa a sota-vento do edifício, menor que a pressão atmosférica. A velocidade aumenta conforme o vento vai contornando as superfícies laterais e o topo do volume.


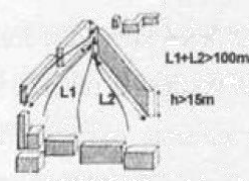
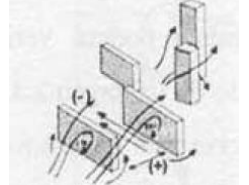
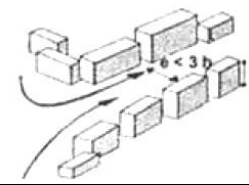
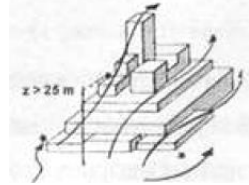
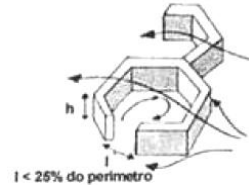
As pressões distribuídas sobre o edifício dependem da direção do vento e do nível de exposição do edifício as correntes de ar.

Os fluxos de ar podem ser alterados em virtude de construções vizinhas e outros obstáculos. A malha urbana pode reduzir a velocidade do vento e alterar a direção do fluxo de ar. Um erro freqüente na avaliação do fluxo de ar no interior de uma construção provém da falta de conhecimento do efeito das construções vizinhas no movimento de ar (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2010). Segundo Prata (2005): “Para as edificações, parâmetros como a localização do terreno e seu entorno determinarão o gradiente e a redução da velocidade do vento na altura das aberturas destinadas à ventilação no interior dos edifícios.”

Assis et al apud Prata (2005) apresenta a tabela a seguir com alguns efeitos aerodinâmicos devidos à forma do edifício e do seu entorno.

Tabela 1.3 – Quadro com os efeitos aerodinâmicos de vento sobre os conjuntos de edificações. Fonte: Adaptado de Assis et al apud Prata, 2005.

Efeito	Definição	Características	Relações	Figura
Pilotis	Escoamento através de pilotis que ligam as áreas em pressão positiva e negativa	Entrada de ar difusa, saída localizada.	$h \geq 15m$	
De canto	Escoamento nos ângulos do edifício	Gradiente horizontal elevado de velocidade e desconfortável para o pedestre. Quanto mais alto o edifício, pior o efeito.	$h \geq 15m$, para edifícios isolados; $h \geq 30m$, para conjunto de edifícios.	
Esteira	Circulação em turbilhão atrás do edifício.	Zona de turbulência incômoda na parte posterior do edifício.	$15m \leq h \leq 35m$, o efeito persiste por cerca de 4h.	
Turbilhão ao Pé do edifício ou efeito Wise	Rolo turbilhonar ao pé da face do edifício exposta ao vento.	Zona de turbulência incômoda ao pé do edifício. O efeito é reforçado pela presença de um edifício mais baixo ($10 \leq h \leq 15m$) à frente.	$h \geq 15m$	

Barreira	Desvio em espiral do escoamento ao cruzar um edifício com ângulo de incidência de 45°.	Zona de turbulência incômoda na parte posterior central do edifício. O efeito ocorre em edifícios com forma mais alongada.	$8 \leq h < 25m$; $d \leq h$; o efeito persiste por 2h.	
Venturi	Coletor formado pela disposição dos edifícios que faz um ângulo aberto ao vento.	Saída em jato que pode ser muito incômoda na área de estrangulamento.	$h > 15m$; $L1 + L2 = 100m$	
União de zonas de pressão diferentes	Escoamento entre zonas de pressão diferentes formadas pela disposição de edifícios paralelos.	Influência principal da altura dos edifícios, provocando alteração na direção do vento.	$h \geq 15m$; $d \leq h$.	
Canalização	Escoamento por um conjunto construído que forma um corredor aberto.	Pode causar incômodo quando associado a outro efeito ou quando a velocidade do vento for muito grande.	$h \geq 6m$; $d < 2h$; $e < 3h$	
Pirâmide	Escoamento através de um conjunto de edificações destacado e de forma piramidal.	Esta forma dissipa o máximo da energia eólica, em qualquer direção do vento. Alta turbulência	Áreas críticas são os cantos dos edifícios e os terraços ou varandas.	
Malha	Escoamento através de um arranjo de edifícios que forma pátios centrais ou bolsões.	O pátio central pode ser protegido do vento ou, ao contrário, há interesse em que ele seja ventilado.	$I < 25\%$ do perímetro.	

A forma e a orientação do edifício impactam significativamente no padrão eólico local. A figura 1.4 ilustra os diagramas dos fluxos de vento ao redor das edificações, baseados nos resultados dos estudos em túnel de vento realizados por Evans (1957).

1.1.6- Coeficiente de pressão ¹

O coeficiente de pressão (C_p) é um número adimensional que varia de 0 a 1, resultante da relação da pressão dinâmica medida em um ponto na superfície da parede (P_s) pela pressão dinâmica do vento incidente (P_v):

$$C_p = P_s / P_v \quad [3]$$

Define-se a pressão dinâmica do vento incidente (P_v) como:

$$P_v = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \quad [4]$$

Onde:

P_v – pressão dinâmica do vento (Pa)

ρ – massa específica do ar (kg/m^3)

v – velocidade do vento (m/s)

Em um prédio, quando um vento incide perpendicularmente na parede a barlavento, a pressão P_s será positiva, enquanto na parede a sotavento a P_s será negativa. Esse diferencial de pressão na fachada é dado em função da diferença entre os coeficientes de pressão a barlavento e sotavento multiplicada pela pressão dinâmica, assim a equação para o diferencial de pressão, para aberturas em duas fachadas, pode ser expressa da seguinte forma:

$$P_{sb} - P_{ss} = \Delta P_s = (C_{pb} - C_{ps}) \cdot 0,5 \rho v^2 \quad [5]$$

O conhecimento do coeficiente de pressão das fachadas contribui para escolha das dimensões e localização das aberturas de maneira mais favorável à utilização da estratégia da ventilação natural.

Os valores de C_p dependem da topografia, da rugosidade, da volumetria da edificação, das obstruções urbanas e do ângulo de incidência do vento. Em virtude da complexidade, para determinar o C_p com precisão, são necessários estudos experimentais em túnel de vento com modelos reduzidos, mas estes estudos podem implicar custos elevados. Alternativamente, pode-se adotar os valores de isóbaras e

¹ Informações recolhidas e transcritas da apostila do curso de ventilação e qualidade do ar, Prof. Leopoldo Bastos. PROARQ-FAU/UFRJ.

tabelas que são baseados em dados de túnel de vento para edificações de geometria simples.

Na literatura geralmente são encontrados valores de C_p para corpos prismáticos altos e baixos. O CSTB apresenta esses valores para os dois tipos de altura em uma única tabela (figura 1.5). A ASHRAE (2001) apresenta esses valores separados para edifícios altos (figura 1.7) e baixos, sendo os edifícios altos aqueles em que a altura H é três vezes maior que a largura W (figura 1.6).

Z/X	Y/X	$\alpha = 0$	$\alpha = 45$	$\alpha = 90$	$\alpha = 135$	$\alpha = 180$
0	0,25	0,70	0,60	-0,60	-0,20	-0,10
	0,67	0,70	0,60	-0,55	-0,30	-0,20
	1	0,70	0,60	-0,50	-0,40	-0,20
0,333	0,25	0,70	0,60	-0,60	-0,20	-0,10
	0,67	0,70	0,65	-0,60	-0,30	-0,20
	1	0,70	0,60	-0,50	-0,40	-0,20
	1,50	0,70	0,60	-0,50	-0,45	-0,25
0,5	1	0,70	0,70	-0,60	-0,40	-0,25
	1,5	0,70	0,70	-0,60	-0,45	-0,25
	4	0,70	0,60	-0,50	-0,50	-0,25
1	0,25	0,75	0,80	-0,70	-0,20	-0,10
	0,67	0,75	0,80	-0,70	-0,20	-0,15
	1	0,70	0,70	-0,60	-0,40	-0,20
1,5	1	0,75	0,80	-0,80	-0,50	-0,25
	1,50	0,75	0,80	-0,80	-0,50	-0,25
	4	0,70	0,80	-0,50	-0,60	-0,40
4	0,25	0,80	0,80	-0,70	-0,20	-0,10
	0,67	0,80	0,80	-0,70	-0,20	-0,10
	1	0,80	0,80	-0,80	-0,20	-0,10
6	1	0,80	0,80	-0,80	-0,50	-0,25
	1,50	0,75	0,80	-0,70	-0,55	-0,30
	4	0,70	0,80	-0,50	-0,60	-0,40

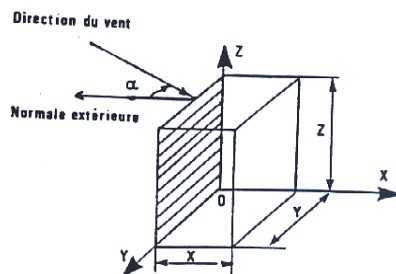


FIGURA 1.5 - Coeficientes de pressão pelo método CSTB.

Fonte: CSTB.

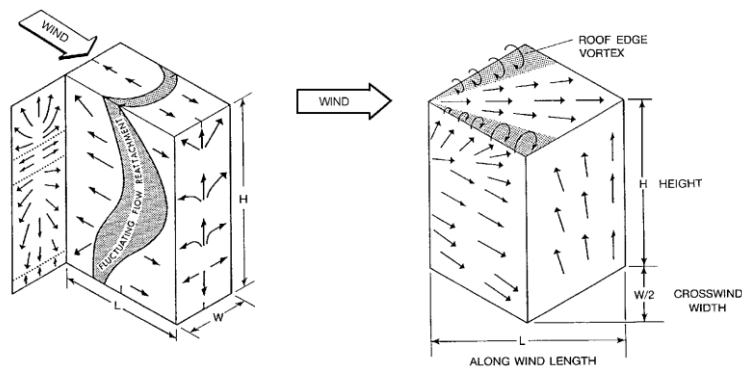


FIGURA 1.6– Fluxos nas superfícies e dimensões dos edifícios.

Fonte: ASHRAE, 2001.

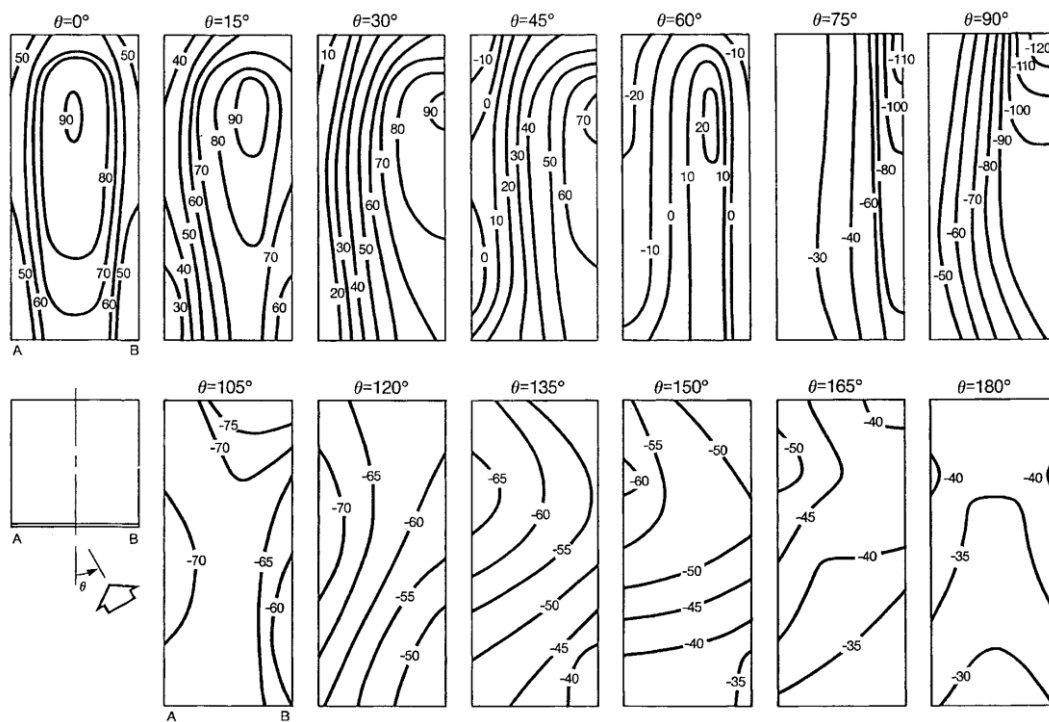


FIGURA 1.7 - Coeficientes de pressão($C_p \times 100$) para prédios altos.

Fonte: ASHRAE, 2001.

1.2-Ventilação natural no interior da edificação

1.2.1-Ventilação por ação dos ventos (cruzada)

A ação dos ventos sobre um edifício causa diferenças de pressões sobre as suas superfícies. Em paredes expostas ao vento, a pressão é positiva, enquanto nas paredes não expostas, a pressão é negativa. Como o ar se desloca dos pontos de

maior pressão para os de menor pressão, ao inserirmos aberturas na fachada sujeita a pressão positiva e aberturas na fachada sujeita a pressão negativa, a primeira permitirá à entrada do ar e a segunda a saída desse fluido, assim estarão proporcionados às condições de ventilação cruzada para o ambiente interno.

Fatores como a direção do vento e obstáculos do entorno influenciam a distribuição de pressões sobre o edifício.

Em locais de clima quente úmido, a ventilação cruzada é desejável para remover o calor e a umidade do ambiente, essa estratégia também permite o aumento da taxa de evaporação da transpiração da pele, melhorando a sensação térmica dos usuários.

A vazão de ar num ambiente está relacionada às áreas de entradas e saídas de ar, à velocidade e direção do vento em relação às aberturas.

A ventilação é mais eficaz quando a direção do vento for normal à janela; mas segundo Brown e Dekay (2004): ‘variações de até 40° na orientação, em relação ao vento predominante, não reduzem significativamente a ventilação’. Dispositivos de fachada como *wing wall* e *brise-soleil* podem alterar as zonas de pressão positiva ou negativa ao redor da edificação, assim, quando são inseridos adequadamente podem induzir o fluxo de ar para o ambiente interno (figura 1.8). A eficiência desses dispositivos limita-se às janelas no lado de pressão positiva de uma edificação e não produz nenhum efeito nas janelas situadas a sota-vento.

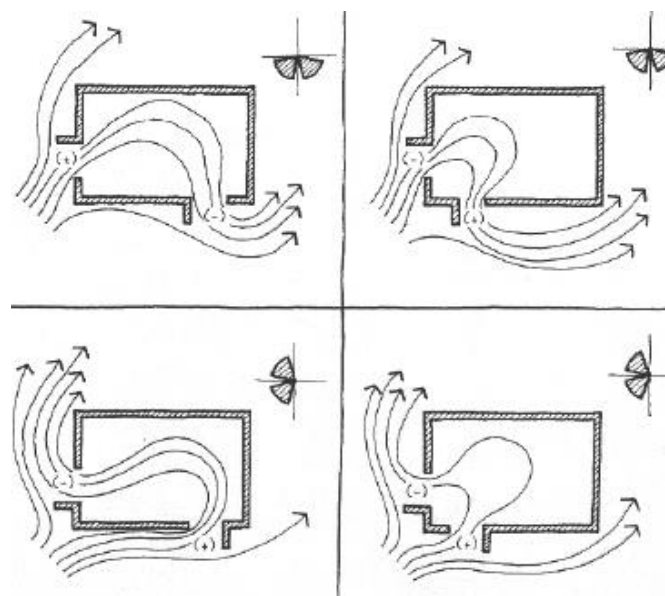


FIGURA 1.8 – Estratégia de utilização de *wing walls* para aberturas em paredes adjacentes.
Fonte: Brown e Dekay, 2004.

Em edificações que têm ambientes com orientações opostas ou com corredor separando os ambientes há uma dificuldade maior em obter a ventilação cruzada, pois este geralmente consiste em uma barreira ao fluxo de ar, porém Brown e Dekay (2004) recomendam três soluções para permitir a ventilação cruzada: 1) uso de janelas com bandeiras móveis; 2) a criação de um plenum com o rebaixamento da área menor; 3) o uso da estrutura do teto ou do piso como hipocausto (figura 1.9).

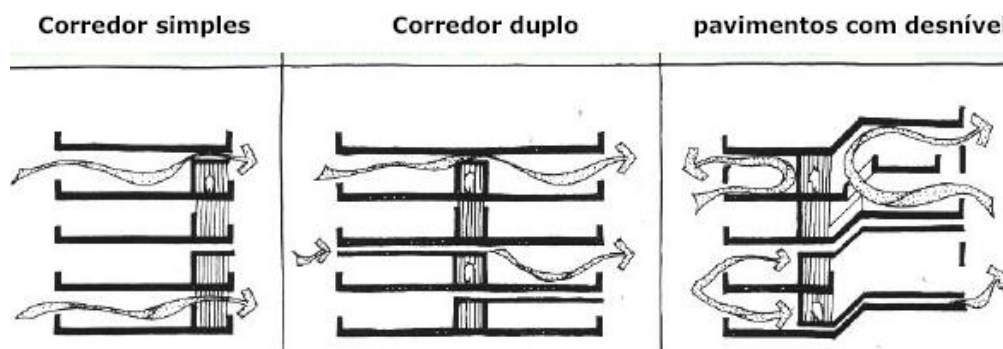


FIGURA 1.9 – Estratégias para ventilação cruzada em edificações com corredores. Fonte: Brown e Dekay, 2004.

A relação entre as dimensões das aberturas de entrada e de saída do ar influenciará no comportamento do fluxo de ar. Aberturas maiores a barlavento do que a sota-vento propiciarão um fluxo de ar mais distribuído, enquanto quando as aberturas a sota-vento forem maiores a velocidade do fluxo de ar será maior.

A vazão média de ar no ambiente por diferença de pressão, considerando uma distribuição média de pressões sobre as fachadas, pode ser calculada por meio da seguinte equação (CSTB):

$$Q = C^d \cdot S \cdot V^H \cdot |Cp^1 - Cp^2|^{1/2} \quad [6]$$

Onde:

Q – vazão de ar, m³/s

C^d - coeficiente de descarga

S – área equivalente das aberturas, m²

V^H - velocidade do vento na abertura, m/s

Cp¹ - coeficiente de pressão da entrada de ar

Cp² - coeficiente de pressão da saída de ar

A área S a ser considerada depende de qual parede está localizada a janela.

Para um ambiente com duas aberturas em paredes opostas ou em paredes laterais, a relação de S com a área de entrada de ar (S₁) com a área de saída de ar (S₂) será:

$$1/S^2 = 1/(S_1)^2 + 1/(S_2)^2$$

Se o ambiente possuir duas janelas em paredes opostas e uma porta de ligação, ou seja, há três aberturas em série, a relação de S será:

$$1/S^2 = 1/(S_1)^2 + 1/(S_2)^2 + 1/(S_3)^2$$

No caso de um ambiente com aberturas em paredes opostas e outra abertura numa parede ortogonal, a fórmula do cálculo da vazão será:

$$Q = C^d \cdot S \cdot V_H \left| (Cp^1 - Cp^2) / 2 - Cp^3 \right|^{1/2} \quad [7]$$

$$\text{Sendo: } 1/S^2 = 1 / (S_1 + S_2)^2 + 1 / (S_3)^2$$

$C^d = 0,6$ é o coeficiente de infiltração do ar na edificação, obtido por experimentos.

Ou no caso de duas aberturas em duas fachadas opostas:

$$1/S^2 = 1 / (S_1 + S_2)^2 + 1 / (S_3 + S_4)^2$$

1.2.2- Ventilação por efeito chaminé (termossifão)

Em certas situações, o vento pode não estar disponível ou a intensidade ser muito baixa, devido a características climáticas ou condição urbana que pode barrar o acesso de uma edificação ao vento. Nessas condições, a ventilação por efeito chaminé pode garantir uma movimentação do ar suficiente para remover a carga térmica do ambiente.

O fenômeno ocorre devido a diferenças de pressões ocasionadas pela diferença de temperatura do ar interno e externo ao edifício. Em um ambiente, o ar aquecido se torna menos denso e tende a subir, caso haja aberturas próximas ao piso e próximas ao teto, esse ar aquecido sairá pelas aberturas mais altas e será substituído por um ar de temperatura inferior que penetrará no ambiente pelas aberturas mais

baixas. A intensidade do fluxo do ar no recinto é função da distância vertical entre as aberturas de entrada e saída de ar, das dimensões das aberturas e da diferença entre a temperatura externa e a temperatura interna na parte mais elevada do ambiente.

A saída do ar quente pode ser melhorada por meio da localização da abertura alta na zona de sucção ou pressão negativa ao redor da edificação.

Segundo Brown e Dekay (2004), quando as áreas de entrada e saída de ar são iguais, as vazões por efeito chaminé são máximas, porém alertam que na prática é difícil projetar as aberturas de saída de ar tão grande quanto às aberturas de entrada.

O fluxo ou vazão de ar por efeito chaminé pode ser obtido por meio da seguinte equação²:

$$Q = C_D A [2g \cdot \Delta H (T_i - T_e) / T_i]^{1/2} \quad [8]$$

Onde:

Q – fluxo ou vazão de ar, m³/s

C_D- coeficiente de descarga das aberturas

ΔH – altura da metade da abertura mais baixa até a metade da abertura mais alta, m

T_i – temperatura interna, K

T_e – temperatura externa, K

Esta equação é aplicada quando T_i > T_e, caso T_i < T_e, substitua na fórmula o denominador T_i por T_e, e no numerador substitua |T_i – T_e| por |T_e – T_i|. No caso em que haja uma estratificação térmica no ambiente, tomar um valor médio para a temperatura interna (em Kelvin).

Para o caso de uma abertura, o coeficiente de descarga C_D, pode ser calculado pela seguinte equação (KIEL e WILSON APUD ASHRAE, 2001):

$$C_D = 0,4 + 0,0045 |T_i - T_e| \quad [9]$$

No caso de várias aberturas considere C_D= 0,65.

Quando as áreas das aberturas de entrada e saída não forem iguais, aplica-se a correção da vazão dada pela Figura 1.13. No eixo das abcissas entra-se com a razão e

² Informações recolhidas e transcritas da apostilha do curso de ventilação e qualidade do ar, Prof. Leopoldo Bastos. PROARQ-FAU/UFRJ.

entre as áreas de saída e entrada, obtendo-se o valor percentual que deve ser acrescido à vazão calculada.

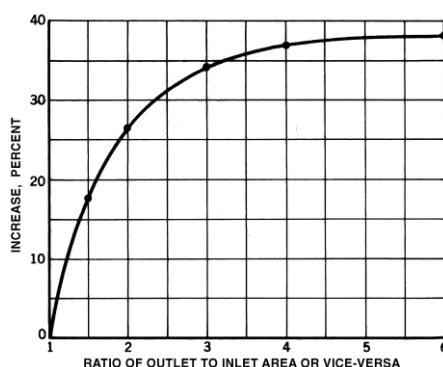


FIGURA 1.10 – Aumento percentual da vazão em áreas de aberturas desiguais.

Fonte: ASHRAE, 2001.

1.2.3- Ventilação por efeito combinado (cruzada e termossifão)

Em regiões onde velocidade do vento é abundante em um determinado período do dia e em outro período predomina a calmaria, para um mesmo edifício, pode ser necessário o uso tanto da ventilação cruzada quanto a ventilação por efeito chaminé.

Essa estratégia combinada também pode ser aplicada a diferentes recintos de uma mesma edificação. Assim a ventilação por ação dos ventos pode ser usada nos recintos onde a fachada tem pressão positiva, ao passo que a ventilação por efeito chaminé pode ser usada no lado de pressão negativa.

Cabe ressaltar que o uso da estratégia ventilação por efeito combinado tem que ser analisada com cuidado, visto que os dois efeitos podem anular a ventilação do recinto, como por exemplo, quando o vento predominante vai de encontro a uma abertura de saída de ar.

Brown e Dekay (2004) elaboraram estratégia de organização dos espaços, por meio de um diagrama, promovendo tanto a ventilação cruzada quanto à ventilação por efeito chaminé (figura 1.11).

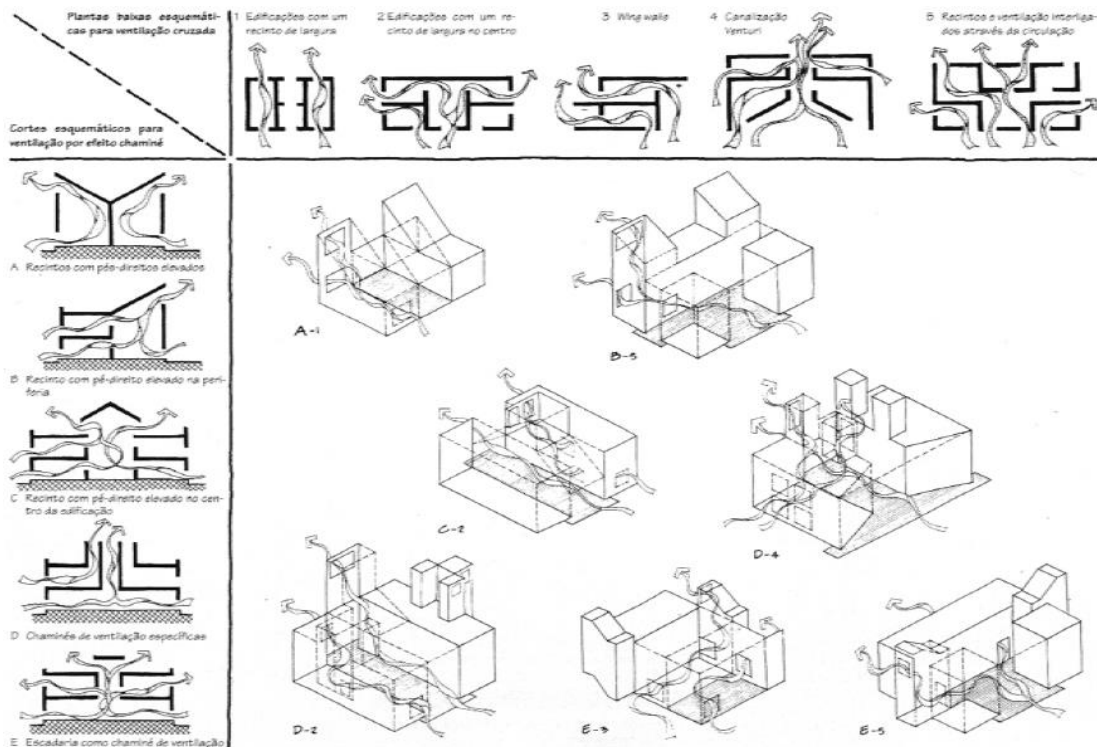


FIGURA 1.11 – Estratégias para ventilação cruzada e por efeito chaminé.

Fonte: Brown e Dekay, 2004.

Conforme recomendação da ASHRAE a vazão de ar produzida pelos efeitos combinados térmicos e por diferencial de pressão pode ser determinada por meio da seguinte equação:

$$Q_{\text{total}} = [(Q_{\text{diferencial de pressão}})^2 + (Q_{\text{termossifão}})^2]^{1/2} \quad [10]$$

O índice de renovação de ar N do ambiente interior será o quociente entre a vazão de ar Q (m^3/h) e o volume do ambiente V (m^3):

$$N = Q / V \quad [11]$$

Este valor calculado será usado para o projeto nas considerações de conforto e qualidade do ar.

1.2.4-Configuração do fluxo de ar interno:

O tamanho, a forma e a localização das aberturas de entrada e saída de ar são os principais determinantes da configuração do fluxo de ar no interior da edificação (GANDEMER et al.,1992). Enquanto para Evans apud Bittencourt (2010), a

configuração do fluxo de ar no interior de uma construção é determinada por três fatores principais: 1) O tamanho e a localização das aberturas de entrada do ar na parede; 2) O tipo e a configuração das aberturas usadas; 3) A localização de outros componentes arquitetônicos nas proximidades das aberturas, tais como divisórias internas e painéis verticais ou horizontais adjacentes a elas (protetores solares e marquises, por exemplo).

- O tamanho e forma das aberturas:

A diferença dos tamanhos entre as aberturas de saída e de entrada do ar influenciará as taxas de ventilação. Quando aberturas localizadas a sotavento são maiores do que as localizadas a barlavento, as vazões serão maiores. Por outro lado, quando as aberturas de entrada de ar são maiores do que as de saída, o fluxo de ar será menor, porém distribuído mais uniforme no interior do ambiente. A figura 1.12 ilustra um estudo de Givoni (1976) que determina a velocidade média do ar em ambientes internos de mesma área, em função da relação entre as aberturas de saída e entrada de ar.



FIGURA 1.12 – Velocidade do ar em função da relação entre aberturas de entrada e saída.

Fonte: Givoni apud Bittencourt e Cândido, 2010.

Para aberturas de entrada e saída de ar com a mesma dimensão, a média da velocidade do ar será influenciada pela porosidade da edificação, sendo esta a razão entre a área total de abertura e a área da parede (figura 1.13).

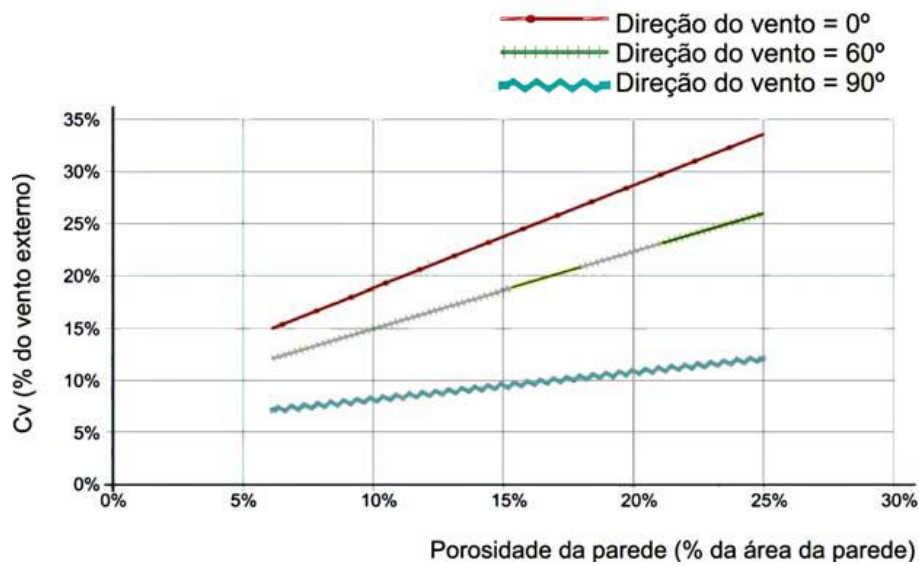


FIGURA 1.13 – Velocidade do ar em função da relação entre a direção do vento e a porosidade. Fonte: Ernest; Bauman; Arens apud Bittencourt e Cândido, 2010.

A forma das aberturas influencia o movimento do ar no interior do ambiente. Sobin apud Bittencourt (2010) investigou a influência de três formas de aberturas (horizontal, quadrada e vertical) e concluiu que para uma mesma área de aberturas, a forma horizontal apresenta melhor rendimento para todos os ângulos de incidência do vento (figura 1.14).

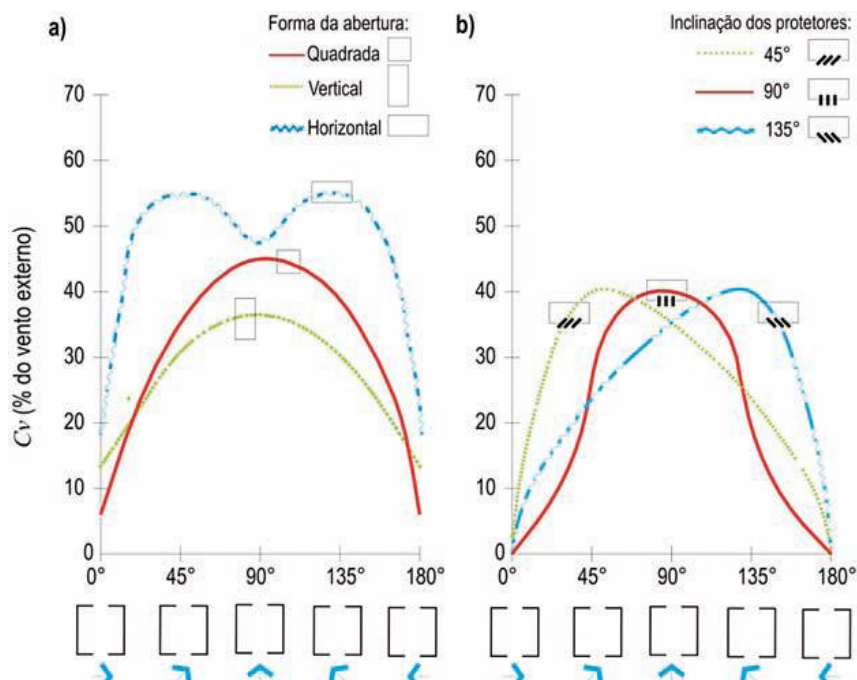


FIGURA 1.14 – Efeito da forma da abertura em função da direção do vento e da existência de protetores solares. Fonte: Sobin apud Bittencourt e Cândido, 2010.

- Localização das aberturas:

A localização das aberturas influencia a trajetória e a velocidade do fluxo de ar através do recinto. As aberturas localizadas em paredes opostas promovem um movimento do ar mais rápido, enquanto nas aberturas localizadas em paredes adjacentes, onde as direções do vento são oblíquas à janela, o fluxo é turbulento e há uma maior mistura do ar, resultando em uma melhor distribuição da velocidade e do efeito de esfriamento ao longo do ambiente (BROWN e DEKAY, 2004).

As aberturas devem estar localizadas em alturas adequadas para permitir o conforto térmico do usuário. Em clima quente-úmido, o vento deve passar pelos usuários para melhorar a sensação térmica, assim se as aberturas estiverem em uma altura média da parede as maiores velocidades do vento ocorrerão nas zonas ocupadas.

A figura 1.15 ilustra o comportamento do fluxo de ar em função da localização e da dimensão das aberturas, do ângulo de incidência do vento sobre a abertura de entrada do ar.

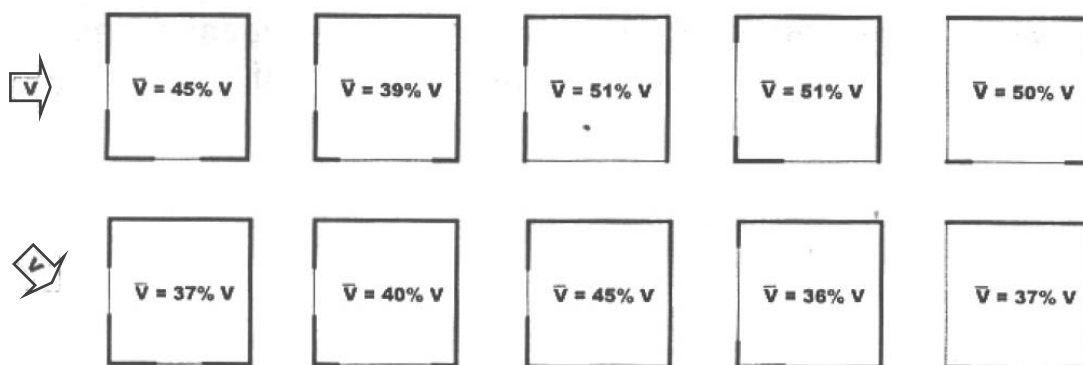


FIGURA 1.15 – Influência da localização e dimensão das aberturas.

Fonte: Givoni, 1976.

- Tipologia das aberturas:

A escolha do tipo das esquadrias envolve várias questões relacionadas a aspectos estéticos, funcionais e econômicos. Em sistemas de ventilação natural, os diversos tipos de aberturas, como esquadrias e elementos vazados, têm características próprias que afetam o fluxo de ar e as condições de conforto térmico dos ambientes.

Para o uso da ventilação natural com o objetivo de obter o conforto térmico, é importante especificar aberturas que além de permitirem a penetração do ar no ambiente, também permitam o controle de entrada e direcionamento do fluxo de ar.

As esquadrias podem ser compostas por partes fixas e móveis, em diversas combinações. Cabe ao projetista escolher a tipologia mais adequada para cada situação.

Tratando-se especificamente de portas e janelas, podemos classificá-las nas seguintes tipologias mais comuns, com suas implicações (desempenho) em relação à ventilação natural:

Janela de tombar de eixo horizontal inferior	Janela projetante de eixo horizontal superior.
Janela maxim-ar projetante deslizante	Janela de abrir francesa
Porta balcão de abrir para o exterior/interior	Janela e porta de correr
Janela pivotante horizontal	Janela pivotante vertical
Persianas de enrolar	Janela basculante de múltiplos elementos

FIGURA 1.16– Principais tipologias de portas e janelas e o fluxo de ar promovido.

Fonte: Figueiredo, 2007.

- Dispositivos verticais e horizontais de fachada:

Os dispositivos verticais e horizontais presentes nas fachadas podem modificar o comportamento do fluxo de ar. Os dispositivos verticais podem ser constituídos de protetores solares verticais, elementos estruturais verticais e extensões de paredes internas na fachada; enquanto os dispositivos horizontais podem ser protetores solares horizontais, marquises, varandas e beirais. Os dispositivos de fachada ainda podem ser do tipo misto, onde pode haver diversas combinações entre elementos verticais e horizontais.

O efeito produzido pelos dispositivos verticais dependerá da posição e da dimensão dos painéis e da direção do vento. Esses podem alterar as zonas de pressão negativa ou positiva nas fachadas e induzir fluxos de ventos através de janelas que não possuem orientação favorável ao vento predominante. Nos ambientes com aberturas em apenas uma parede, estes painéis podem ser eficazes, principalmente em ventos oblíquos às aberturas, podendo funcionar como captadores de vento e também promover a ventilação cruzada (figura 1.17). A profundidade da corrente interna de ar dependerá também da velocidade do vento.

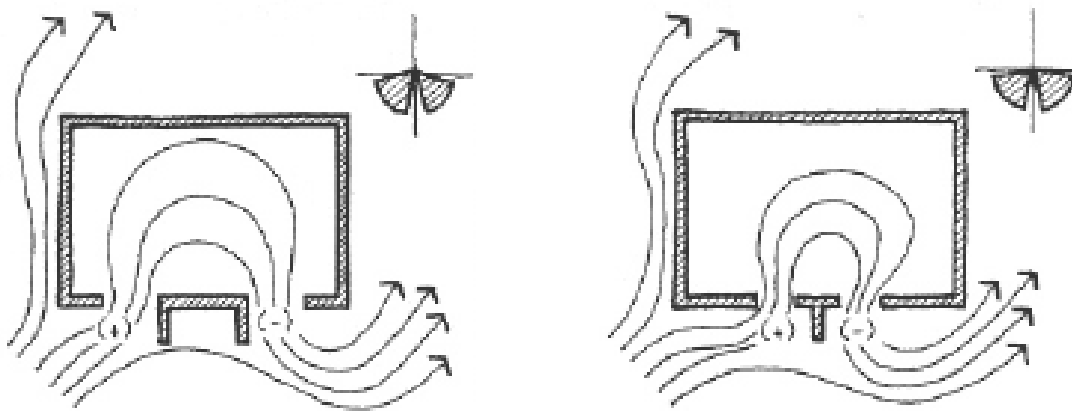


FIGURA 1.17 – Estratégia de utilização de *wing walls* para aberturas na mesma parede.

Fonte: Brown e Dekay, 2004.

Os dispositivos horizontais como beirais extensos e varandas em edifícios térreos direcionam a parte do fluxo de ar que iria ser direcionada acima do edifício para dentro do ambiente, aumentando a ventilação interna. Marquises colocadas logo acima da abertura anulam a influência da corrente descendente, direcionando o fluxo para cima, mas se o beiral estiver ligeiramente afastado da fachada seriam restabelecidas as condições originais (figura 1.18).

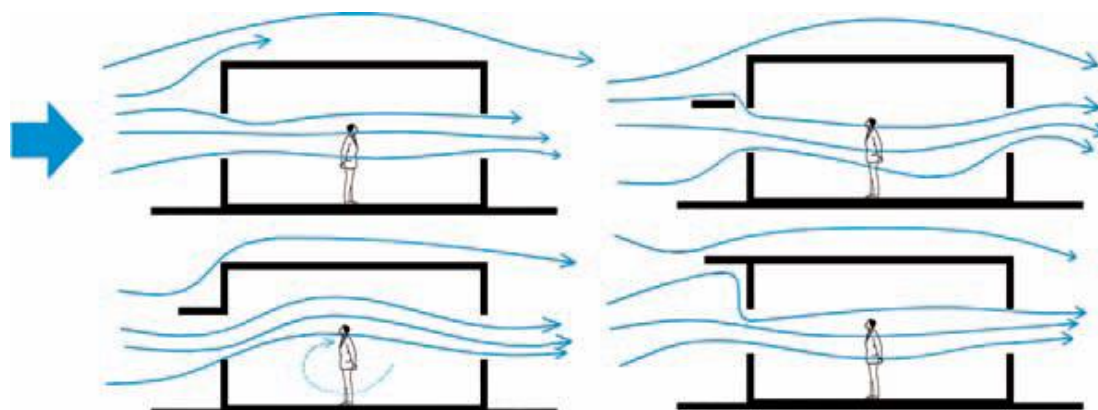


FIGURA 1.18 – Efeito das projeções horizontais no fluxo de ar interno.

Fonte: Olgyay apud Bittencourt e Cândido, 2010.

Em edifícios, o fluxo do ar pode ser descendente nos andares mais baixos e ascendente nos andares mais altos, com a colocação dos dispositivos horizontais, o escoamento se tornará uniforme em todos os pavimentos (figura 1.19).

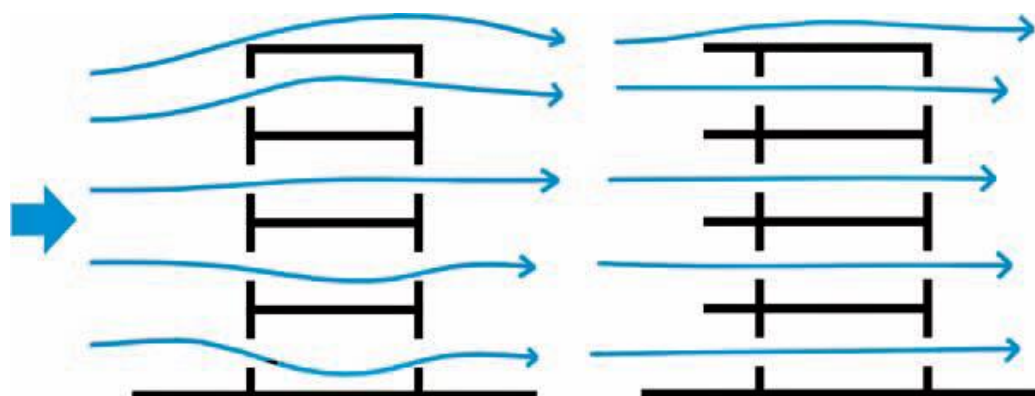


FIGURA 1.19 – Efeito de elementos horizontais no fluxo de ar em edifícios.

Fonte: Bittencourt e Cândido, 2010.

- Divisões internas:

A configuração do espaço arquitetônico também exerce influência sobre o comportamento da ventilação. A delimitação de espaços por divisórias internas pode modificar a distribuição e a velocidade do ar dependendo das aberturas nessas divisórias. A localização desfavorável à ventilação pode causar má distribuição e baixa velocidade do ar. Givoni (1976) demonstra como o fluxo do ar é afetado pelas divisões internas e suas aberturas (figura 1.20).

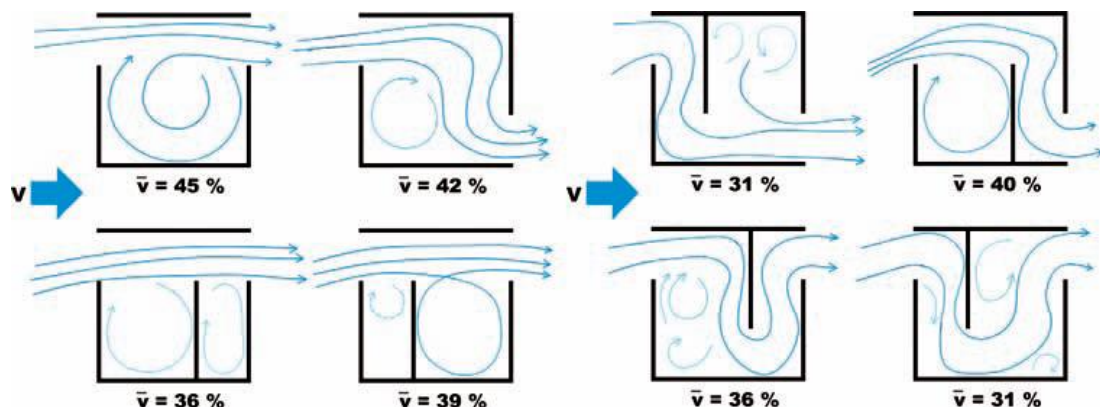


FIGURA 1.20 – Efeito das divisões internas na configuração do fluxo de ar em edifícios.

Fonte: Givoni apud Bittencourt e Cândido, 2010.

Em ambientes de escritórios, é comum a divisão dos espaços em vários ambientes por meio de divisórias, o que pode ocasionar locais com baixa circulação de ar, principalmente nas salas menos favorecidas à ventilação, onde as suas aberturas estão voltadas para zona de pressão negativa do edifício. Nesse caso, recomenda-se o uso de divisórias com porosidade mínima de 50% (GANDEMER et al.,1992) ou um *plenum* para a ventilar as salas à sotavento, conforme mencionado no item 1.2.1.

1.2.5-Coeficiente de descarga das aberturas

No ambiente interior, o fluxo de ar vai tendo uma redução de pressão à medida que encontra resistências no seu trajeto. As perdas podem ser ocasionadas pelo atrito nas superfícies, mudança na direção do fluxo, expansão e contração da seção por onde passa o fluxo, e resistências dos fluxos nas aberturas de entrada e

saída do ar do ambiente, sendo que para esta resistência nas aberturas é atribuído um coeficiente de descarga (C_D).

Em uma janela, parte da pressão exercida pelo vento é convertida em fluxo de ar e outra parte da energia desse escoamento é dissipada. Essa perda varia em função da forma da janela e de sua posição no escoamento.

A parcela útil da energia para a ventilação varia entre 100% da energia, quando não há perdas, e 0% para perda total dessa energia. Chama-se o coeficiente de descarga o valor entre 1 a 0 que fornece a parcela útil para ventilação.

Na literatura encontram-se valores para o coeficiente de descarga das aberturas, relacionados ao tamanho. Segundo Allard (1998), o C_d para aberturas pequenas é igual a 0,65; para aberturas padrão o valor corresponde a 0,78; e para aberturas grandes internas o valor pode ser próximo de 1. No entanto para Cóstola (2005), o valor comumente usado para C_d é de 0,6.

Os valores dos coeficientes de descargas podem ser obtidos em função da tipologia das aberturas, conforme tabela abaixo:

TABELA 1.4– Exemplos de C_d por tipo de janela

Tipo de janela	C_d
Veneziana com 50% de área livre	0,40
Basculante com chapas a 60 graus	0,58
Abertura com bordas vivas	0,62
Abertura com bordas arredondadas	0,85

Fonte: Clezar e Nogueira apud Versage, 2009.

Em janelas pivotantes, o valor de C_d aumenta à medida que o ângulo das aberturas cresce, assim como esse valor também é maior com o aumento da área de caixilho (CÓSTOLA, 2005).

Este mesmo autor propõe que as aberturas localizadas na face a barlavento sejam maiores que as aberturas à sotavento, devido ao C_d ser maior quando o fluxo de ar ocorre no sentido interior-exterior em janelas de mesma geometria. Porém essa proposta seria adequada para regiões onde a direção do vento seja constante e não mude ao longo do ano ou da estação de interesse.

1.3–Ventilação natural e conforto

1.3.1- Conforto térmico

O conforto térmico é atingido quando são atendidas as seguintes condições: a pessoa se encontra em neutralidade térmica; a temperatura de sua pele e a sua taxa de secreção de suor estejam dentro de certos limites compatíveis com sua atividade; a pessoa não esteja sujeita a desconforto térmico localizado (LAMBERTS et al, 1998). Segundo a ASHRAE 55 (1992), ocorre o conforto térmico, quando existe uma percepção de satisfação por parte do ser humano em relação ao ambiente térmico.

Quando o balanço de trocas de calor não for nulo (neutralidade térmica), os mecanismos termorreguladores do ser humano atuam para manter a temperatura interna constante. Em situações de frio, esses mecanismos atuam para evitar a perda de calor por meio da vasoconstrição, arrepio e aumento de metabolismo. Na presença de calor, os mecanismos são a vasodilatação, a produção de suor e diminuição do metabolismo, para aumentar a perda de calor. A troca de calor também ocorre por meio da respiração.

As condições de conforto térmico dependem da combinação das variáveis ambientais, da atividade física desempenhada e da resistência térmica das vestimentas.

- Variáveis ambientais

As variáveis ambientais que influenciam a sensação de conforto térmico são a temperatura radiante, a temperatura de bulbo seco do ar, a umidade relativa e a velocidade do ar.

Os efeitos das variáveis ambientais sobre a satisfação dos usuários podem ser representados graficamente sobre uma carta bioclimática, delimitando a zona de conforto. Os pontos dentro dessa zona representam dados de temperatura e umidade as quais a maioria das pessoas tem a sensação de conforto. Os limites superiores desses dados podem ser expandidos pelo uso da ventilação, mantendo a sensação térmica de conforto. Segundo Lamberts et al (1997), o modelo de carta bioclimática mais adequado às condições brasileiras é o desenvolvido por Givoni para países em desenvolvimento, que considera os indivíduos desses locais adaptados à uma maior amplitude térmica, conforme linha tracejada na figura 1.21.

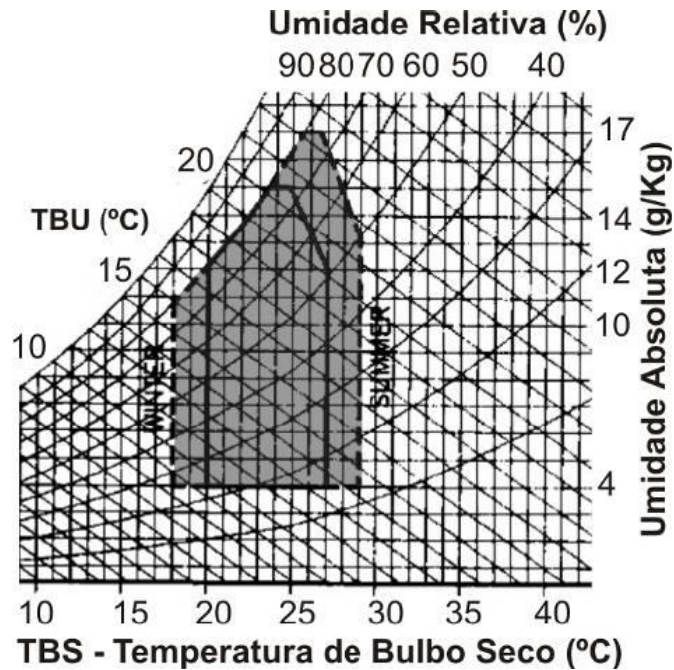


FIGURA 1.21 – Zona de conforto segundo Givoni.

Fonte: Givoni apud Cunha, 2010.

Em clima quente-úmido a ventilação natural é a estratégia bioclimática mais recomendada, pois retira o calor e evapora a umidade da pele (suor) aumentando a perda de calor, resultando em maior tolerância do ser humano a temperatura e umidade mais elevadas.

O aumento da velocidade do ar melhorará a sensação de conforto térmico. Alguns estudos quantificaram o benefício da ventilação sobre o nível de satisfação dos indivíduos em temperaturas mais elevadas, como o desenvolvido por Nicol apud Costa (2010) para ambientes de trabalho e de estudo. Esse autor propõe a seguinte equação para determinar o acréscimo de temperatura da zona de conforto:

$$dT = 7 - \left(\frac{50}{4 + 10\sqrt{v}} \right) \quad [13]$$

Onde:

dT - acréscimo de temperatura de conforto (°C)

v - velocidade do ar no nível dos usuários (m/s)

A representação gráfica da aplicação dessa equação (figura 1.22) permite observar que é possível aumentar em mais de 3 °C o limite superior da zona de conforto com a velocidade do vento de 1 m/s.

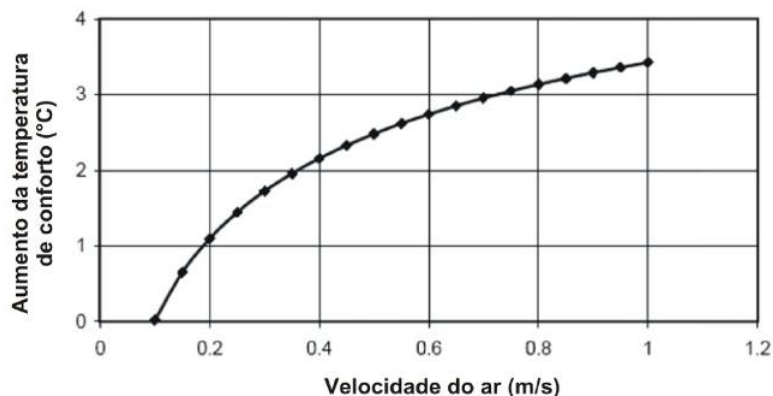


FIGURA 1.22 – Acréscimo da temperatura limite de conforto em função da velocidade do ar. Fonte: Nicol apud Cunha, 2010.

- Atividade desempenhada

A atividade desempenhada pela pessoa determina a quantidade de calor gerado pelo organismo. Esse calor é oriundo do metabolismo dos alimentos ingeridos por parte do organismo humano. Quanto maior a atividade física maior será a taxa metabólica. Esse calor gerado é dissipado para o ambiente para não acarretar elevação exagerada da temperatura corporal, porém o corpo humano se torna uma fonte de calor a mais para o ambiente interno, o que pode gerar maior necessidade de ventilação.

No processo projetual arquitetônico, obviamente se deve conhecer o tipo de atividade a ser realizada no ambiente, para definir soluções voltadas para uma adequação para a sensação térmica de conforto para os usuários. Conforme a ISO 7730 (1994), em academias, atividades como caminhada na esteira a 5 km/h gera taxa metabólica de 200 W/m² (3,4 met) enquanto em escritórios a taxa metabólica é de 70 W/m² (1,2 met), portanto haverá uma necessidade maior de ventilação no primeiro ambiente.

- Resistência térmica das vestimentas

A influência da resistência térmica das roupas precisa ser considerada na sensação de conforto térmico do homem. Quanto maior a resistência térmica da roupa menor será as suas trocas de calor com o meio. Em escritórios, como as atividades desempenhadas são sedentárias, a vestimenta exerce uma influência maior na determinação da zona de conforto que a atividade física (LAMBERTS et al, 1998). A unidade que expressa a resistência térmica da roupa é o “clo”, a ISO 7730 apresenta os valores por peças e por trajes típicos.

- Efeito combinado das variáveis

Nas figuras 1.23 e 1.24, Corbella (2003) demonstra os valores de temperatura de conforto em função da combinação das seguintes variáveis: roupa e atividade, e vento e atividade, mantendo fixas as demais variáveis.

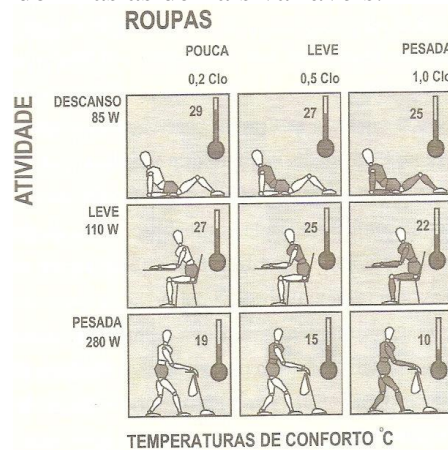


FIGURA 1.23 – Temperatura de conforto para umidade relativa de 60% sem vento.

Fonte: Corbella, 2003.

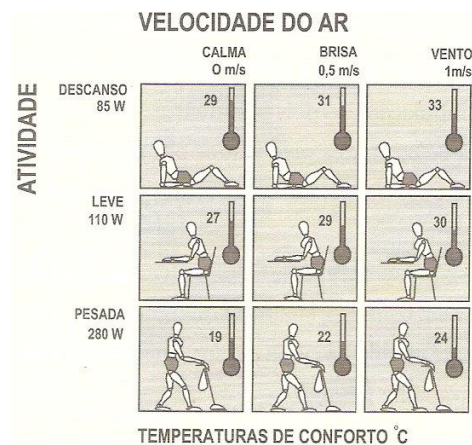


FIGURA 1.24 – Temperatura de conforto para umidade relativa de 60% e roupa 0,2clo.

Fonte: Corbella, 2003.

1.3.1.2- Avaliação das condições de conforto higrotérmico

Entre as metodologias desenvolvidas para o cálculo de estimativas de conforto higrotérmico, o método utilizado na Norma Internacional ISO 7730/94, baseado no modelo desenvolvido por Fanger (1970), é muito aplicado em avaliações de conforto higrotérmico. Esta norma propõe um método de determinação da sensação térmica e o grau de desconforto das pessoas expostas a ambientes térmicos moderados e especifica condições térmicas aceitáveis para conforto.

Segundo a ISO 7730 (1994), quando os parâmetros físicos de um ambiente e parâmetros individuais (taxa metabólica e resistência térmica) são conhecidos, a sensação térmica do corpo humano pode ser estimada pelo cálculo do índice de voto médio estimado (PMV). A norma também descreve o cálculo do índice da porcentagem de pessoas insatisfeitas com as condições térmicas do ambiente (PPD), bem como, os parâmetros relativos à aceitabilidade térmica desse ambiente, considerando esses índices.

Os índices PMV e PPD podem ser determinados analiticamente pelas seguintes equações:

$$PMV = [0,303.exp(-0,036M + 0,028)]L \quad [14]$$

Onde:

PMV – voto médio estimado, ou voto de sensação de conforto térmico

M – taxa metabólica em função da atividade desempenhada pelo indivíduo (W/m^2)

L – carga térmica atuante sobre o corpo (W/m^2)

$$PPD = 100 - 95.exp[-(0,03353.PMV^4 + 0,2179.PMV^2)] \quad [15]$$

O método considera os votos registrados pelas pessoas sobre a escala sétima da ASHARE, ou escala de sete pontos, que aponta desde muito frio até muito quente (tabela 1.5).

Além da equação 16, o PMV pode ser calculado pelas tabelas do anexo C da norma e diretamente, utilizando um sensor integrador. Enquanto o PPD pode ser determinado por meio do gráfico da figura 1.25. Atualmente, esses índices também podem ser calculados por programas computacionais.

TABELA 1.5– Escala de sete pontos da sensação térmica

PMV	Sensação térmica
+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Levemente quente
0	Neutro
-1	Levemente frio
-2	Frio
-3	Muito frio

Fonte: ISO 7730,1994.

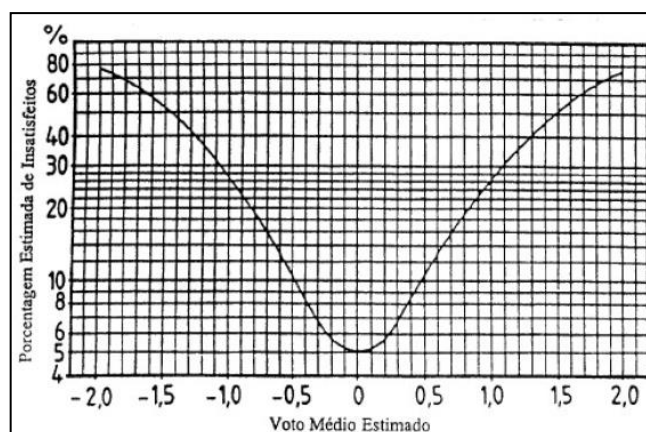


FIGURA 1.25 – Porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD), em função do voto médio estimado (PMV). Fonte: ISO 7730, 1994.

Fanger e Toftum (2002) apresentaram uma correção do índice PMV para climas quentes em ambientes não climatizados, em razão de estudos indicarem que os usuários nessas condições, sentem menos calor do que o estimado pelo PMV. A proposta consiste na adoção de um fator de expectativa (e) que seria multiplicado ao PMV, conforme o tipo predominante de climatização (tabela 1.6).

TABELA 1.6– Fator de expectativa para edificações não climatizadas artificialmente em climas quentes

Expectativa	Classificação das edificações		Fator de expectativa
	Localização	Períodos quentes	
Alta	Regiões onde edifícios climatizados são comuns	Breve durante o verão	0,9 – 1,0
Moderada	Regiões com alguns prédios climatizados	Período de verão	0,7 – 0,9
Baixa	Regiões com poucos prédios climatizados	Todas as estações	0,5 – 0,7

Fonte: Fanger e Toftum, 2002.

Zambrano, Stramandinoli e Bastos (2006), analisaram um espaço urbano na cidade do Rio de Janeiro, adotaram o fator de expectativa de 0,6, após concluírem que os votos dos usuários coletados em campo serem mais próximos do PMV corrigido com esse fator.

O programa computacional PMV/PPD³ foi desenvolvido de acordo com a ISO 7730 (1994) e incluído o fator de expectativa (*e*) para clima quente proposto por Fanger e Toftum (2002). Nesse programa, são apresentados os resultados do PMV e do PPD e as sensações térmicas conforme faixas sugeridas no algoritmo da referida norma (tabela 1.7), e os resultados dos votos médios estimados e percentual de pessoas insatisfeitas corrigidos, PMVc e PPDc (figura 1.26).

TABELA 1.7– Relação entre o PMV e a sensação térmica

PMV	Sensação térmica
PMV > +2,5	Muito quente
+2,5 ≥ PMV < +1,5	Quente
+1,5 ≥ PMV < +0,5	Levemente quente
+0,5 ≥ PMV ≤ -0,5	Neutro
-0,5 < PMV ≤ -1,5	Levemente frio
-1,5 < PMV ≤ -2,5	Frio
PMV < -2,5	Muito frio

Fonte: ISO 7730,1994.

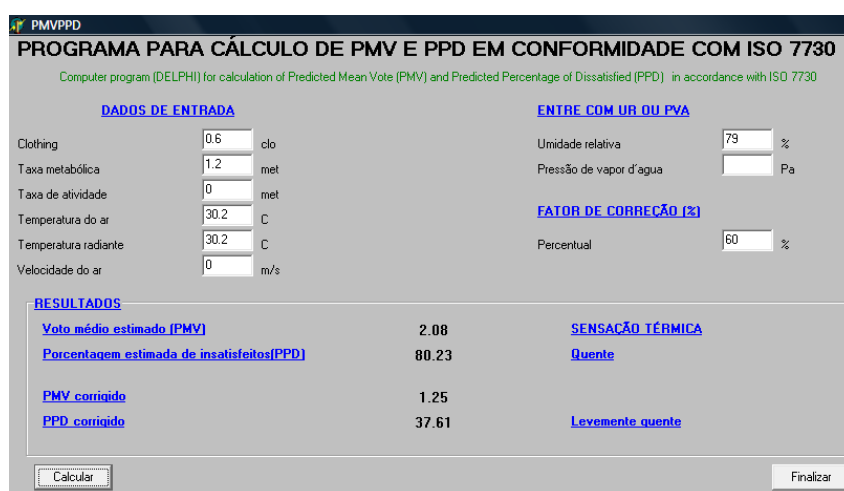


FIGURA 1.26 – Programa PMVPPD para cálculo do PMV e PPD.

³ Programa desenvolvido por Neury Nunes Cardoso, em linguagem Delphi, conforme os algoritmos prescrito na ISSO 7730, para a tese de doutorado de Cristina Malafaia C. Stramandinoli PROARQ-FAU (2008).

1.3.2- Qualidade do ar do interior da edificação

A qualidade do ar interior pode ser determinada pelos teores de oxigênio (nível aeróbico), de umidade (nível higrotérmico) e de poluentes (grau de pureza) presentes no ambiente interno. Também por meio dos sentidos do usuário, o ar deve ser percebido como fresco e confortável ao invés de viciado, abafado e causador de irritações. Aliado ao fato que o risco à saúde ao respirar o ar deve ser desprezível. A qualidade do ar será alta se houver mais de 90% de ocupantes satisfeitos e risco à saúde insignificante; enquanto a qualidade será baixa se houver mais de 30% de ocupantes insatisfeitos ou risco à saúde significativo (FANGER, 1992).

- Fontes poluentes: internas e externas

O meio interior é contaminado de diversas formas durante o uso do espaço. A simples atividade biológica provoca um consumo de oxigênio e um desprendimento de anidrido carbônico, o qual o ser humano admite apenas a presença de pequenas quantidades deste gás. Outra forma de contaminação está relacionada ao vapor de água oriundo da transpiração das pessoas que propicia a proliferação de microrganismos nocivos à saúde (RIVERO, 1986).

Porém é importante ressaltar que os usuários não são as únicas ou as principais fontes poluidoras. Estudos recentes indicam que os materiais e os equipamentos empregados na edificação como revestimentos, mobiliário e sistema de ar-condicionado muitas vezes são mais poluidores que os usuários, (FANGER, 1992). Além dessas fontes poluentes, a qualidade do ar do interior dos edifícios também é afetada por diversos fatores como, por exemplo, a localização geográfica, o clima, outras fontes de materiais poluentes e os processos de trabalhos (ASHRAE, 1997).

Também, é importante conhecer a qualidade do ar exterior para auxiliar na decisão do projetista em usar a ventilação natural ou sistema de condicionares de ar. Nos centros urbanos, que possuem vias de tráfego pesado, os veículos automotores podem ser fontes de poluição do ar que contribuam significativamente para baixa qualidade do ar, inviabilizando o uso do sistema passivo de ventilação; outro problema relacionado aos veículos está no fato deles serem fontes excessivas de

ruídos, o que pode ser necessário o fechamento das janelas dos edifícios também restringindo o uso da ventilação natural.

Quanto às substâncias poluentes elas podem ser partículas ou gases; orgânicos e inorgânicos; visíveis e invisíveis; submicroscópicos, microscópicos ou macroscópicos; tóxicos ou não; estáveis ou instáveis. Os poluentes podem ser classificados da seguinte maneira:

- a) Bio-aerossóis: esses contaminantes são do tipo biológico ou microbiológico, como vírus, fungos, bactérias e polens. Esses agentes podem provocar pneumonia, sinusite e reações alérgicas. Em ambientes de escritórios, os ácaros e os fungos em razão da umidade e a poeira causada pela teia de aracnídeos são as principais fontes de alergênicos.
- b) Aerossóis: apresentam-se em forma de partículas sólidas, líquidos ou fibras, com dimensões menores que 10^4 m, portanto podem ser facilmente inalados. As fontes desses poluentes em ambientes interiores são os sistemas de renovação do ar, o fumo e os materiais de revestimento ou de móveis que liberem fibras ou micro fibras minerais.
- c) Metais pesados: tipo de contaminação característica das edificações industriais.
- d) Componentes Gasosos: de uma forma geral, em relação à qualidade do ar interior, os poluentes considerados são os óxidos do carbono (CO_2 , CO, etc); os óxidos do nitrogênio (NO_x , HNO_3 , etc); o dióxido de enxofre SO_2 ; o vapor d'água; o Radônio; e os compostos orgânicos voláteis orgânicos ou semi-orgânicos COV.

- Desafios de caracterizar o risco à saúde e tipos de doenças causadas pelo SED

Diversos estudos indicam que as queixas de usuários relativas à saúde e ao desconforto ambiental, os índices de absenteísmo e a baixa produtividade no trabalho podem estar relacionados à má qualidade do ar interior, sendo esta, resultado de diversas causas, dentre elas a própria construção influencia significativamente (LAPA et al apud BASTOS, 2012).

Nos ambientes confinados nos quais não há renovação do ar ou ela é insuficiente, ocorre acúmulo de poluentes gerados nesses ambientes, ocasionando dificuldades para a respiração e aumento do risco de doenças respiratórias, mesmo que haja inicialmente um único ocupante doente.

Segundo estudos desenvolvidos pela *Environmental Protection Agency* (EPA), os ambientes fechados climatizados artificialmente podem apresentar o ar interior mais poluído que o ar exterior, ao ponto de caracterizarem-se em ambientes prejudiciais à saúde.

Em numerosas pesquisas, há registros de reclamações relatadas por usuários relacionadas à qualidade do ar dos ambientes internos como a percepção de ar viciado e abafado, irritação das mucosas, dores de cabeça, letargia e outras. Em virtude desse conjunto de queixas relacionadas à saúde e conforto, a Organização Mundial da Saúde passou a definir a Síndrome do Edifício Doente (SED). Para edificações não industriais, o edifício é caracterizado com SED quando ocupantes apresentam prevalência superior a 20% dos sintomas descritos na tabela 1.8 – Sintomas mais comuns na SED. Cabe destacar que não há uma doença específica, mas um conjunto de sintomas relacionados à permanência na edificação.

Tabela 1.8 – Sintomas mais comuns na SED

Sintomas de mucosa	Lacrimejamento, coriza e obstrução nasal, prurido, irritação, dor e secura, afetando a mucosa ocular, nasal e faríngea.
Sintomas asmáticos	Opressão torácica, tosse, dispneia e sibilos.
Sintomas neuro-tóxicos	Cefaléia, letargia, dificuldade de concentração e irritabilidade.
Sintomas cutâneos	Prurido, xerodermia, irritação e eritemas.
Outros sintomas	Gastro-intestinais, hematológicos, alterações visuais e percepção aumentada para odores.

Fonte: Graundenz et al apud Bastos, 2012.

Em ambientes fechados, a exposição a poluentes biológicos aumenta o risco à saúde, principalmente em indivíduos com baixa imunidade e alérgicos. Os meios físicos como dutos e filtros dos sistemas de ar condicionado podem ser criadouros de agentes biológicos, e dependendo das condições de umidade e de temperatura a proliferação desses agentes pode ser ainda maior. A figura 1.27 ilustra os efeitos

decorrentes da taxa de umidade relativa do ar em relação à proliferação de agentes biológicos e ao aumento de doenças. Em climas excessivamente úmidos como, por exemplo, em muitas regiões do Brasil, a umidade pode contribuir negativamente para a qualidade do ar interior.

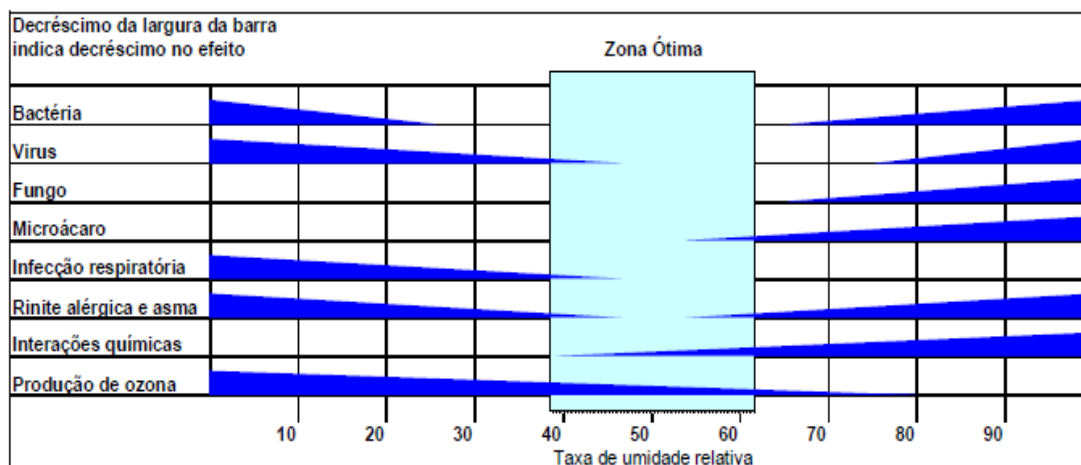


FIGURA 1.27 – Condições ambientais e efeitos adversos à saúde.

Fonte: Arundel et al apud Bastos, 2012.

- Método de avaliação da qualidade do ar

A qualidade do ar pode ser considerada sob o enfoque da qualidade físico-química do ar para avaliação da saúde dos ocupantes, e sob a questão olfativa (percepção de odores) que é relacionada com o conforto. Segundo ASHARE (1989), a questão do olfato pode ser considerada na interpretação das concentrações e na qualidade do ar. Esta pesquisa abordará este segundo enfoque.

A percepção da poluição e qualidade do ar através do olfato (intensidade do odor) pode ser expressa pelo Modelo de Emissão e Índice de Qualidade Olfativa do Ar (modelo de Fanger).

Este modelo se baseia na percepção do ser humano da qualidade do ar em ambientes internos, portanto subjetiva, porém define o nível da qualidade do ar pelo percentual de pessoas insatisfeitas, conforme tabela 1.9. Neste modelo, Fanger não considera o problema da identificação das espécies químicas odorantes e a interpretação de suas concentrações.

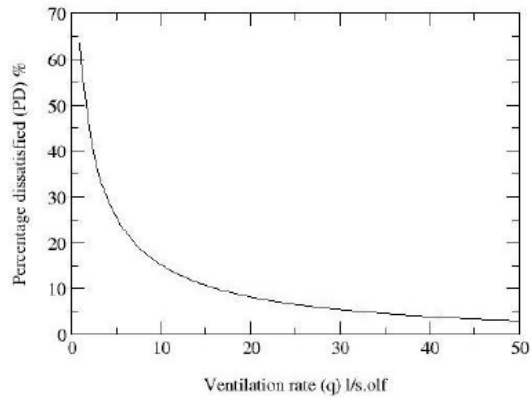


FIGURA 1.28 – Percentual de pessoas insatisfeitas em função da ventilação.

Fonte: Fanger, 1992.

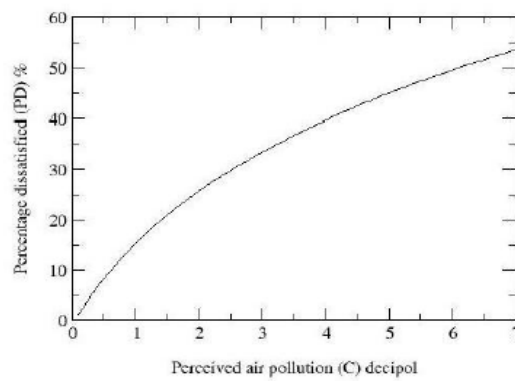


FIGURA 1.29 – Percentual de pessoas insatisfeitas em função da poluição do ar.

Fonte: Fanger, 1992.

Tabela 1.9 – Três níveis de qualidade de ar percebida

Nível da qualidade de ar em ambiente interno	% Indivíduos insatisfeitos	Qualidade do ar observada	Grau de ventilação exigida* em l/s - olf
Alta	10	0,5	16
Padrão	20	1,4	7
Mínima	30	2,5	4

*Presumindo ar puro do ambiente externo e uma eficiência de ventilação de 100%

Fonte: Adaptado Fanger, 1992.

A qualidade de ar percebida é indicada em unidade Decipol, a qual representa a poluição do ar num espaço com uma carga de poluição igual a 1 olf e ventilado por uma vazão de 10 l/s de ar limpo, assim 1 Decipol equivale a 0,1 olf/ litros por

segundo. A unidade olf é definida como a quantidade de poluição produzida por uma pessoa padrão⁴.

Para as demais fontes de poluição, Fanger propôs também que as emissões fossem expressas em olf, ou seja, o número de pessoas padrão necessário para poluir o ar na mesma quantidade que outra fonte de poluição. A carga de poluição total seria calculada pela soma das fontes poluidoras em unidade olf, porém há escassez de informação da carga olf dos materiais. Para viabilizar esse cálculo, Fanger fez a medição da carga olf causado pelo edifício incluindo mobiliário, carpete, ar condicionado ou ventilação, em diferentes tipos de edifícios existentes. Essas medições foram compiladas na tabela 8.

Tabela 1.10 – Carga olf por ocupante

Sedentários, 1-1,2 met*	
0% de fumantes	1
20% de fumantes**	2
40% de fumantes**	3
100% de fumantes**	6
Ginastas	
Baixo nível, 3 met	4
Nível médio, 6 met	10
Alto nível (atletas), 10 met	20
Crianças	
Pré-escola, 3-6 anos, 2,7 met	1,2
Escola, 14-16 anos, 1-1,2 met	1,3

*1 met é o índice de metabolismo de uma pessoa sedentária em estado de repouso.

** Índice de fumo médio, 1, 2 cigarros/hora por fumante.

Fonte: Adaptado Fanger, 1992.

⁴ A pessoa padrão é um adulto médio trabalhando no setor terciário, sedentário, em situação de equilíbrio térmico e tendo um tipo de higiene definido como 0,7 banhos por dia. O que corresponde a uma taxa de metabolismo de 1 a 1,2 met (1 met = 58,2 W/m²).

Ambientes	Ocupantes/m ²
Escritórios	0,07
Salas de conferência	0,5
Locais de reunião, teatros e auditórios	1,5
Escolas (salas de aula)	0,5
Habitacões	0,05

Fonte: Adaptado Fanger, 1992.

	Carga de poluição em olf/m ²	
	Média	Variacão
Edifícios de escritórios*	0,3	0,02-0,95
Salas de aula**	0,3	0,12-0,54
Locais de reunião***	0,5	0,13-1,32
Valores ideais	-	0,05-0,1

*Dados para 24 edifícios de escritórios.

**Dados para 6 escolas.

***Dados psra 5 locais de reunião

Fonte: Adaptado Fanger, 1992.

O índice de ventilação exigido para obter a qualidade de ar desejada pode ser estimado por meio da seguinte equação:

$$Q = 10 G / [\varepsilon(S_i - S_o)] \quad [16]$$

Onde:

Q: Vazão de ar, em litros/segundo;

G: Intensidade da fonte de poluição, (olf);

S_i: Qualidade do ar percebido ou desejado, (decipol);

S_o: Qualidade do ar percebido no ambiente exterior, (decipol);

ε: Eficácia da ventilação no ambiente interior.

- Diretrizes para o projeto da edificação

Inicialmente deve ser estabelecido o nível de qualidade de ar desejável para o ambiente interno que depende principalmente de razões econômicas e do uso do espaço. Em alguns espaços, o tempo de permanência do usuário pode ser curto o que pode exigir apenas uma qualidade de ar mínima. Por outro lado, em ambientes de permanência prolongada como escritórios pode ser necessário um nível de qualidade alto.

Após definido a qualidade do ar desejada, cabe aos profissionais envolvidos no projeto optarem por soluções construtivas que emitam menos poluentes. A arquitetura exerce um papel fundamental para a alta qualidade do ar interior. Desde a fase inicial do projeto, o arquiteto deve atentar para questões sobre a implantação e influência do entorno, adequação da arquitetura ao clima, a especificação de materiais de baixa emissão de poluentes, a localização e as dimensões das aberturas para entrada e saída do ar, o tipo de uso dos ambientes, entre outros.

A ventilação dos ambientes deve ser suficiente para atender os requisitos básicos de exigências humanas como o suprimento de oxigênio, diluição da concentração de gás carbônico e desconcentração de odores corporais; no entanto deve ser previsto taxa de ventilação para este último requisito por ser o que exige maior vazão para dissipação dos odores (FROTA, 2006).

Em edificações em clima quente-úmido localizadas em áreas com boa qualidade do ar e que utiliza a ventilação natural como estratégia para obter conforto térmico, normalmente a qualidade do ar interno também é boa, pelo motivo dessas construções possuírem aberturas de grandes dimensões, suficientes para permitir uma renovação de ar que dilua a concentração de fontes poluidoras; entretanto em edificações em locais que apresentam temperaturas mais frias, como no sul do Brasil na estação do inverno, as aberturas devem ser projetadas de modo que nesse período propiciem apenas a renovação de ar a exigências de higiene, assim é imprescindível a maior redução das fontes poluidoras do ar interno.

A ventilação deve promover o risco à saúde desprezível. Os elementos poluentes deveriam ter suas concentrações máximas e tempo máximo de exposição conhecidos, no entanto dificilmente no caso de materiais e equipamentos constam

essas informações. O dióxido de carbono (CO₂) é o principal bioefluente produzido pelo ser humano, porém em baixas concentrações não representa riscos à saúde.

1.3.3- Arrefecimento do edifício

O edifício nos horários de ocupação, geralmente possui temperatura maior que do exterior, devido à exposição à radiação solar, ganhos térmicos produzidos pelos usuários, equipamentos e luminárias, podendo causar desconforto térmico nos usuários. A ventilação natural pode diminuir a temperatura interna a um nível próximo da temperatura externa, removendo a carga térmica do interior da edificação.

Em escritórios de ocupação diurna, o uso da ventilação noturna para resfriamento da estrutura do edifício será adequado, caso a temperatura externa for mais baixa que a interna. Esta estratégia poderá economizar energia em ambientes que usam sistema de ar condicionado, pois no dia seguinte o sistema terá que remover menor carga térmica (CORBELLA, 2003).

CAPÍTULO 2 – O AMBIENTE DE ESCRITÓRIO

2.1 – O *layout* dos escritórios

O *layout* dos escritórios irá influenciar o processo de trabalho e o nível de interação entre os usuários, bem como o comportamento do fluxo de ar, a qualidade da iluminação e da acústica. Esses ambientes devem ser dimensionados e organizados de acordo com as necessidades de cada empresa. A organização dos espaços de trabalho em escritórios dependerá do tipo de funcionamento das organizações, com seus fluxos de tarefas, funções específicas de cada funcionário e a forma como interagem.

Duffy apud Rodrigues (2013) propõe quatro modelos de resolução espacial que estão ligados à gestão da empresa (figura 2.1). Porém, é importante destacar que esses quatro modelos podem estar presentes em uma mesma empresa (BERLANGA, 2000).

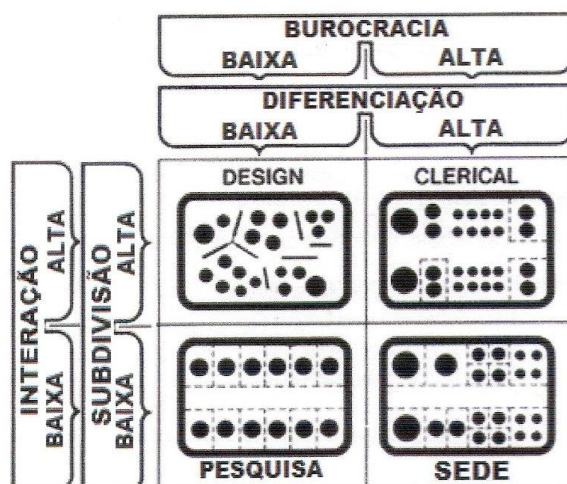


FIGURA 2.1 – Diagrama organizacional das empresas.

Fonte: Duffy apud Rodrigues, 2013.

A resolução espacial do tipo *Design* é adequada para empresas com as seguintes características: nível de burocracia mais baixo com incentivo aos funcionários em tomada de decisões; estrutura hierárquica menos rígida onde, por exemplo, gerentes seniores e funcionários juniores dividem o mesmo ambiente; nível de interação alto entre os funcionários, como trabalho criativo e de equipe. O escritório é composto por espaços de trabalho com mesmas dimensões e com divisórias baixas ou sem este elemento.

O modelo Clerical é compatível com o perfil de empresa que adota o gerenciamento hierárquico rígido, porém o nível de interação é alto. Desta forma, as dimensões dos espaços de trabalho aumentam à medida que o grau hierárquico do funcionário for maior, contudo as divisórias são baixas, exceto em ambientes que exigirem confidencialidade.

O escritório do tipo Pesquisa é recomendável para empresa/instituição onde os funcionários têm o mesmo grau hierárquico, não há exigência de interação e as atividades exigem maior concentração. Os espaços de trabalho são individuais, de mesmas dimensões e separados por divisórias altas ou paredes.

O modelo Sede é apropriado para empresas que possuem sistemas hierárquicos rígidos e baixa interação entre os funcionários. Assim, os espaços de trabalho são, normalmente, individuais com divisórias altas; as áreas deles são maiores para diretores e gerentes e menores para funcionários de menor escalão.

Segundo Diffrient et al. (1981), os postos de trabalho de escritórios são separados por painéis divisores e sua altura define o tipo de ambiente que se quer criar, em função dos tipos de atividades desenvolvidas. Assim as divisórias podem ser classificadas quanto a altura em função do uso, da seguinte forma:

- a) Painéis com alturas entre 100 e 105 cm configuram balcões, para o atendimento das pessoas em pé;
- b) Painéis divisores com alturas entre 110 e 130 cm delimitam a estação de trabalho com contato visual;
- c) Painel com 160 cm de altura cria a divisão de espaços entre as estações de trabalho;
- d) Painéis divisores com alturas entre 180 e 190 cm delimitam a estação, proporcionando proteção acústica para trabalhos que exigem privacidade e maior concentração;
- e) Painéis divisores com alturas superiores a 220 cm proporcionam maior proteção acústica, configurando salas.

Porém, os painéis divisores podem apresentar alturas para determinados usos diferentes da classificação proposta acima.

Os escritórios ainda podem ser classificados em quatro categorias de *layout*: o escritório fechado ou compartimentado, o escritório aberto ou panorâmico, o escritório semiaberto e o escritório aberto/ fechado ou misto.

2.1.1- Escritório fechado

Esse tipo de escritório é caracterizado por estar subdividido em espaços compartimentados por divisórias com altura piso-teto ou paredes.

O escritório fechado permite maior privacidade, no entanto menor interação entre os usuários. Para determinadas atividades que exijam maior nível de concentração e a menor necessidade de interação como de pesquisadores, advogados e programadores, a produtividade será mais elevada nesse tipo de escritório (LOFTNESS apud ANDRADE, 2000). Este tipo de layout também caracteriza ambientes hierarquizados.

Segundo Meel et al. (2012), dentro dessa categoria podemos incluir os seguintes espaços de trabalho: escritório individual, escritório compartilhado, escritório de equipe e cabine individual, (figura 2.2).

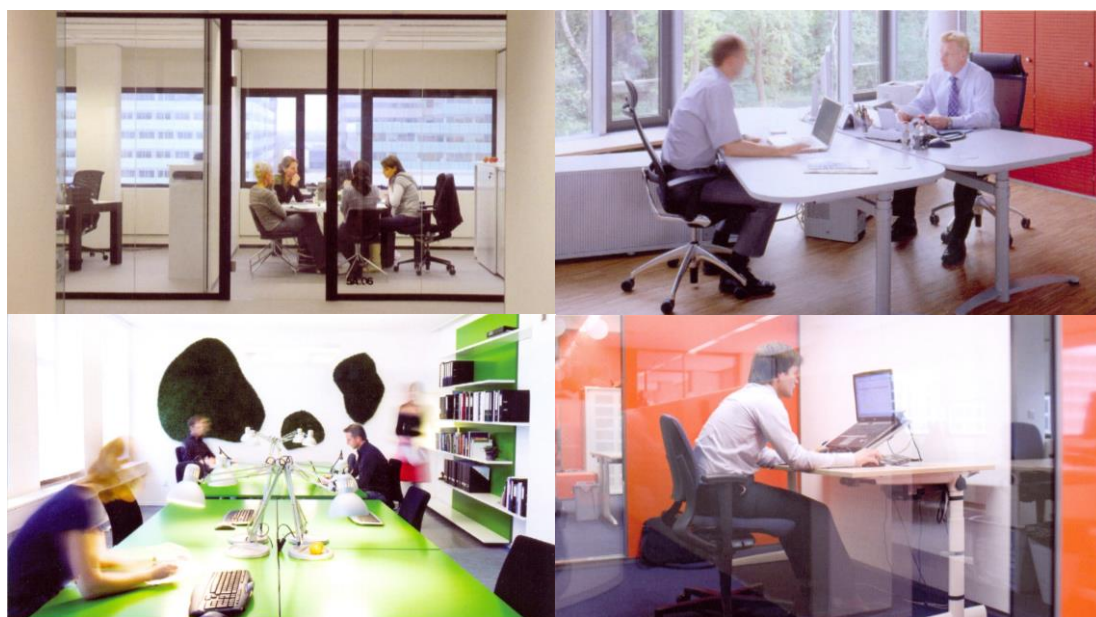


FIGURA 2.2 – Escritórios fechados: individual, compartilhado, de equipe e cabine individual. Fonte: Meel et al. (2012).

- O escritório individual é um espaço de trabalho fechado para uma pessoa, adequado para atividades confidenciais e que exigem concentração ou também que envolvam pequenas reuniões.

- O escritório compartilhado consiste em espaço de trabalho fechado para duas ou três pessoas, que realizam atividades de concentração média e trabalhos colaborativos em pequenos grupos.

- O escritório de equipe refere-se a um espaço fechado para quatro a dez pessoas, ideal para trabalho em equipe que requer confidencialidade e frequente comunicação interna.

- A cabine individual é um espaço de trabalho fechado para uma pessoa, adequado para atividades momentâneas que exigem concentração ou confidencialidade.

Em relação à ventilação natural, este último tipo de escritório poderá apresentar uma insuficiência, quando se trata de assegurar o conforto térmico dos usuários, principalmente quando a abertura está localizada em apenas uma zona de pressão ou em fachada oposta à direção do vento predominante. Essa tipologia também dificulta o uso da ventilação cruzada.

2.1.2- Escritório aberto

O escritório aberto, também conhecido como planta livre ou escritório panorâmico, constitui-se de um espaço de trabalho aberto para mais de dez pessoas. Este é caracterizado pela delimitação das estações de trabalho apenas por elementos baixos como o mobiliário, inclusive entre as estações de usuários que ocupam cargos hierárquicos diferentes, assim promove ambientes de trabalho mais democráticos (figura 2.3).

O *layout* deste tipo de escritório permite uma maior comunicação e interação entre os usuários, porém concorre para uma menor privacidade e dependendo da atividade pode prejudicar a produtividade.

Esses espaços são mais flexíveis, pois permitem reconfigurações do *layout* de forma rápida e de baixo custo, principalmente quando a infraestrutura das instalações também for flexível como em piso elevado e forro modular.

Os escritórios abertos podem permitir maior permeabilidade de ventilação em razão da ausência de divisórias internas, e permite o uso da ventilação cruzada. No entanto, muitos desses ambientes possuem grande profundidade o que pode gerar uma atenuação apreciável na circulação dos fluxos de ar.



FIGURA 2.3 – Escritório aberto.

Fonte: Fonte: Meel et al. (2012).

2.1.3- Escritório semiaberto

Esse tipo de escritório é composto por espaços de trabalho semiabertos, definidos por divisórias médias. A altura desses painéis divisores pode ser escolhida de acordo com exigências de interação ou privacidade. Dentro dessa tipologia estão incluídas a estação linear e estação celular, (figura 2.4).

A estação linear corresponde ao espaço de trabalho semiaberto para duas a oito pessoas, adequado para trabalho em equipe que exige uma comunicação interna frequente e nível médio de concentração.

A estação celular é um espaço de trabalho semiaberto para uma pessoa, apropriado para atividades que requerem níveis médios de concentração e interação.

Em relação ao escoamento do ar, divisórias acima de 110 cm, que corresponde altura da cabeça de uma pessoa sentada, pode servir de barreira ao fluxo de ar.



FIGURA 2.4 – Escritórios semiabertos: estação linear e estação celular.

Fonte: Meel et al. (2012).

2.1.4- Escritório misto

Essa tipologia de escritório é resultado da combinação entre dois ou três dos layouts apresentados anteriormente. A definição do tipo de ambiente será em função do tipo de atividade e da hierarquia dos usuários.

Atualmente, há uma tendência nos edifícios de escritórios em adotar o escritório misto, onde grande parte das estações de trabalho é aberta ou semiaberta, e a maior parte dos executivos da empresa ocupam salas fechadas, por motivos de privacidade. As divisórias do tipo piso-teto podem ser de material translúcido ou semi-transparente, o que permite a integração visual, a distribuição da luz natural e o isolamento de ruídos (figura 2.5). Outros ambientes são fechados como sala de reuniões e área de apoio por motivos acústicos.

Quanto à ventilação natural, a organização dos espaços fechados deve estar disposta de maneira a evitar obstrução ao vento no ambiente aberto. Soluções de ventilação por meio de um plenum podem ser adotadas entre esses ambientes.



FIGURA 2.5 – Escritório misto.

Fonte: Revista Projeto nº248, 2000.

2.2 – O estudo de caso: Edifício Barão de Ladário

2.2.1- Características do edifício e do entorno

Inaugurado em 1973, o Edifício Barão de Ladário (EBL) possui características marcantes do Modernismo como fachada livre e planta livre. A volumetria consiste num volume prismático com recuos nos limites do térreo e da sobreloja, e coroamento na cobertura. O prédio possui vinte e dois andares, sendo o pavimento-tipo em formato retangular, nas dimensões 24,5m x 32,5m, utilizado em vinte desses pavimentos; o pavimento térreo e a sobreloja possuem plantas retangulares nas dimensões 23,5m x 30,5m.

O edifício possui quatro fachadas, sendo três delas dotadas de aberturas e uma empena cega. As fachadas originais do tipo *curtain wall*, por motivo de deslocamento, foram substituídas por fachadas compostas de alvenaria e esquadrias envidraçadas em sistema *Structural Glazing*. Os vidros das fachadas são laminados, de oito milímetros, do tipo “de segurança”, composto por duas placas de cristal plano laminadas com película de Poli Vinil Butiral (PVB). As janelas são do tipo projetante com módulos de 1,27m e 1,51m de altura, dispostas de forma alternada com painéis fixos (figura 2.6).



FIGURA 2.6 – Fotografias das fachadas do EBL.

Fonte: <http://www.insitearquitetos.com.br/pt-BR/projects/retrofit-edificio-barao-de-ladario>

O edifício desde a sua construção é ocupado por organizações militares da Marinha do Brasil, que exercem atividades administrativas.

O edifício está localizado na Rua Primeiro de Março nº118, esquina com a Rua Visconde de Inhaúma, no centro da cidade do Rio de Janeiro. O entorno é composto por edificações tombadas pelo IPHAN de baixos gabaritos, edificações mais recentes de gabaritos mais elevados, praça, área de estacionamento descoberto e a Baía da Guanabara (figura 2.7).

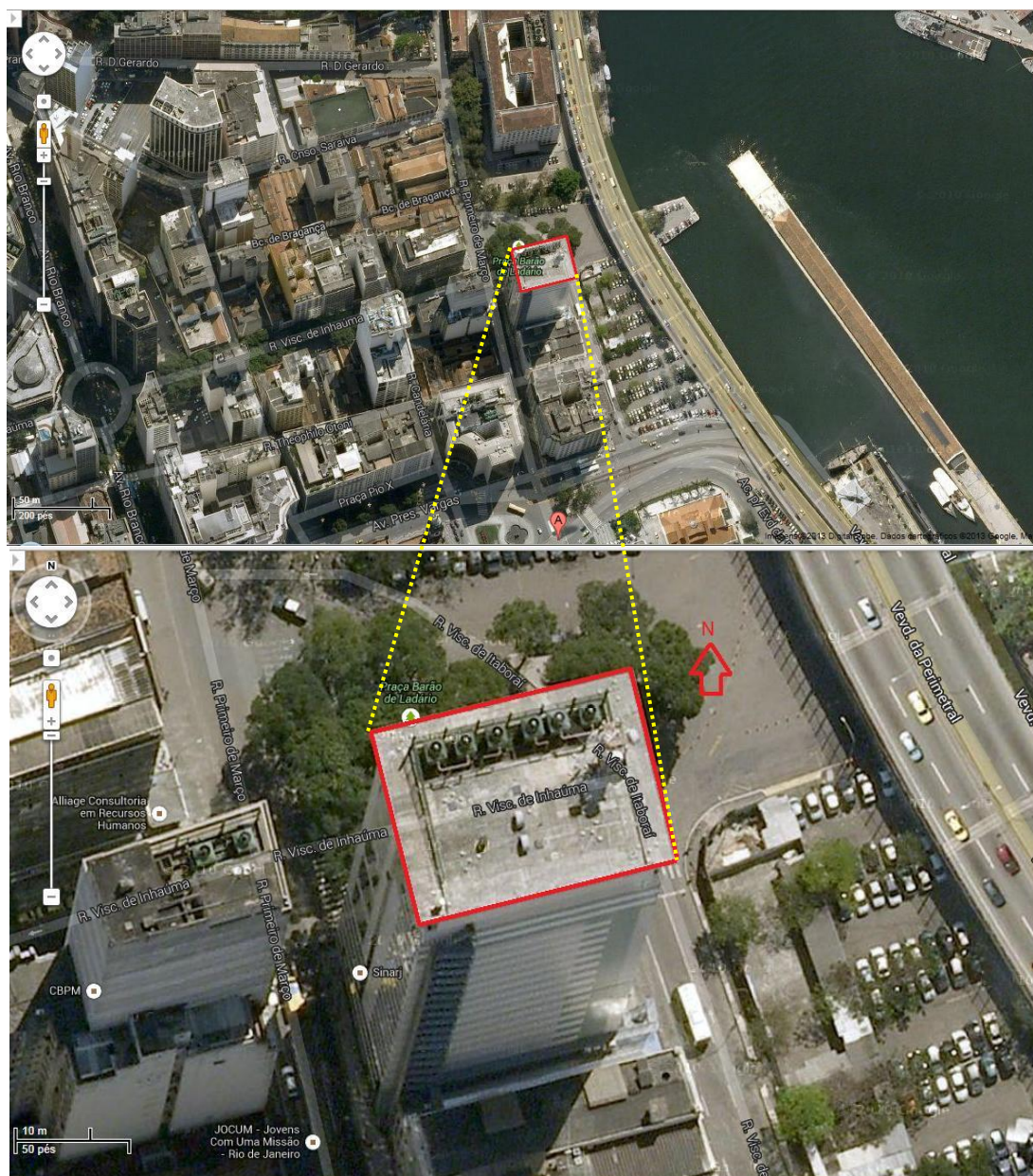


FIGURA 2.7 – Fotografias de satélite do EBL e do entorno.

Fonte: Google, 2013.

Ao longo dos anos, esse andar sofreu significativas reorganizações em seu *layout*, motivadas por necessidades da MB e dessa Diretoria, e facilitadas pela flexibilidade da planta livre.

Em recente reconfiguração dos espaços, foi adotado o *layout* de escritório fechado/aberto, visando maior interação entre os projetistas e por outro lado, maior privacidade para os chefes de departamento e usuários da sala de reuniões. A separação entre os espaços dos projetistas é assegurada por biombos de 1,35m de altura em painéis opacos. Nas salas dos chefes de departamento e de reuniões, as divisórias têm altura piso-teto com painel revestido até meia altura de material opaco e o restante do painel em material translúcido. Para a divisão entre os dois departamentos, foram utilizadas divisórias piso-teto com painel opaco. Os ambientes do ‘core’ e da descompressão são compartimentados por alvenarias de blocos cerâmicos, portanto menos flexíveis para futuras reconfigurações.

Para permitir maior flexibilidade de layout, o piso é do tipo elevado e o forro modular em placas removíveis com a mesma modulação das luminárias.

Para o conforto térmico dos usuários, é utilizado ar condicionado ao longo do ano, mesmo em dias em que a temperatura externa está dentro da zona de conforto. O sistema de ar condicionado é do tipo central de expansão direta com condensação a água. O sistema de exaustão do ar ocorre pelo plenum. Em virtude de haver uma laje rebaixada na periferia dos pavimentos, junto às fachadas envidraçadas, não há tomadas de insuflamento sobre as estações de trabalho aí situadas (figura 2.9). Segundo relatos de engenheiros mecânicos dessa organização militar, o sistema instalado é antigo e apresenta baixa eficiência energética.

Nas esquadrias das fachadas, foram instaladas persianas com lâminas verticais de *pvc* como elementos de proteção a radiação solar.

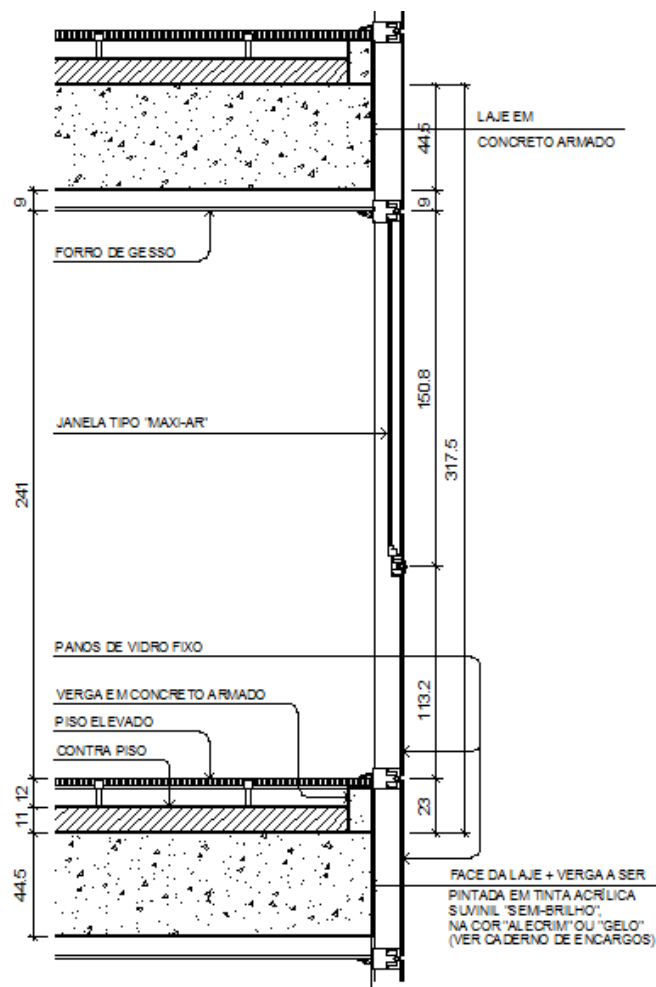


FIGURA 2.9 – Corte do 16º andar do EBL.

Fonte: Acervo do autor, 2013.

O horário de funcionamento do expediente é das 07:45 às 16:30 horas, no entanto é comum usuários manterem suas atividades além desse horário. O horário de ocupação também varia entre os departamentos, enquanto no Departamento de Projeto são realizadas as atividades dos usuários nas estações individuais de trabalho; no Departamento de Obras os usuários realizam a maior parte das atividades externamente, como fiscalização de obras. Dessa forma o tempo de permanência destes últimos usuários no ambiente do escritório é menor.

A densidade de ocupação nos departamentos é de aproximadamente 1 pessoa/5,7m², a qual está abaixo do limite máximo previsto na norma DGMM-0600 (2002), que é de 1 pessoa/3,5m², porém acima do limite máximo de 1 pessoa/7m², previsto na norma NBR 9077 (2001).

2.2.3- Dados climáticos e Índice de Qualidade do Ar

Segundo IBGE (2001), o clima da cidade do Rio de Janeiro é classificado como quente superúmido com sub-seca. A umidade relativa é alta e praticamente constante ao longo do ano. A amplitude térmica é baixa.

O Índice de Qualidade do Ar (IQA) no Centro da cidade do Rio de Janeiro foi classificado como bom, conforme medições da concentração de poluentes realizados na Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar do Centro, referentes aos anos de 2011 e 2012. Estas informações foram obtidas no site <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/3252594/4114836/RelatorioMonitorar20112012.pdf>.

As variáveis climáticas que mais interferem no conforto térmico dos usuários na edificação são a radiação solar, a temperatura, o vento e a umidade. Essas variáveis são influenciadas pela proximidade de grandes massas de água, altitude e longitude, barreiras montanhosas e correntes oceânicas (LAMBERTS et al, 1997).

Nas escalas do mesoclima⁶ e microclima⁷, as condições locais de clima são influenciadas pela a vegetação, a topografia, o tipo de solo e as barreiras naturais ou artificiais.

A radiação solar incidente na edificação conjugada com a oscilação da temperatura ambiente exterior representam alguns dos mais importantes contribuintes para o ganho térmico na escala do prédio. As características das superfícies do entorno e do solo também irão influenciar no balanço térmico e solar da edificação.

Para a definição das estratégias bioclimáticas a serem utilizadas quando da concepção de um projeto arquitetônico numa determinada localidade, é necessário se estabelecer uma análise a partir dos dados climáticos disponíveis. As normais climatológicas publicadas pelo INMET são os dados climáticos mais difundidos no Brasil. Porém, segundo Lamberts et al (1997), o Ano Climático de Referência (TRY) é a base de dados mais precisa para uma análise completa da edificação ao clima local. A carta bioclimática para a cidade do Rio de Janeiro com a base de dados TRY indica estratégias possíveis de utilização para propiciar condições ambientais de conforto térmico (figura 2.10).

⁶ Mesoclima: Escala climática que abrange uma área dentro de um raio de influência de 10Km a 200Km (OKE apud STRAMANDINOLI, 2008).

⁷ Microclima: Escala climática que abrange uma área dentro de um raio de influência de 0,01m a 1km (OKE apud STRAMANDINOLI, 2008).

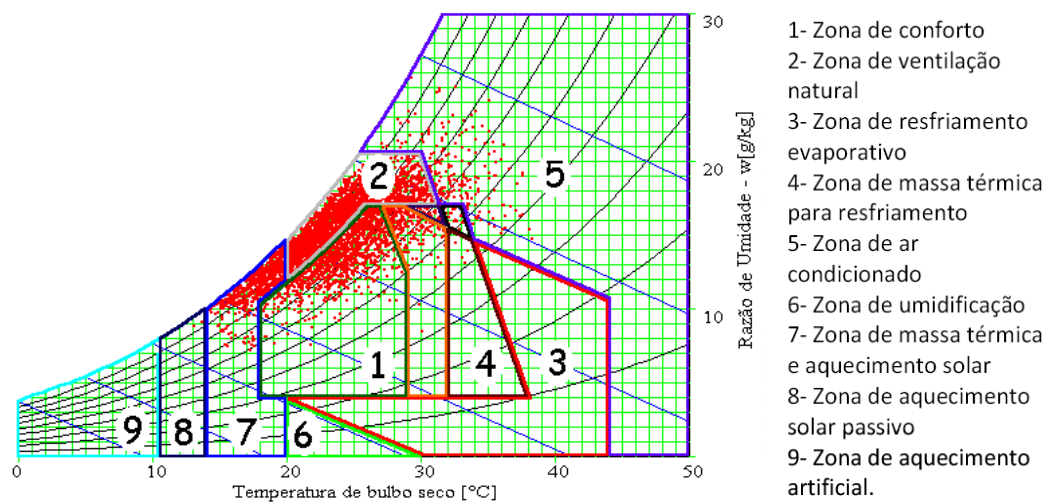


FIGURA 2.10 – Carta Bioclimática com TRY do Rio de Janeiro.

Fonte: Goulart et al, 1998.

Conforme a carta bioclimática, 20,3% das horas do ano a cidade do Rio de Janeiro está dentro da zona de conforto e 79,6% na zona de desconforto. Para melhorar a sensação térmica é recomendável utilizar a ventilação natural em 61% das horas do ano; enquanto no desconforto causado pelo frio, recomenda-se a utilização de massa térmica para aquecimento, junto ao aquecimento solar em 14,8% das horas do ano. Apesar de ser usado em larga escala, o ar condicionado seria necessário em apenas 3% das horas do ano.

Em ambientes urbanos, como o Centro da Cidade do Rio de Janeiro, que apresentam alta densidade populacional, verticalização dos edifícios, pequena quantidade de vegetação, solos revestidos com asfalto e concreto, entre outros, os dados climáticos são diferentes da base de dados do TRY. Nesses locais, provavelmente haverá maior necessidade de ventilação do que a indicada na carta bioclimática.

Cabe destacar, que os dados climáticos do TRY para a cidade do Rio de Janeiro foram baseados em registros no período de 1960-1970 da Estação Meteorológica de Altitude do Aeroporto do Galeão – OMM 83746, (GOULART, 1998). Em virtude dessas informações não serem recentes, buscou-se outras fontes de consulta como os dados do INMET e do INPE.

O INMET por meio do seu banco de dados históricos acessado no site www.inmet.gov.br fornece dados coletados na Estação do Rio de Janeiro (83743) com registros desde 1961, porém as informações relativas ao regime de ventos estão disponibilizadas em apenas três horas do dia.

Os dados climatológicos consultados do INPE são coletados na Estação Meteorológica de Superfície do Aeroporto Santos Dumont (83755) que se encontra distante aproximadamente 1,5 km do EBL (figura 2.11). As informações foram obtidas no site <http://bancodedados.cptec.inpe.br>, em planilhas eletrônicas com dados históricos desde julho de 1999 até o dia anterior à consulta. As planilhas informam dados em intervalos de 1 hora e direções dos ventos com intervalos de 10°. Assim, por fornecer dados meteorológicos mais precisos e medidos em estação próxima ao local de análise, o banco de dados do INPE foi escolhido como fonte dos dados de vento locais para essa pesquisa.

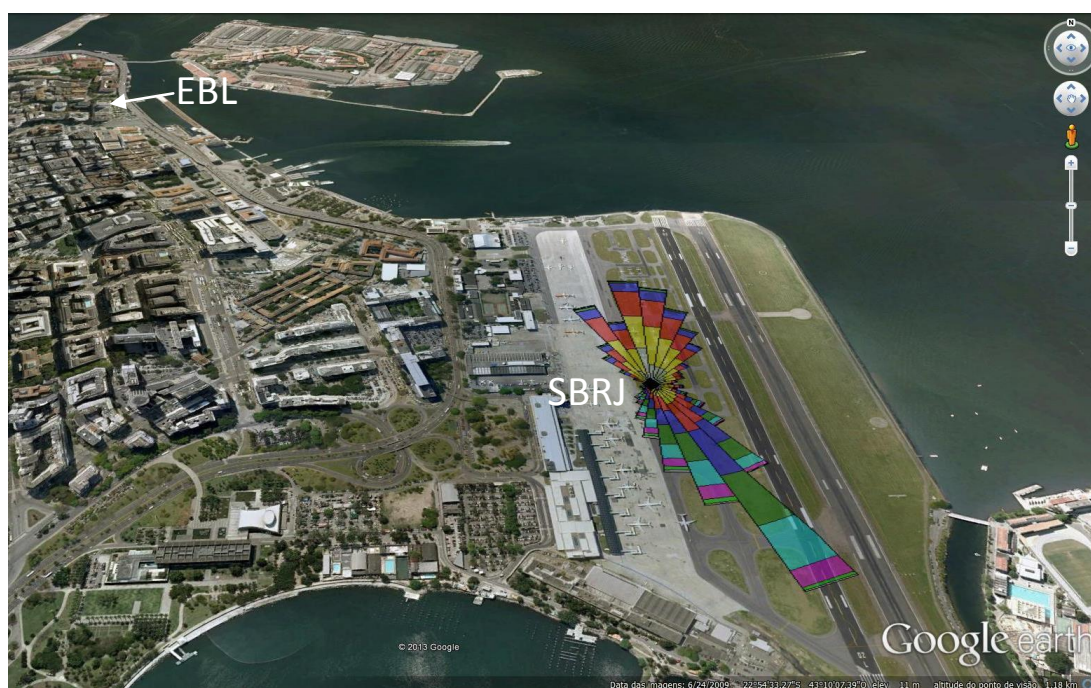


FIGURA 2.11 – Localização do EBL em relação à SBRJ.

Fonte: Google Earth, 2014.

Após análise das informações, optou-se por selecionar os dados para um período de 10 anos, compreendido entre os dias 01/01/2003 à 31/12/2012, das 7 às

18 horas, para melhor caracterizar o regime de ventos local durante o período de ocupação do edifício.

As planilhas foram exportadas para o programa *WRPLOT View Freeware* 7.0.0 para construção das rosas dos ventos, dos gráficos e das tabelas contendo as velocidades, frequências e direções dos ventos. O programa permite a distribuição das direções dos ventos de 4 até 36 faixas, e para as velocidades em até 9 intervalos. Optou-se pelo uso do número máximo de faixas de direções, com o objetivo de analisar com maior precisão a influência das variações a partir de 10° no ângulo de incidência do vento em relação ao escoamento do ar no interior do escritório. Quanto às velocidades dos ventos, a ideia inicial era dividi-las em faixas a cada 0,5 m/s, no entanto como programa tem limitação de até 9 intervalos, conseqüentemente todas velocidades maiores que 4,5m/s seriam agrupadas em um mesmo intervalo, assim adotou-se a divisão em faixas a cada 1m/s, sendo que velocidades entre 0 à 1m/s estão incluídas na zona de calmaria.

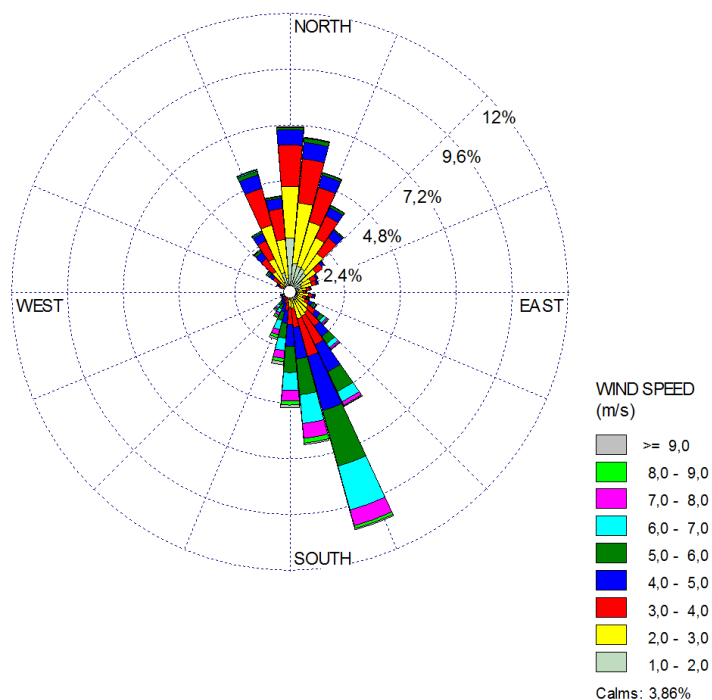


FIGURA 2.12 – Rosa dos ventos para o período de 7 às 18 horas.

Fonte: *WRPLOT View Freeware* 7.0.0, 2014.

A rosa dos ventos (figura 2.12) aponta o vento com ângulo de incidência na faixa de 155-165° (em relação ao Norte), como sendo o vento predominante, com frequência de 10,61% das horas, no período de 7 a 18 horas. Porém, analisando a rosa dos ventos para cada hora compreendida nesse período (Anexo 1), observa-se que essa direção predomina somente no período das 14 às 18 horas, com frequência de 20,15% destas horas (figura 2.15). No período das 7 às 11 horas, o vento predominante é o da direção Norte (355-5°), com ocorrência em 10,86 % desse intervalo (figura 2.13); enquanto as 12 e 13 horas, o vento com ângulo de incidência de 5-15° é o mais frequente, representando 11,15% (figura 2.14). Este comportamento horário dos ventos predomina ao longo do ano, exceto nos meses de maio, junho e julho que ocorre um equilíbrio entre os ventos NNE e os SSE.

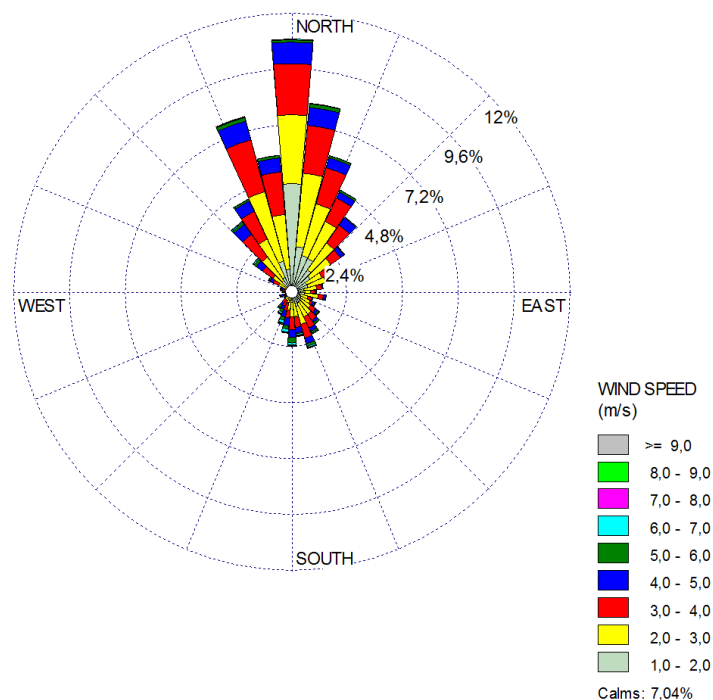


FIGURA 2.13 – Rosa dos ventos para o período de 7 às 11 horas.

Fonte: *WRPLOT View Freeware 7.0.0, 2014.*

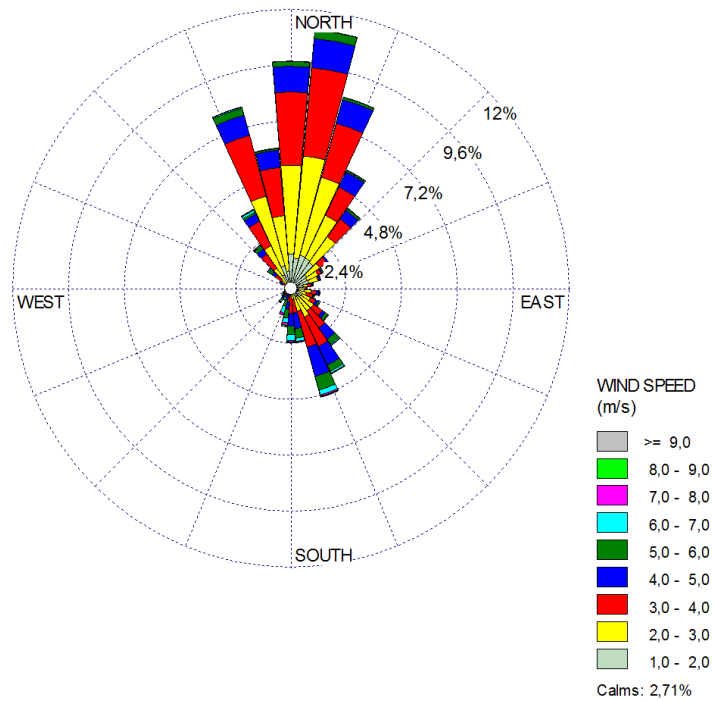


FIGURA 2.14 – Rosa dos ventos para o período de 12 às 13 horas.

Fonte: WRPLOT View Freeware 7.0.0, 2014.

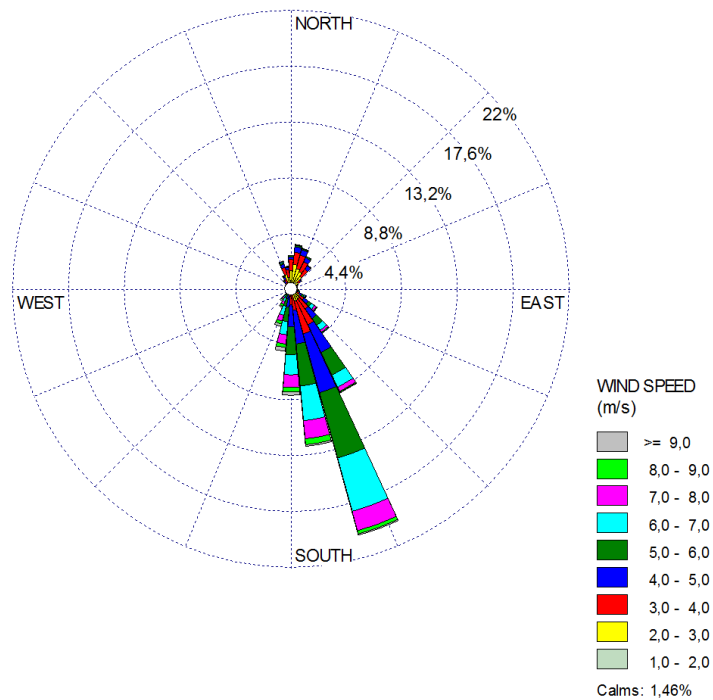


FIGURA 2.15 – Rosa dos ventos para o período de 14 às 18 horas.

Fonte: WRPLOT View Freeware 7.0.0, 2014.

Conclui-se que é questionável a prática comum entre os projetistas em adotar apenas a direção do vento predominante que é baseada em frequência média anual para períodos de 24 horas, visto que no sítio analisado ocorrem significativas variações na direção do vento ao longo do dia, situação muito comum em localidades litorâneas. Portanto, nesse tipo de uso do ambiente, o projetista deve buscar soluções que permitam a captação do vento em todos horários de ocupação do espaço, sempre que as condições climáticas forem favoráveis. Destarte, nessa pesquisa será analisado o comportamento do fluxo de ar para as três direções identificadas como predominantes.

Com o auxílio do programa WRPLOT, calculou-se a velocidade média de 3,29 m/s, considerando dados de velocidade em todas as direções e também as velocidades foram especificadas em intervalos representadas por gráfico das frequências de velocidade (figura 2.16). Estas informações podem ser úteis para analisar o potencial do uso da ventilação natural para o local, no entanto, quando se estuda a velocidade do vento para uma direção específica, torna-se necessário fazer o cálculo da velocidade média para essa direção. Assim, por meio de uma planilha do programa Excel, obteve-se as seguintes velocidades médias dos ventos para as três direções analisadas: 2,12 m/s para direção Norte (355-5°); 2,78 m/s para direção 5-15°; 5,03 m/s para direção 155-165°.

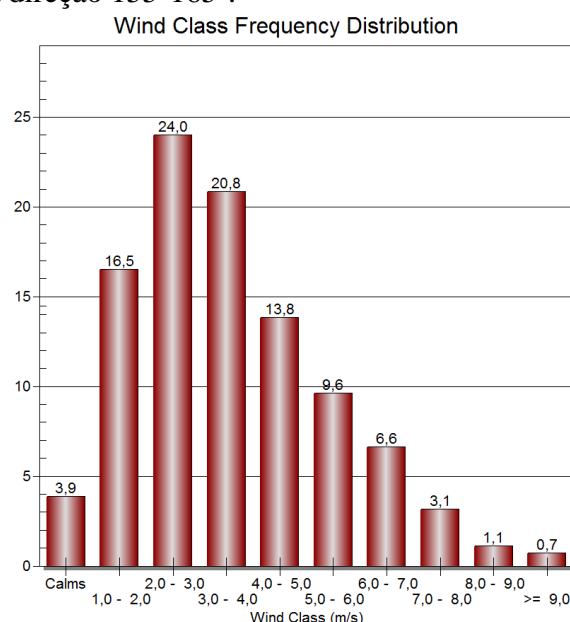


FIGURA 2.16 – Gráfico das frequências de velocidades do vento das 7 às 18 horas.

Fonte: *WRPLOT View Freeware 7.0.0*, 2014.

As normais climatológicas, relativas a parâmetros de temperaturas de bulbo seco e umidade relativa do ar, foram obtidas através de dados coletados na Estação do Rio de Janeiro (83743), disponibilizados em planilhas e gráficos no site do INMET.

A temperatura média anual compensada é de 23,8 °C, enquanto as temperaturas médias anuais extremas são de 27,3°C e 21°C.

O mês de fevereiro é considerado o mais quente, com temperatura média compensada de 26,6°C, temperatura média máxima de 30,2°C e temperatura média mínima de 23,5°C. Por outro lado, o mês de julho é apontado como o mais frio, com temperatura média de 21,3°C, temperatura média máxima de 25°C e temperatura média mínima de 18,4°C (figuras 2.17 e 2.18).

As médias mensais da umidade relativa do ar são consideradas elevadas, com valores entre 77 e 80% (figura 2.19).

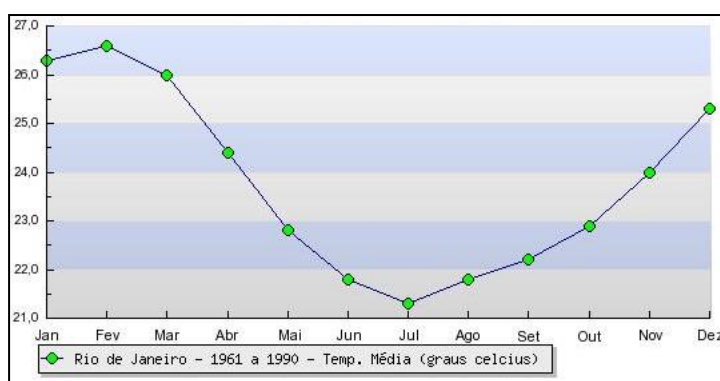


FIGURA 2.17 – Gráfico das temperaturas médias mensais na cidade do Rio de Janeiro.

Fonte: INMET, 2014.

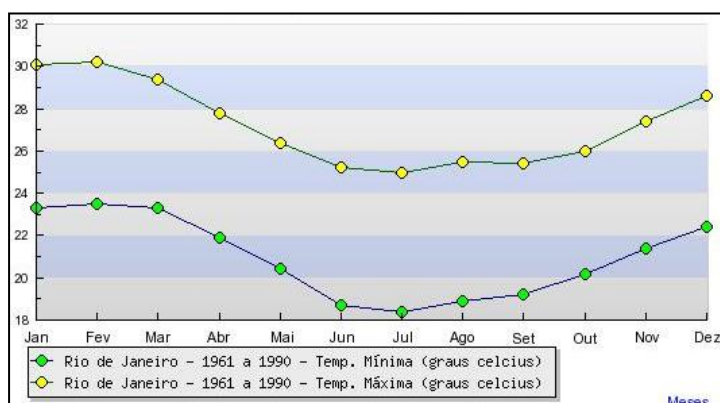


FIGURA 2.18 – Gráfico das temperaturas médias máxima e mínima na cidade do Rio de Janeiro.

Fonte: INMET, 2014.

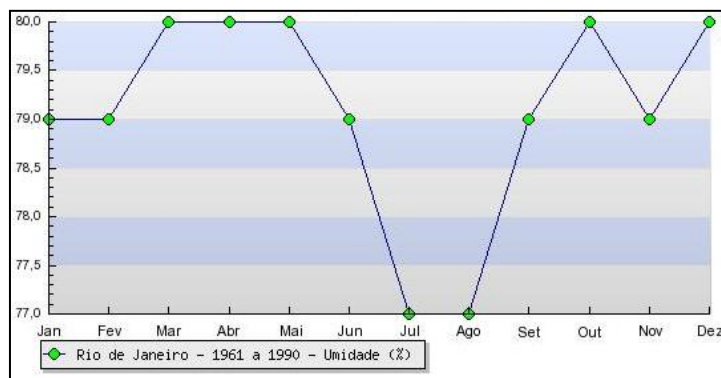


FIGURA 2.19 – Gráfico das umidades relativas do ar médias na cidade do Rio de Janeiro.

Fonte: INMET, 2014.

Na capital fluminense, o desconforto higrotérmico está relacionado às condições elevadas de temperatura e umidade, sendo que a ventilação pode melhorar a sensação térmica, desde que, a velocidade do ar esteja adequada a estas condições climáticas e dos usuários. Por meio do programa PMV/PPD, é possível de serem determinados os índices PMVc e o PPDc, e as escalas de sensações térmicas para os horários entre 7 e 18h, nos meses mais quentes, em função dos parâmetros físicos do ambiente (temperaturas, velocidade e umidade do ar) e dos parâmetros pessoais (atividade, vestimentas). Variando-se valores de velocidade do ar e mantendo fixos os demais parâmetros, é possível se identificar a faixa de velocidades adequada para o ambiente analisado para obtenção das condições de conforto.

A velocidade máxima do ar adequada para ambientes de escritórios é motivo de controvérsia, os valores variam entre 0,5 e 2,5 m/s, segundo algumas fontes bibliográficas (COOK, 1989; KOENIGSBERGER, 1977; AYNSLEY, 1999). Esse limite não está relacionado ao conforto térmico, mas aos incômodos causados por voo de papéis, suspensão de poeira e desarranjo de cabelos. Segundo Evans apud Hertz (1989), a velocidade do ar de 2,0 m/s é aceitável em condições de alta temperatura e umidade, portanto, adotou-se esse valor como limite máximo para o escritório analisado.

Geralmente, as temperaturas mais elevadas ocorrem ao longo do período diurno, quando o espaço do escritório é utilizado, portanto, será considerada nos cálculos a temperatura média máxima para cada mês, de acordo com os valores apresentados na figura 2.18. Estas temperaturas serão combinadas com os valores de umidade relativa do ar da figura 2.19, conforme o mês de medição. Para as demais variáveis inseridas no programa, foram adotados os seguintes valores:

- Clothing: 0,6 clo (uniforme padrão da MB);
- Taxa Metabólica: 1,2 met (atividade sedentária);
- Taxa de atividade: 0;
- Temperatura radiante: mesmo valor que a TBS (hipótese de isoterminia no ambiente);
- Fator de correção⁸: 60%.

Os resultados dos índices PMVc e PPDc para os seis meses mais quentes do ano, na ausência de circulação do ar, indicaram as escalas de sensações térmicas entre levemente quente e neutra, conforme o mês e o horário avaliado, bem como, velocidades abaixo de 0,6 m/s não influenciaram o resultado desses índices (tabela 2.1). Portanto, nessas condições climáticas e nas condições de vestimenta e de atividade, o vento poderá trazer benefícios para o conforto higrotérmico na faixa de velocidade entre 0,6 e 2,0 m/s.

Tabela 2.1 – Escalas de sensações térmicas em função da velocidade do ar.

NOVEMBRO																			
Hora	Tmed	UR	Velocidade do ar (m/s)																
			0-0,5	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	
7	21,8	92,0	N	N	N	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	F	F	F	F	F
8	22,8	86,2	N	N	N	N	N	N	N	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF
9	24,0	80,1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	LF	LF	LF
10	24,9	75,3	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF
11	25,7	71,6	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	LF	LF	LF	LF
12	26,5	68,6	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
13	26,7	67,7	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
14	27,3	65,7	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
15	27,4	65,3	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
16	27,2	66,1	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
17	26,9	67,0	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
18	26,5	68,6	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
DEZEMBRO																			
Hora	Tmed	UR	Velocidade do ar (m/s)																
			0-0,5	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	
7	22,8	93,6	N	N	N	N	N	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF
8	23,9	87,5	N	N	N	N	N	N	N	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF
9	25,1	80,6	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF
10	26,1	76,3	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	LF	LF
11	26,9	73,0	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
12	27,7	69,8	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
13	27,9	68,8	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
14	28,5	66,7	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
15	28,6	67,2	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
16	28,4	67,2	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
17	28,1	68,1	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
18	27,7	69,8	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

⁸ Fator de correção sugerido por Zambrano, Stramandinoli e Bastos (2006).

JANEIRO																			
Hora	Tmed	UR	Velocidade do ar (m/s)																
			0-0,5	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	
7	23,7	92,3	N	N	N	N	N	N	N	N	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF
8	24,8	86,3	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF
9	25,9	80,2	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	LF	LF
10	26,9	76,0	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
11	27,7	72,7	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
12	28,5	69,6	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
13	28,7	68,7	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
14	29,3	66,6	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N
15	29,4	66,2	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N
16	29,2	67,1	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N
17	28,9	68,0	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N
18	28,5	69,6	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
FEVEREIRO																			
Hora	Tmed	UR	Velocidade do ar (m/s)																
			0-0,5	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	
7	24,0	92,4	N	N	N	N	N	N	N	N	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF
8	25,1	85,3	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	LF	LF	LF	LF	LF
9	26,4	79,5	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
10	27,5	74,9	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
11	28,3	71,4	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
12	29,2	68,1	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N
13	29,5	67,1	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N
14	30,1	64,9	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ
15	30,2	64,4	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ
16	29,9	65,3	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ
17	29,7	66,3	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ
18	29,2	68,1	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N
MARÇO																			
Hora	Tmed	UR	Velocidade do ar (m/s)																
			0-0,5	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	
7	23,7	92,4	N	N	N	N	N	N	N	N	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF
8	24,8	86,5	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
9	25,9	80,3	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	LF	LF
10	26,9	76,1	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
11	27,7	72,9	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
12	28,5	69,7	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
13	28,7	68,8	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
14	29,3	66,7	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N
15	29,4	66,3	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N
16	29,2	67,2	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N
17	28,9	68,1	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N
18	28,5	69,7	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
ABRIL																			
Hora	Tmed	UR	Velocidade do ar (m/s)																
			0-0,5	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	
7	22,3	92,0	N	N	N	N	N	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	F	F
8	23,3	86,3	N	N	N	N	N	N	N	N	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF
9	24,4	80,3	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
10	25,4	75,3	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	LF	LF	LF	LF	LF
11	26,1	72,2	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
12	26,9	69,2	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
13	27,2	68,3	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
14	27,7	66,3	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
15	27,8	65,9	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
16	27,6	66,8	LQ	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
17	27,3	67,6	LQ	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
18	26,9	69,2	LQ	LQ	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

Levemente quente
 Neutro
 Levemente frio
 Frio

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

O estudo de ventilação natural no escritório do edifício para as condições atuais e para as decorrentes proposições de alteração de suas características foi realizado seguindo os seguintes passos: modelagem do problema, simulação e análise.

O problema de ventilação no escritório está relacionado com: a geometria e implantação do prédio; o entorno próximo; o andar selecionado e as suas características internas (*layout*) e de fachadas; e o regime dos ventos no local.

Portanto, há o envolvimento de duas situações de escoamento das correntes de ar: uma circulação externa incidente no prédio, e outra no interior do ambiente do escritório. Assim, há a necessidade de se tratar na modelagem virtual, o edifício e o andar em questão com suas características, e a rugosidade do entorno ambiental.

A identificação e análise das trajetórias e velocidades dos ventos no entorno da edificação e das correntes de ar geradas no ambiente interno, são conseguidas através de simulação computacional com programa CFD. Para tanto, foi utilizado o programa CFX 14.5 da ANSYS em sua versão acadêmica.

As condições internas de qualidade do ar e de possibilidades de conforto higrotérmico são também examinados, com auxílio dos programas AEOLUZ MZ (CASTRO, 2005) e PMVc/PPDc (STRAMANDIOLY, 2008).

3.1– Simulação computacional com o programa CFD

A Dinâmica Computacional de Fluidos (*Computational Fluid Dynamics-CFD*) consiste de uma ferramenta computacional que serve à predição dos fenômenos relacionados com o escoamento de um fluido, na presença ou não de transferência de calor, massa e reações químicas. Sua aplicação permite a resolução das equações de conservação (estado, massa, quantidade de movimento, e energia) que governam esses processos através de um procedimento numérico.

O uso de programas de CFD se justifica principalmente, quando o ensaio experimental tem elevado custo e é necessário reduzir o espaço de amostras a serem analisadas.

O CFX é um programa CFD baseado no método de volumes finitos, onde o domínio é discretizado em um conjunto de volumes de controle. O programa utiliza

as seguintes equações para determinar as condições de escoamento para um dado problema: estado do fluido, conservação de massa, conservação de momentum, conservação de energia, tensor de turbulência, etc. Entre outras possibilidades, esse software permite análises qualitativas e quantitativas do comportamento do fluxo de ar em diversas escalas e condições de contorno.

A escolha do CFX foi motivada pela disponibilidade de uma licença acadêmica⁹ no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro – PROARQ/FAU-UFRJ, e também pelo domínio dessa ferramenta obtido no curso Introdução à Simulação Fluidodinâmica – Teoria de CFD e Aplicações com ANSYS CFX, promovido pela ESSS.

O processo de simulação foi elaborado segundo as seguintes etapas (figura 3.1):

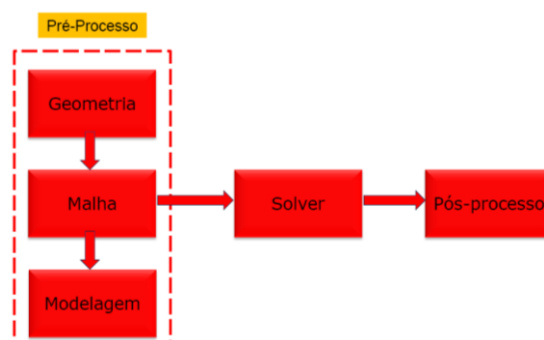


FIGURA 3.1 – Etapas de simulação com o CFX.

Fonte: ESSS, 2013.

3.1.1 - Preparação das geometrias: edifícios e domínio

Na fase inicial, foram modeladas as geometrias do Edifício Barão de Ladário (EBL) com o escritório localizado no 16º andar e do entorno com o uso do programa AutoCAD 2004 da Autodesk, para serem exportadas para a plataforma *Workbench*. A construção da geometria do entorno foi baseada na planta aerofotogramétrica do centro da cidade do Rio de Janeiro fornecido em meio digital pelo Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos (IPP).

⁹ Programa computacional adquirido através do Projeto CAPES-COFECUB 693/10 – Ambientes Construídos e Desenvolvimento Sustentável.

O nível de detalhes da geometria de uma construção depende da distância dela em relação à área de interesse. Normalmente, a maioria dos edifícios do entorno podem ser representados como blocos simples e a área de interesse deve ser reproduzida com mais detalhes possíveis, porém quanto mais detalhes existirem maior será a necessidade em aumentar o número de células da malha de volumes finitos (COST, 2007). Com o objetivo de reduzir o tempo de processamento da simulação e a capacidade do computador para cálculos, são adotadas simplificações na geometria (PRATA, 2005). Assim, não serão representadas calçadas, fenestrações nas fachadas, distância entre prédios e comprimento de arestas menores que cinco metros, e outros pequenos elementos que não produzam alterações significativas no resultado (figura 3.2). Apenas a geometria do escritório analisado será modelada de forma mais detalhada, com representação das divisórias internas, das estações de trabalho, das aberturas e das paredes que possuam comprimento mínimo de aresta de dez centímetros (figura 3.3). Também não será representado o viaduto da perimetral, em virtude de estar previsto no escopo de serviço das obras de revitalização da zona portuária a sua remoção. A geometria será composta basicamente por volumes primários.

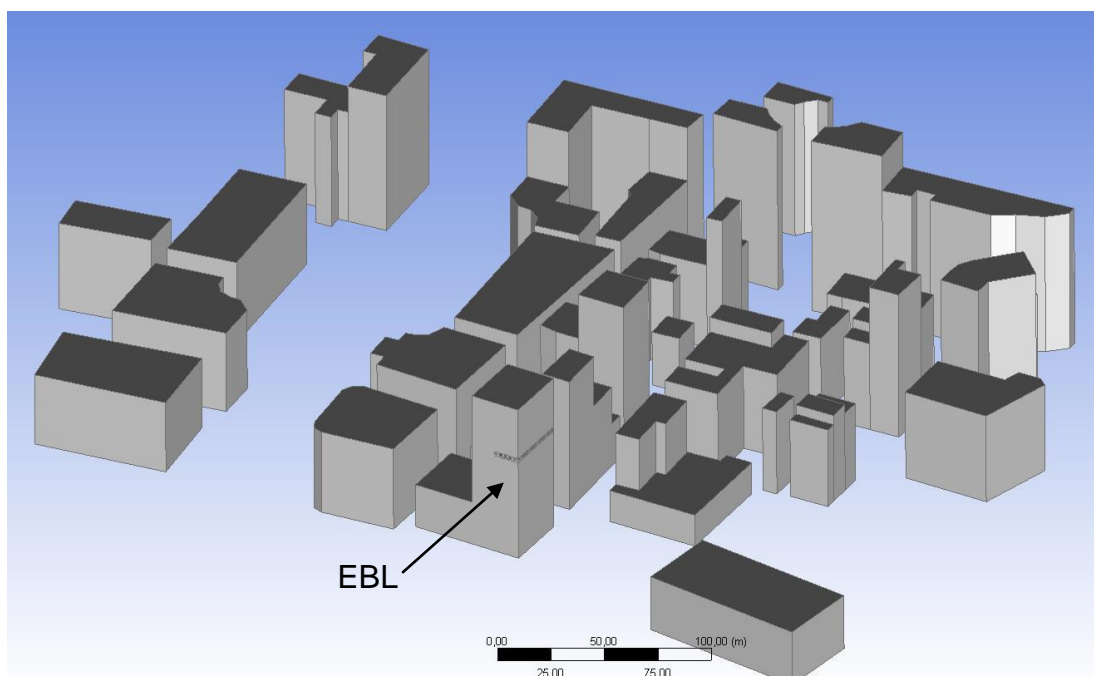


FIGURA 3.2 – Geometria dos edifícios.

Fonte: ANSYS *Design Modeler*, 2013.

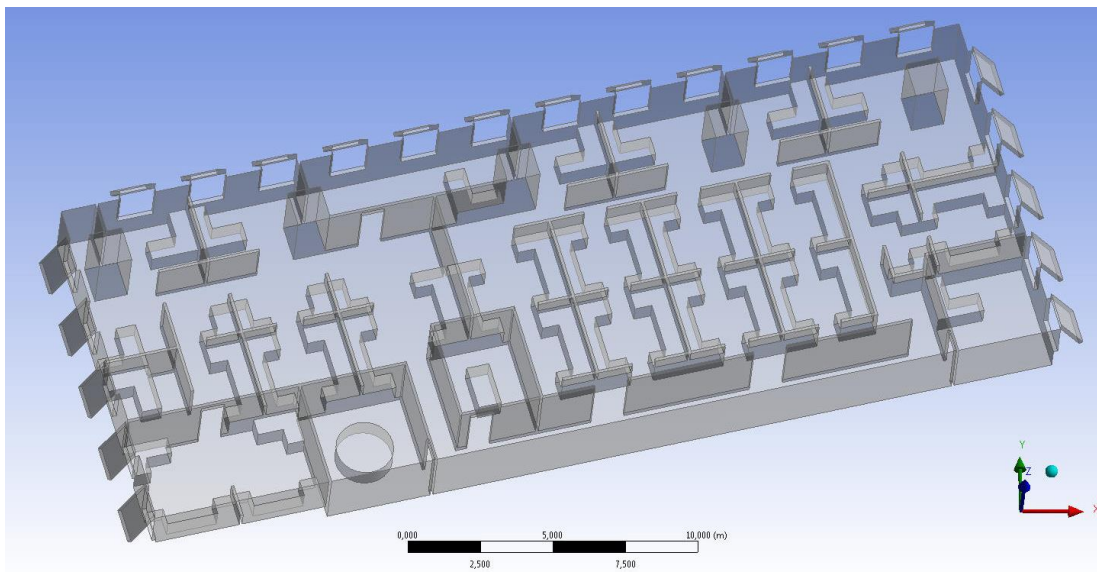


FIGURA 3.3 – Geometria do escritório localizado no 16º andar do EBL.

Fonte: ANSYS *Design Modeler*, 2013.

Em muitas situações, a geometria modelada pode influenciar numa geração de malhas de baixa qualidade. Por exemplo, caso os elementos gerados para representar a geometria possuam *skewness* muito elevado, ou seja, um ângulo pequeno entre as arestas elementares, também conhecidos como ‘elementos-agulha’, não concorrerão para um bom condicionamento na matriz de rigidez (SOUZA, 2010). Esse problema é de difícil visualização no AutoCAD, principalmente em geometrias mais detalhadas, assim após a modelagem nesse programa, a geometria será analisada no *Design Modeler* que é o módulo da Ansys para modelar geometrias, e que possui ferramentas capazes de identificar e corrigir imperfeições geométricas, como as indesejáveis linhas de construção, furos, defeitos e entalhes.

Cabe esclarecer que a decisão de simplificar ou não a geometria deve estar pautada na sensibilidade, no bom senso do projetista e na estratégia de solução do problema, e não há uma regra a ser seguida (SOUZA, 2010).

A extensão da área do entorno a ser modelada depende das características da região de interesse. Baseado em simulações em túnel de vento, COST (2004) indica um raio médio de 300m como extensão da área de entorno e dentro dessa área seria modelada todas as obstruções que tiverem distância até 6-10 vezes a altura da obstrução. Dessa forma, a figura 3.4 ilustra o limite do entorno a ser analisado, onde

serão modeladas as obstruções que estiverem a uma distância máxima, em relação ao Edifício Barão de Ladário (EBL), correspondente a seis vezes a altura dessas obstruções.

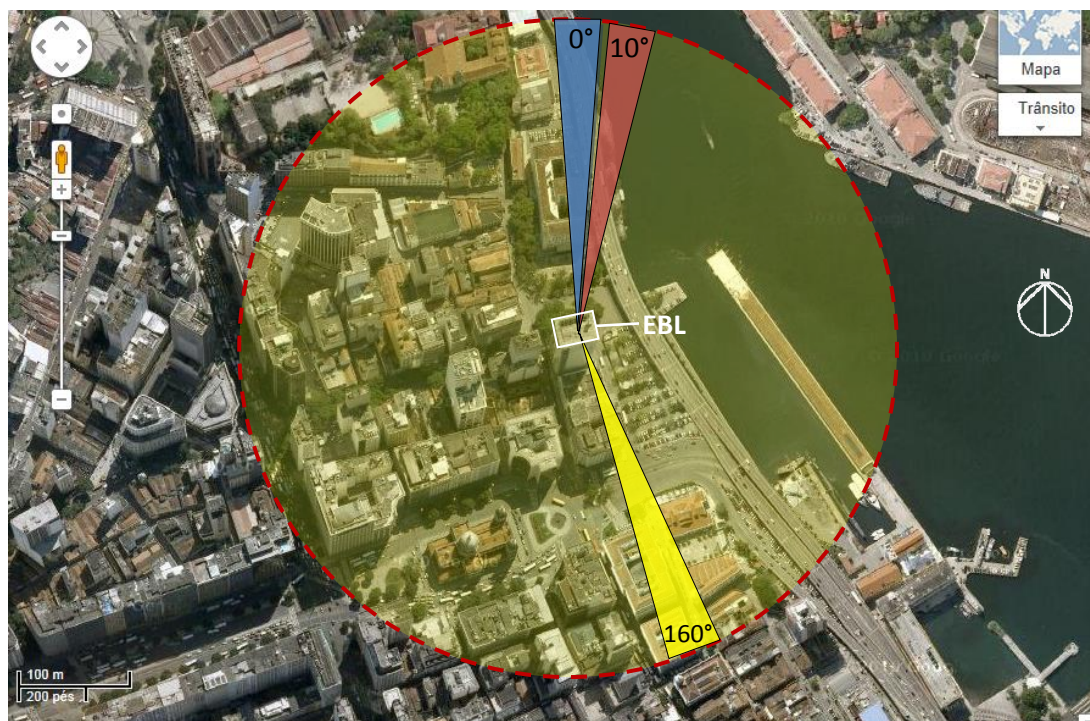


FIGURA 3.4 – Entorno a ser modelado do EBL num raio de 300m e direção dos ventos predominantes. Fonte: Google, 2013.

O domínio é o volume do espaço onde escoará o ar. Também é o campo onde são definidos os limites de observação do fenômeno.

Em simulações do escoamento dos ventos ao redor de edificações, geralmente, o domínio é representado por um paralelepípedo reto, que é indicado para estudos com vento unidirecional; por cilindro ou por prisma com base octogonal, indicados para estudos com vento em várias direções. Esses três tipos de domínios também podem ser utilizados para simulações do escoamento do ar no espaço externo e interno, simultaneamente. Enquanto, em simulações do escoamento de ar interno, o domínio pode ser o próprio “vazio” do espaço interno, assim a sua forma acompanha a geometria do ambiente.

Conforme mencionado no item 2.2.3, a proposta dessa pesquisa é analisar o escoamento externo e interno do ar, para três direções de vento, portanto, optou-se em adotar o domínio em forma cilíndrica. Este domínio permite o uso do mesmo

modelo e malha para simulações em qualquer direção do vento. Entretanto, o domínio cilíndrico possui dimensões maiores que o domínio em forma de paralelepípedo, o que incorre na geração de malhas com maior número de elementos e na demanda por maior capacidade computacional.

O domínio deve ser dimensionado de modo que a presença dos seus limites não influenciem os resultados da simulação. Para evitar o efeito da proximidade das paredes no escoamento, COST (2004) recomenda que as distâncias entre as extremidades da geometria e a entrada, as laterais e ao topo do domínio devem ser de cinco vezes a altura do prédio mais alto (H); enquanto a distância à saída do domínio deve ser de quinze vezes essa altura. Também recomenda que o volume total das obstruções deva ser menor que 3% do volume do domínio.

No caso do domínio cilíndrico, a distância ao topo do domínio permanece a mesma ($5H$), enquanto os demais afastamentos poderão ser de dez a quinze vezes a altura do prédio mais alto em todas as direções (STRAW apud CÓSTOLA, 2006), desta maneira, para a configuração de qualquer direção do vento, sempre haverá a distância adequada para representar a região à sota-vento.

Com objetivo de escolher a proporção adequada aos afastamentos laterais, foram testados dois domínios para a área de estudo. Um domínio foi modelado com afastamento de dez vezes a altura do prédio mais alto ($H=93\text{m}$), enquanto outro foi modelado com afastamento de quinze vezes a altura do mesmo prédio. Nos testes foram comparados parâmetros relativos ao número de elementos na malha, a velocidade medida em pontos no domínio e ilustrada em gráficos, e valores de y^+ , esses parâmetros serão abordados nos próximos itens. Os testes indicaram resultados similares entre os dois modelos (Anexo 2), demonstrando que o afastamento de $10H$ já é o suficiente para as fronteiras não influenciarem os resultados, portanto, adotou-se esta distância. O modelo definitivo foi representado por um cilindro de 558 metros de altura por 2375 metros de diâmetro (figura 3.5).

É importante destacar, que o domínio e as obstruções são volumes separados, por isso a geometria dos edifícios deve ser subtraída do domínio. Após esse procedimento, o domínio foi exportado em formato de arquivo *Acis* para a plataforma de trabalho Workbench, a qual permite a integração entre os diversos programas e módulos disponibilizados pela ANSYS.

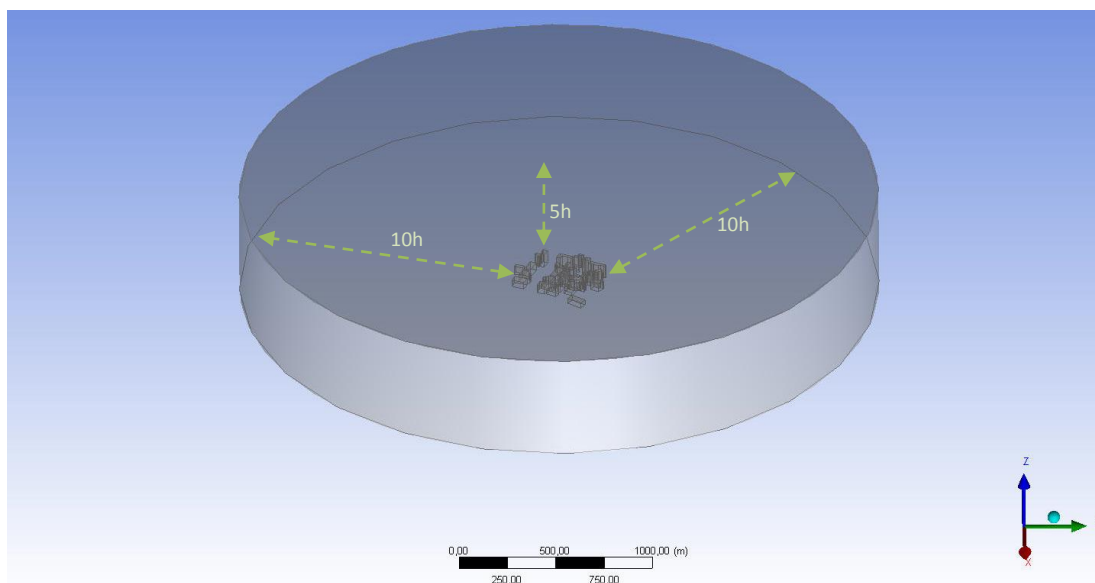


FIGURA 3.5 – Domínio cilíndrico da área de análise.

Fonte: ANSYS *Meshing*, 2013.

3.1.2 - Geração da malha (discretização do domínio)

A discretização do domínio, ou seja, a geração da malha é considerada uma das etapas que mais consome tempo em análise CFD, devido à necessidade de fazer diversos ajustes e testes até a obtenção de uma malha refinada. Essa etapa também influencia significativamente o resultado da simulação, pois erros de aproximação na discretização do domínio, que resultam em malhas grosseiras nas regiões de maior gradiente, podem levar a grandes imprecisões numéricas. Porém, é preciso esclarecer que as aproximações são inevitáveis, então devemos identificar as fontes de erro, a fim de quantificá-lo e reduzi-lo a intervalo aceitável (TEIXEIRA, 2009).

A ferramenta utilizada para a geração de malha dentro da plataforma *Workbench* foi o ANSYS *Meshing*, a qual incorporou uma série de recursos que pertenciam a outros softwares utilizados para gerar malhas em análises CFD.

O programa permite a utilização de diversas configurações para elaboração da malha, podendo utilizar controles que fazem ajustes globais e/ou locais. Essas configurações influenciam o número de elementos da malha, porém este parâmetro é limitado pela capacidade computacional. Segundo Brandão (2009), é necessário um

gigabyte de memória *RAM* para cada milhão de elementos. No entanto, segundo a ESSS, para o CFX, o parâmetro a ser relacionado com a capacidade computacional é o número de nós dos elementos da malha, e estima que o solver utiliza aproximadamente 4 gigabytes de memória *RAM* para cada milhão de nós. Nessa pesquisa, foi utilizado um processador i7 de quarta geração com trinta e dois gigabytes de memória *RAM* e placa de vídeo com dois gigabytes.

Inicialmente, importou-se a geometria criada no AutoCAD para o *Design Modeler* e após análise da qualidade dos elementos, o programa *Meshing* foi iniciado e o domínio carregado.

Por meio do comando *Named Selections*, o modelo foi dividido em sete grupos conforme as condições de contorno que lhes serão aplicadas. Esses grupos receberam as seguintes nomenclaturas: *fluid* (domínio); *wall_Building* (edifícios do entorno); *wall_office* (escritório); *wall_ebl* (Edifício Barão de Ladário); *wall_top* (topo do domínio); *opening* (laterais do domínio); e *wall_ground* (piso do domínio) (figura 3.6). O programa transferiu automaticamente esses grupos para o CFX-Pre, desta forma, facilitou a aplicação das condições de contorno no *solver*.

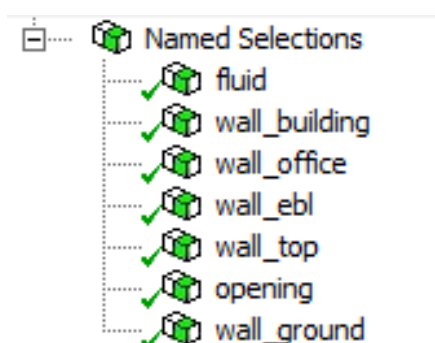


FIGURA 3.6 – Agrupamento das entidades geométricas.

Fonte: ANSYS *Meshing*, 2013.

O *Meshing* deve ser configurado para gerar malha compatível com análises de dinâmica dos fluídos e com o solver escolhido, então em *Physics Preference* foi selecionada a opção CFD e em *Solver Preference* foi escolhida a opção CFX.

O programa permite duas abordagens para o refinamento da malha, por meio dos métodos global e local. O primeiro implica na especificação de funções que alteram o refino por toda malha. Enquanto no segundo, é possível especificar funções

que refinam os elementos localizados em arestas, faces ou corpos. O refinamento pelo método local oferece maiores controles sobre regiões específicas e de maiores importância na simulação, como em localidades com altos gradientes e/ou com geometrias complexas.

A princípio, as funções do método global foram configuradas de acordo com a tabela 3.1. Após alguns testes, optou-se em testar outros parâmetros de tamanhos nas funções *Min Size* e *Proximity Min Size*, visto que os valores gerados pelo programa tornaram a malha demasiadamente grosseira junto às menores superfícies da geometria.

Tabela 3.1 – Configuração da malha pelo método global.

Details of "Mesh"	
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	CFX
<input type="checkbox"/> Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	On: Proximity and Curvature
Relevance Center	Coarse
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	High
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18,0 °)
<input type="checkbox"/> Proximity Accuracy	0,5
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	Default (3)
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (1,69560 m)
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (1,69560 m)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (169,560 m)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (339,120 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Minimum Edge Length	1,e-001 m
Inflation	
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Advanced	
Defeaturing	
Statistics	

Fonte: ANSYS *Meshing*, 2013.

Nas entidades geométricas (arestas, faces ou volumes), onde os elementos da malha apresentaram baixa qualidade, foi utilizado o método local por meio da função ‘*Sizing*’ para definir o tamanho máximo do elemento naquela entidade. Deve-se

atentar para o tamanho desses elementos, pois eles definirão o comprimento dos elementos das camadas de prismas junto às superfícies.

Com objetivo de representar a camada limite e o perfil de velocidade do fluido junto às superfícies de maior gradiente, foram utilizadas camadas de prismas (figura 3.7), por meio do recurso *Inflation* na opção *First Layer Thickness*. A altura da primeira camada de prismas foi calculada por meio de equação [17] (ESSS, 2013), a qual usa como parâmetro o y^+ , cujo valor deve estar adequado ao modelo de turbulência adotado. Cabe destacar, que esta fórmula é apenas uma estimativa logo o y^+ deve ser confirmado no pós-processamento, caso esteja fora do intervalo para o modelo de turbulência, as camadas de prismas deverão ser refeitas.

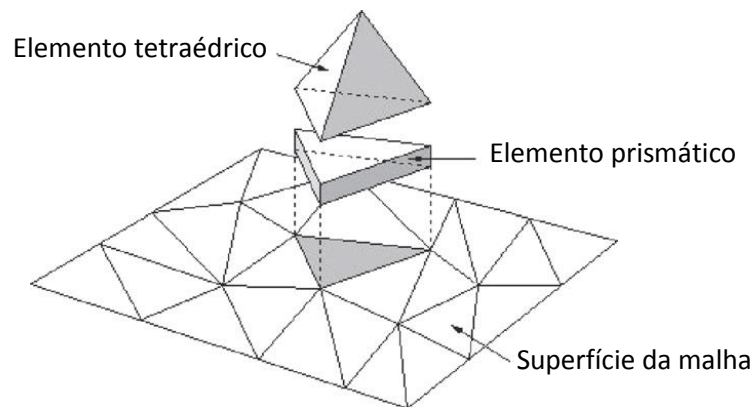


FIGURA 3.7 – Configuração dos elementos da malha próximos às fronteiras sólidas.

Fonte: Adaptado Tominaga et al., 2008.

$$y = \sqrt{74} \cdot y^+ \cdot D_h \cdot Re^{-13/14} \quad [17]$$

Onde:

y : Altura do primeiro elemento da camada de prismas (m);

y^+ : Número adimensional dentro de um intervalo adequado ao modelo de turbulência;

D_h : Dimensão da maior geometria no domínio (m);

Re : Número de Reynolds¹⁰

¹⁰ Número de Reynolds é uma relação entre as forças de inércia e as forças viscosas no escoamento do fluido. Quando o valor de Re é baixo (< 2.000), o escoamento é laminar, e quando o valor de Re é alto (> 10.000) o escoamento é turbulento. Valores de Re entre 2.000 e 10.000, o escoamento é de transição.

O número de Reynolds pode ser calculado pela equação [18].

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_h}{\mu} \quad [18]$$

Onde:

Re : Número de Reynolds;

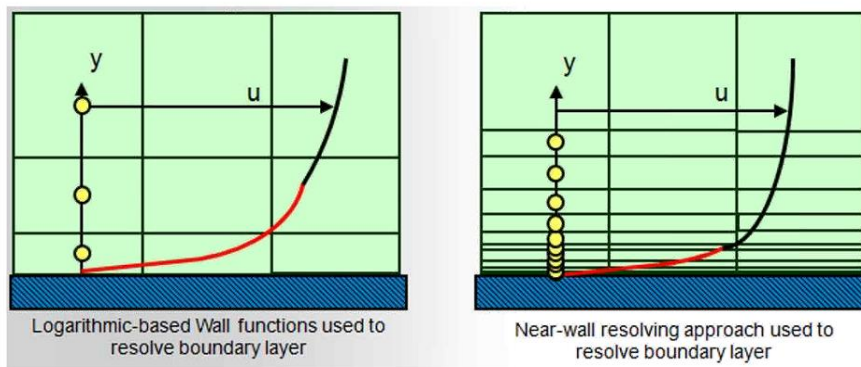
ρ : Massa específica do ar (kg/m^3);

v : Velocidade do vento (m/s);

D_h : Dimensão da maior geometria no domínio (m);

μ : Viscosidade dinâmica (kg/ m.s).

Nessa pesquisa, adotou-se o modelo de fechamento de primeira ordem *standard k-ε*. Essa escolha se baseou nos seguintes critérios: modelo largamente utilizado em outros estudos, modelo validado em aplicações na engenharia do vento e a relação entre qualidade dos resultados com pequena capacidade de processamento necessária (CÓSTOLA & ALUCCI, 2011). Em uma comparação entre modelos de primeira ordem, o *standard k-ε* e o SST *k-ω*, é possível observar que o segundo exigirá camadas de prismas muito mais refinadas que o primeiro, portanto, maior demanda computacional (figura 3.8).



$$k - \varepsilon: \\ 30 \leq y^+ \leq 300$$

$$k - \omega: \\ y^+ \leq 2$$

FIGURA 3.8 – Valor do y^+ para diferentes modelos de turbulência.

Fonte: ESSS, 2013.

O valor do parâmetro adimensional y^+ para o modelo de turbulência *standard* $k-\mathcal{E}$ é motivo de controvérsia na literatura. ESSS (2013) recomenda o valor entre 30 e 300; segundo COST (2004), o valor deve ser entre 30 e 100, enquanto Blocken, Stathopoulos e Carmeliet (2007) consideram válido o valor entre 30 e 1000. Porém, em geometrias complexas, como deste estudo, os limites indicados acima exigem um alto nível de refinamento da malha, o que pode aumentar significativamente o número de elementos da malha.

No modelo de escritório com as características arquitetônicas atuais, a princípio, foram inseridas camadas de prismas com altura do primeiro elemento de 0.01m, calculada de acordo com a equação [17] e o modelo de turbulência $k-\mathcal{E}$. No entanto, resultou em uma malha de baixa qualidade, segundo parâmetros abordados adiante. Em sequência, ainda com a mesma configuração de camada de prismas, tentou-se refinar a malha com o método local junto às fronteiras sólidas, porém essa solução se mostrou demasiadamente trabalhosa e inviável para o recurso computacional disponível. Tendo em vista, que o foco dessa pesquisa é a análise das condições de ventilação em um escritório, ao contrário de uma análise de ventilação urbana, onde todas as regiões do modelo devem ter a mesma prioridade, por conseguinte, adotou-se maior refinamento nas camadas de prismas conforme a proximidade das superfícies em relação a esse ambiente. Este refinamento consistiu na especificação de três alturas para o primeiro elemento da camada de prismas: 0.01m para o escritório, 0.1m para o EBL e 0.3m para o piso e demais edifícios (figura 3.9). Essa configuração também foi aplicada em todos os modelos.

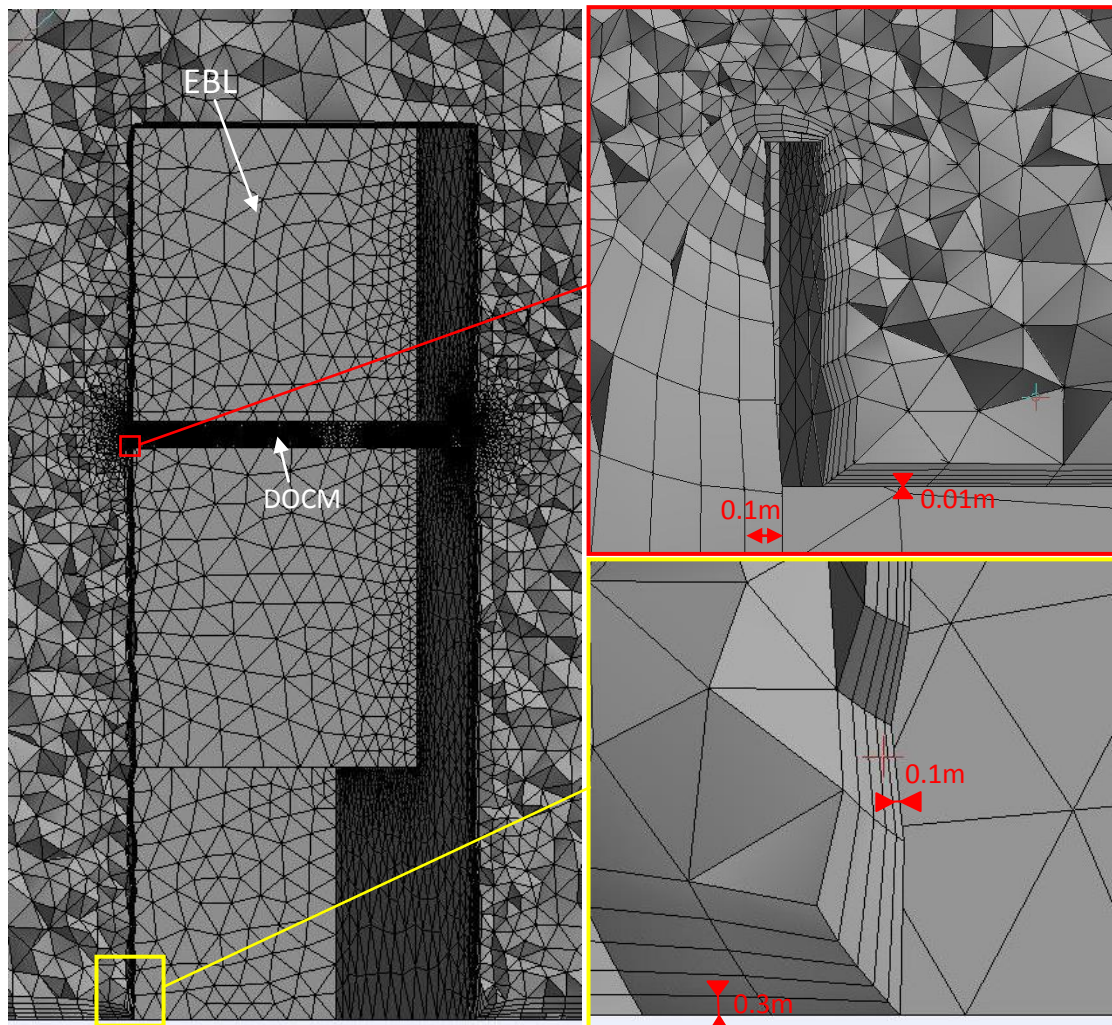




FIGURA 3.9 – Alturas do primeiro elemento da camada de prismas.

Fonte: ANSYS *Meshing*, 2013.

Após a geração da malha, a qualidade dos elementos (tetraedros, prismas, hexaedros) deve ser verificada. A função *Mesh Metrics* permite visualizar a qualidade da malha em relação a alguns parâmetros. Para o CFX os mais importantes são: a razão de aspecto dos elementos prismáticos (*Aspect Ratio*), a qualidade ortogonal (*Orthogonal Quality*) e a assimetria (*Skewness*). Segundo ESSS (2013), geralmente, a qualidade ortogonal mínima deve ser maior que 0.10 e a assimetria máxima menor que 0.95 (tabela 3.2), enquanto a razão de aspecto deve ser inferior a 1000.

Tabela 3.2 – Valores indicadores da qualidade da malha.

Skewness mesh metrics spectrum					
					
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum					
					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Fonte: ESSS, 2013.

Após diversas tentativas de refinamentos, foram obtidos os seguintes valores indicadores da qualidade da malha, para o modelo do escritório com as características arquitetônicas atuais: 728.25 (*Aspect Ratio*), 0.11 (*Orthogonal Quality*) e 0.90 (*Skewness*). Cabe ressaltar, que apesar da qualidade ortogonal mínima obtida ser classificada como ruim, as regiões de interesse (escritório e EBL) apresentaram qualidades de malha superiores a 0.15 (figura 3.10). Ainda assim, todos os elementos presentes no domínio superaram a qualidade mínima recomendada.

Finalmente, para atestar que a malha está refinada adequadamente, deve ser feito o teste de ‘independência de malha’. O procedimento consiste em analisar duas malhas com refinamentos diferentes em um único modelo, comparando os resultados obtidos para cada malha, em relação a uma variável (velocidade, pressão, etc.). Se o resultado não variar significativamente (em cerca de 10%), então foi alcançada a ‘independência de malha’. Caso os resultados sejam diferentes entre as malhas, deve-se construir uma nova malha, mais refinada, e comparar seus resultados com a anterior. Esse processo deve ser repetido até que duas malhas de refinamentos diferentes promovam resultados que não sejam diferentes dentro do critério empregado (TEIXEIRA, 2009).

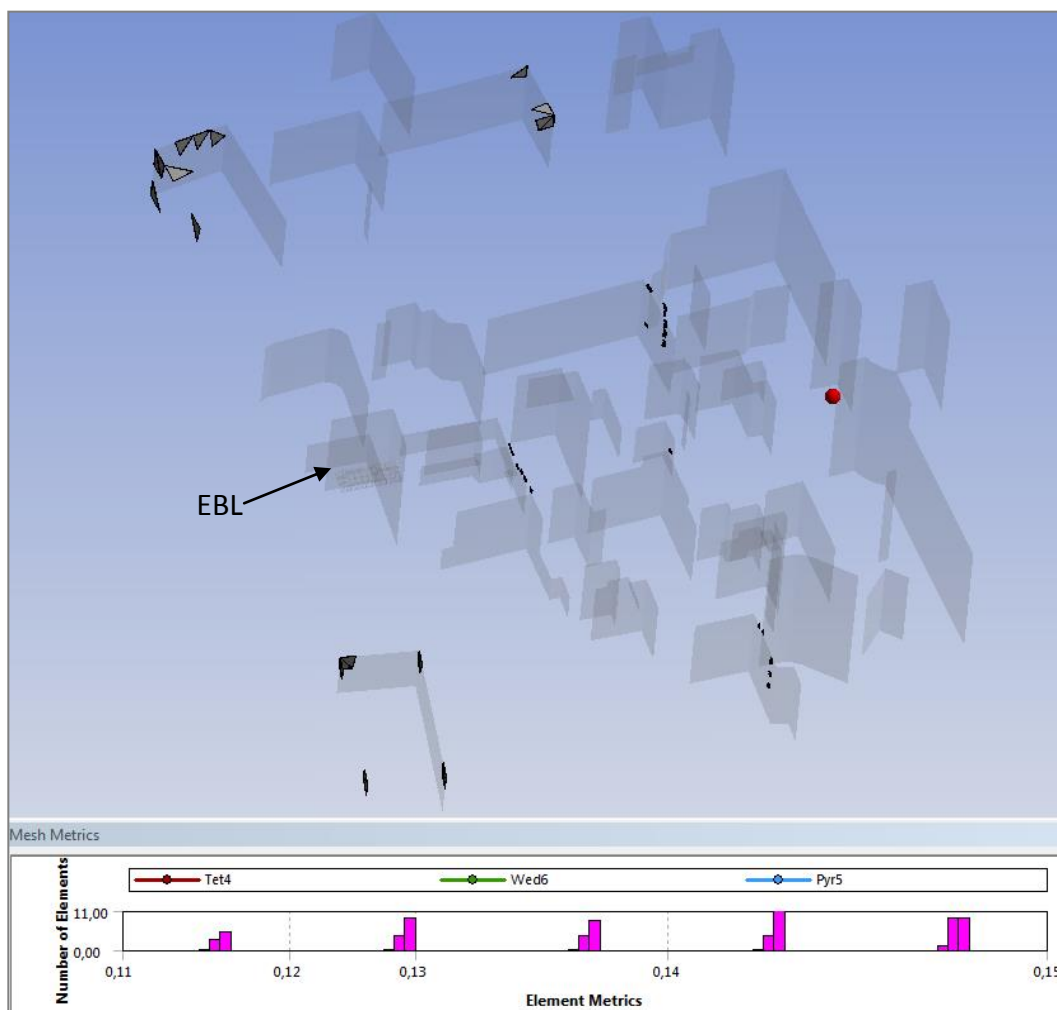


FIGURA 3.10 – Elementos da malha com qualidade ortogonal entre 0.11 e 0.15.

Fonte: ANSYS Meshing, 2013.

3.1.3 – CFX-Pre

Nesta etapa, foram definidos os parâmetros físicos aplicados ao domínio e as fronteiras sólidas, as equações (expressões) utilizadas para o cálculo das variáveis de interesse, os critérios de convergência e a localização dos pontos de monitoramento.

As características do domínio foram estabelecidas segundo os seguintes parâmetros: características físicas e de transporte do elemento fluido, pressão de referência, tipo de regime de simulação (permanente ou transiente), regime térmico e modelo de turbulência. Em se tratando de simulação de ventilação natural, partindo

do princípio que o escoamento ocorrerá em condições de estabilidade térmica e regime permanente, foi adotada a seguinte configuração para o domínio (tabela 3.3):

Tabela 3.3 – Configuração do domínio no CFX-Pre

<i>Location</i>	<i>fluid</i>
<i>Domain Type</i>	<i>Fluid Domain</i>
<i>Coordinate Frame</i>	<i>Coord 0</i>
<i>Material</i>	<i>Air at 25 C</i>
<i>Reference Pressure</i>	<i>1 [atm]</i>
<i>Buoyancy Model</i>	<i>Non Buoyant</i>
<i>Domain Motion</i>	<i>Stationary</i>
<i>Heat Transfer Model</i>	<i>Isothermal</i>
<i>Turbulence Model</i>	<i>K-Epsilon</i>
<i>Wall Function (Turbulence)</i>	<i>Scalable</i>

Nas fronteiras sólidas, são aplicadas limitações ao escoamento do fluido, conhecidas como condições de contorno. Estas podem ser classificadas em parede (wall), entrada (inlet), saída (outlet) e abertura (opening).

Normalmente, a parede é a condição de contorno que não permite a entrada e a saída do fluido, portanto é especificada nas fronteiras dos prédios e do piso do modelo. Do mesmo modo, o topo do domínio também pode receber essa condição, de forma semelhante às configurações utilizadas em ensaios de túnel de vento, desde que a distância, em relação ao edifício mais alto, seja suficiente para não exercer influência sobre os resultados da simulação, conforme comentado no item 3.1.1.

As paredes ainda podem ser configuradas com escorregamento (*free slip*), na qual não é considerado o atrito, não há formação de camada limite e os efeitos da presença daquela fronteira são minimizados; ou sem escorregamento (*no slip*), onde a velocidade do fluido é igual a zero junto à superfície e há formação de camada limite em virtude do atrito entre a superfície e o fluido.

Para domínios em forma cilíndrica, como o utilizado nesse estudo (figura 3.11), as laterais devem ser configuradas como aberturas (*opening*), assim as saídas e as entradas são determinadas conforme a direção do vento. Nestas fronteiras, definiu-se a velocidade nas componentes cartesianas x, y, z (U, V, W) e adotou-se um perfil logarítmico para velocidade do vento, por meio da equação [1].

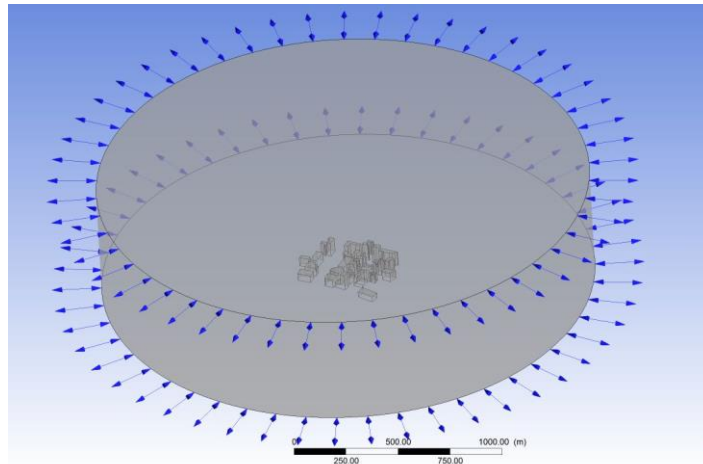


FIGURA 3.11 – Condições de contorno do domínio.

Fonte: ANSYS CFX, 2013.

As condições de contorno adotadas estão descritas na tabela a seguir:

Tabela 3.4 – Configuração das Condições de Contorno no CFX-Pre

wall_building	
<i>Boundary Type</i>	<i>Wall</i>
<i>Location</i>	<i>wall_building</i>
<i>Mass and Momentum</i>	<i>No Slip Wall</i>
<i>Wall Roughness</i>	<i>Smooth Wall</i>
wall_office	
<i>Boundary Type</i>	<i>Wall</i>
<i>Location</i>	<i>wall_office</i>
<i>Mass and Momentum</i>	<i>No Slip Wall</i>
<i>Wall Roughness</i>	<i>Smooth Wall</i>
wall_ebl	
<i>Boundary Type</i>	<i>Wall</i>
<i>Location</i>	<i>wall_ebl</i>
<i>Mass and Momentum</i>	<i>No Slip Wall</i>
<i>Wall Roughness</i>	<i>Smooth Wall</i>
wall_top	
<i>Boundary Type</i>	<i>Wall</i>
<i>Location</i>	<i>Wall_top</i>
<i>Mass and Momentum</i>	<i>Free Slip</i>

<i>opening</i>	
<i>Boundary Type</i>	<i>Opening</i>
<i>Location</i>	<i>Opening</i>
<i>Flow Regime</i>	<i>Subsonic</i>
<i>Mass and Momentum</i>	<i>Cart. Vel. Components:</i> $U = u1; V = v1; W = 0$ [m s ⁻¹]
<i>Turbulence</i>	<i>Medium (Intensity = 5%)</i>
<i>wall_ground</i>	
<i>Boundary Type</i>	<i>Wall</i>
<i>Location</i>	<i>wall_ground</i>
<i>Mass and Momentum</i>	<i>No Slip Wall</i>
<i>Wall Roughness</i>	<i>Smooth Wall</i>

Os critérios de convergência, intervalos de tempo de simulação e número máximo de iterações são definidos através do comando *Solver Control*. O valor RMS (Root Mean Square) indica o nível de convergência, segundo CFX (2003), convergências com número de resíduos na ordem de 1×10^{-4} deve ser a meta da maioria das simulações. As simulações foram finalizadas quando se atingiu o valor RMS de 1×10^{-4} ou o número máximo de iterações, configurado para 100. Caso o critério de convergência não fosse atingido, faziam-se novas tentativas através do aumento do número de iterações e, se ainda não convergisse, os parâmetros abordados anteriormente (malha, condições de contorno, etc.) deverão ser revistos.

Segundo informações do suporte técnico da ESSS, a convergência pode ser influenciada por diversos fatores, como por exemplo:

- Qualidade dos elementos da malha;
- Posição do primeiro nó na camada limite (Y^+);
- Tipos e combinações de condições de contorno;
- O balanço entre a massa de ar que entra e a que sai do domínio deve ser inferior a 1%; e
- Condições de estabilidade para os valores de pressão e vazão mássica sob regime permanente de escoamento.

E ainda afirma que mais importante do que o RMS são os dois últimos indicativos listados acima. Assim, decidiu-se verificá-los por meio da inserção de pontos de monitoramento relativos às variáveis de interesse, como a pressão e a

vazão mássica. Para regime permanente, a condição de estabilidade dessas variáveis ao longo da simulação indica a confiabilidade dos resultados.

Finalmente, no CFX-Pre é possível inserir expressões não contempladas no programa. Para a utilização da equação do perfil de velocidade logarítmico [1], nas componentes cartesianas, foram inseridas as seguintes expressões (tabela 3.5):

Tabela 3.5– Expressões com variáveis para cálculo do perfil de velocidade logarítmico

```
a = 0.10
amet = 0.14
c = 210 [m]
cmet = 270 [m]
veloc = velmet*((cmet/zmet)^amet)*((zref/c)^a)
velmet = 2.12 [m s^-1]
zmet = 10 [m]
zref = abs(z)
u1 = veloc*sin(alfa)
v1 = veloc*cos(alfa)
dira = (180+dir)*pi/180
alfa = dira
dir = 0
pi180 = pi/180
```

Para a velocidade média da estação meteorológica (velmet) serão inseridos três valores, conforme o ângulo de incidência do vento (dir): 2.12 m/s para o ângulo 0°, 2.78 m/s para o ângulo 10° e 5.03 m/s para o ângulo 160°.

3.1.4 – CFX-Solver

Esse módulo produz os resultados da simulação de acordo com os parâmetros e dados inseridos no módulo CFX-Pre. O nível de convergência da simulação pode ser monitorado através dos gráficos RMS, os quais indicam a quantidade de resíduos atingida em cada iteração (figura 3.12). Gráficos adicionais podem ser configurados para acompanhar o balanço, a estabilidade da física, e outros parâmetros.

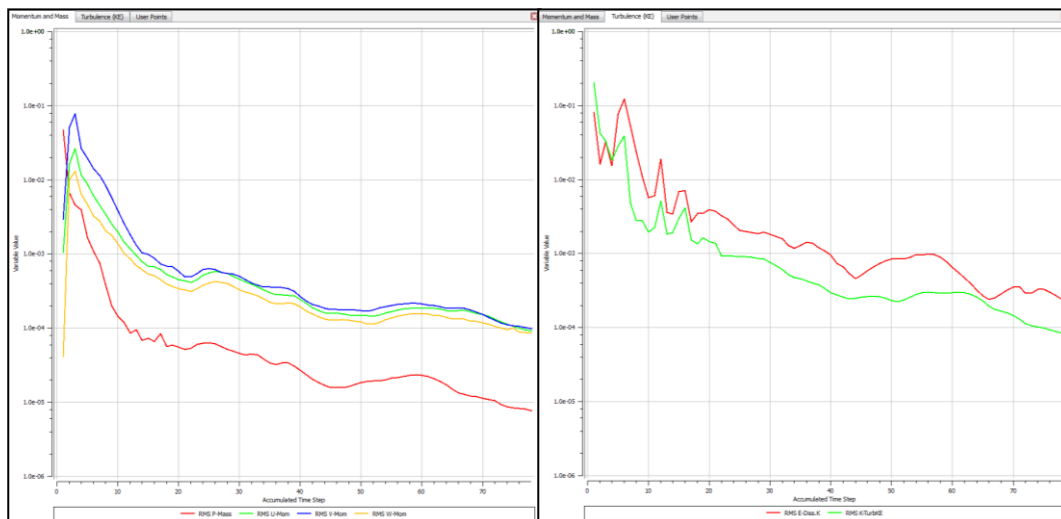


FIGURA 3.12 – Gráficos RMS de Momentum e Massa, e de Turbulência.

Fonte: ANSYS CFX-Solver, 2013.

A janela *Out file* detalha todo o processo da simulação com informação como qualidade da malha, número de iterações realizadas até a convergência, balanço final, etc.

A função *Run Mode* permite processar a simulação de três modos: modo serial, a simulação é feita num núcleo do processador do computador; modo paralelo local, o qual é utilizado de dois até o número máximo de núcleos disponíveis no processador; ou ainda, modo paralelo, o qual a simulação pode utilizar, além dos núcleos do computador, os núcleos de outros computadores interligados a uma rede.

3.1.5 – CFX–Post

Este módulo permite a visualização dos resultados através de gráficos e planilhas. Por meio de objetos inseridos no modelo, como planos, pode-se plotar neles, vetores, linhas de corrente, isolinhas de uma determinada variável (pressão, velocidade, temperatura, yplus, etc) para analisar as condições do escoamento do ar no local de interesse (figura 3.13).

Os valores de uma determinada variável, em qualquer local do domínio, podem ser quantificados por meio de expressões inseridas em planilha desse módulo.

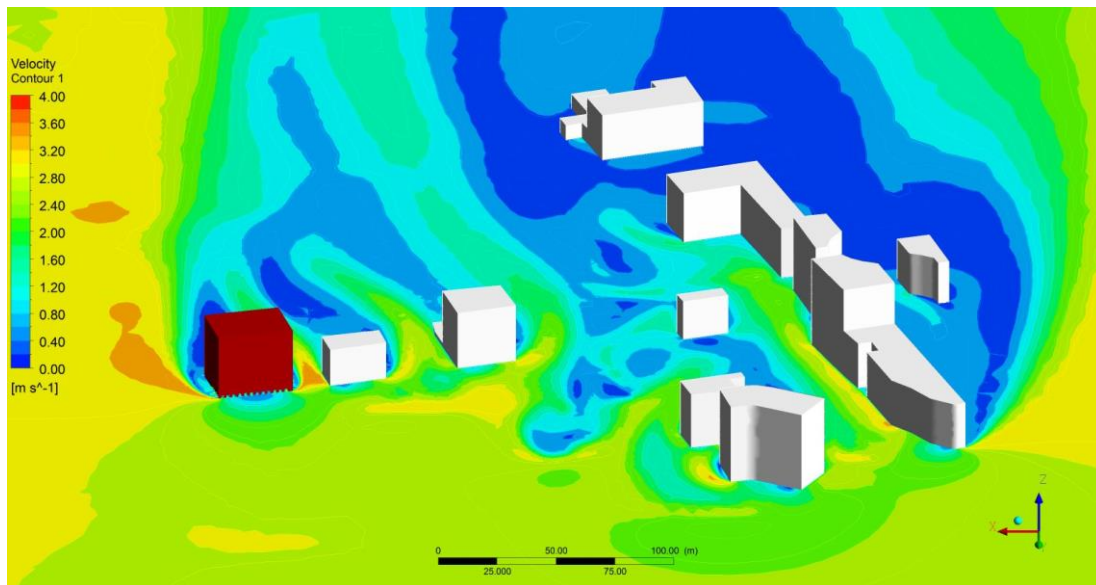


FIGURA 3.13 – Gráfico de velocidades do ar em um plano horizontal.

Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Após a análise dos resultados do escoamento do ar no modelo atual de escritório, serão propostas e testadas reconfigurações no ambiente, baseadas em diretrizes apontadas na revisão de literatura. Assim, serão definidos modelos de escritórios com a finalidade de melhorar as condições de ventilação, em relação ao modelo existente.

3.2 – Simulação computacional com o programa AEOLUS MZ

O programa AEOLUS MZ consiste um Modelo de Rede para cálculo de ventilação natural e infiltração do ar em edifícios altos, conforme critério de altura estabelecido na ASHARE (2001), e de geometria simples de forma prismática. A avaliação da qualidade do ar interno (QAI) é baseada no modelo de Fanger (1992), no qual através do olfato (intensidade do odor) é percebida a poluição e a qualidade do ar, os resultados são expressos em unidades decipol, olf e PPI, as quais os seus conceitos foram abordados no item 1.3.2 desta dissertação.

Os dados de entrada do programa para simulação são a altura da edificação, as larguras da fachada principal e secundária, a velocidade do vento no topo do edifício, o tipo e a densidade do entorno e a direção do vento predominante. Também é necessário especificar características do pavimento analisado como volume, área,

cota em relação ao nível do mar, temperatura externa e interna, número de usuários, percentual de fumantes, tipo de atividade e classificação do ambiente quanto à poluição. Em relação às aberturas, devem ser inseridas as suas dimensões e posições na fachada, e o sentido do fluxo do ar que as atravessam. Em virtude do programa não indicar as trajetórias do vento, serão utilizados os percursos definidos na simulação com o CFX para que os resultados sejam mais precisos.

Como resultado da simulação, o programa informará, para cada ambiente, a taxa de infiltração do ar puro e total, a taxa de troca do ar total, o coeficiente de pressão nas entradas e saídas de ar, e a qualidade do ar, dada em decipol e Percentual de Pessoas Insatisfeitas (PPI).

O programa AEOLUZ permite a avaliação da Qualidade do Ar Interior (QAI) numa edificação por infiltração ou ventilação. Foi desenvolvido no âmbito da tese de doutorado de Castro (2005). O domínio dessa ferramenta computacional foi conseguido através da disciplina do PROARQ, de Ventilação Natural e Qualidade do Ar.

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS, DISCUSSÃO E ANÁLISE

Neste capítulo, são apresentados inicialmente os resultados das simulações realizadas com o programa de simulação CFD, em termos dos escoamentos de ar resultantes da ação dos ventos sobre o prédio localizado em zona urbana, e no escritório que ocupa um dado andar, com suas características existentes construtivas e de *layout*. Em continuidade, também são examinadas através de simulações algumas modificações introduzidas neste caso base de configuração em termos de *layout* e de fenestrações.

A questão da qualidade do ar interior é tratada também para esta situação atual do escritório, procurando-se identificar a sua salubridade, sendo utilizado o programa AEOLUS-MZ.

4.1– Simulações com o programa CFX 14.5

No interior do escritório, foram marcados 77 pontos onde se desejava informações e dados sobre a circulação de ar devido aos ventos incidentes nas janelas do prédio. Estes pontos foram considerados nos locais de maior permanência de cada usuário: estações de trabalho e salas de reuniões (figura 4.1). A altura desses pontos foi definida em 1,10 m em relação ao piso elevado, a qual corresponde à altura média da cabeça para uma pessoa sentada.

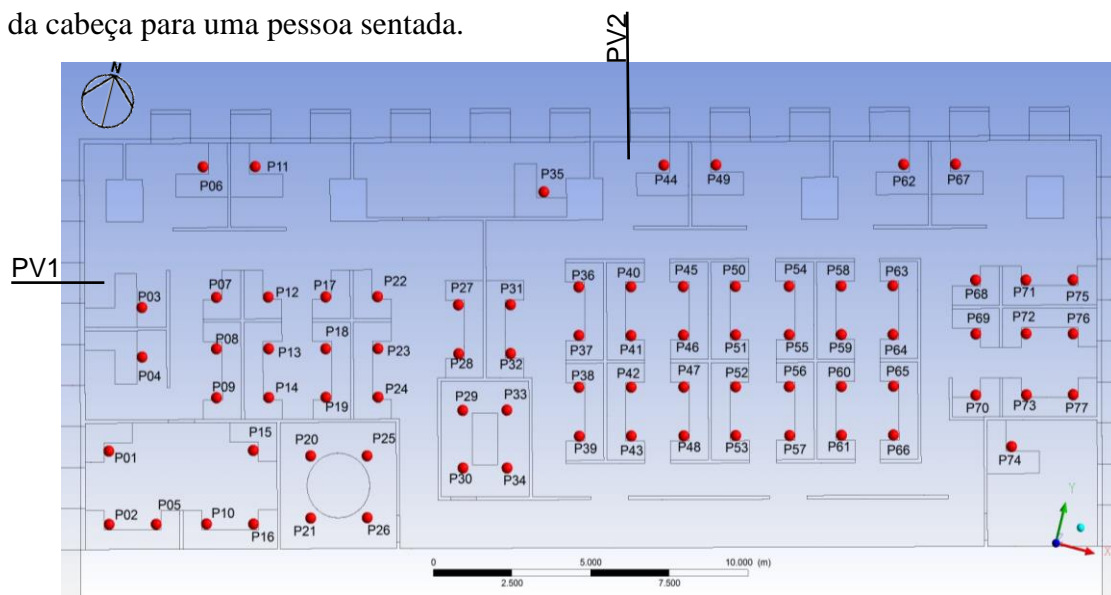


FIGURA 4.0 – Pontos de registro de velocidade no escritório com o atual *layout*. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

O comportamento do escoamento do ar foi representado por vetores e *isovels*¹¹ localizados em planos, conforme seguinte disposição:

PH1 _ Plano horizontal localizado a 1,10 metros do piso elevado;

PH2 _ Plano horizontal localizado a 1,25 metros do piso elevado;

PH3 _ Plano horizontal localizado a 1,50 metros do piso elevado;

PH4 _ Plano horizontal localizado a 1,75 metros do piso elevado;

PV1 _ Plano vertical longitudinal ao escritório;

PV2 _ Plano vertical transversal ao escritório.

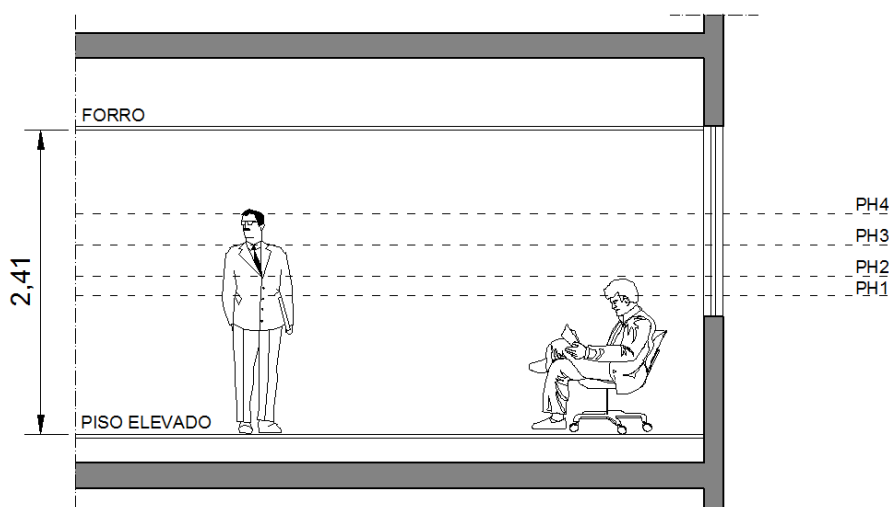


FIGURA 4.1 – Indicação dos planos horizontais em corte.

Fonte: Acervo do autor, 2013.

As pressões foram representadas nas superfícies da envoltória do EBL por meio de gráfico de isóbaras.

Os valores de y^+ das superfícies de maior gradiente foram apresentados separadamente em três grupos: o primeiro para as superfícies do escritório; o segundo para as superfícies do EBL; e o terceiro para as superfícies dos edifícios do entorno e do piso do domínio (Anexo 3).

Em virtude de haver durante o período de funcionamento do escritório uma variação de incidência e intensidade dos ventos, inicialmente procura-se nas simulações examinar o comportamento da circulação de ar para o ambiente existente sob o enfoque em três modelos.

¹¹ Linhas que, numa determinada seção do campo de escoamento, ligam os pontos de igual velocidade.

4.1.1 - Simulações do Modelo M1

O Modelo 1 representa o escritório com suas atuais características arquitetônicas. Para as simulações, foram introduzidas as condições dos ventos predominantes durante o horário de expediente do escritório, conforme apresentadas no item 2.2.3 e descritas na tabela 4.1, definindo-se os casos M1-1, M1-2 e M1-3:

Tabela 4.1 – Síntese das características do Modelo 1						
Modelo	Dir. vento	Vel. vento	Tipologia da janela	Altura da divisória	Estação de trabalho	Layout
M1-1	0°	2,12 m/s	Fixa + projetante	134/164/241 cm	Celular em 'L'	Misto
M1-2	10°	2,78 m/s				
M1-3	160°	5,03 m/s				

4.1.1.1 – Resultados para o Modelo M1-1

Para esta situação, onde as condições do vento medidos na estação meteorológica indicam direção norte (0°) e velocidade de 2,12 m/s, resulta no escritório, Figura 4.2, maiores velocidades do ar na proximidade das aberturas, com maior concentração de circulações acima de 2 m/s, contudo, nos painéis fixos das esquadrias a velocidade é mais baixa e ocorre a formação de vórtices.

Nas estações de trabalho localizadas na região central do escritório, foram observadas menores velocidades do ar nos planos PH1 e PH2 (figuras 4.2, 4.3 e 4.4) do que nos planos PH4 e PH5 (figuras 4.5 e 4.6) que estão acima das divisórias. Também há uma formação de vórtices nas regiões posteriores às divisórias (figura 4.8), as quais refletem a influência da altura e do *layout* destes elementos. As salas de reuniões foram as regiões com maior estagnação do ar, já que possuem apenas uma porta para a entrada e saída de ar.

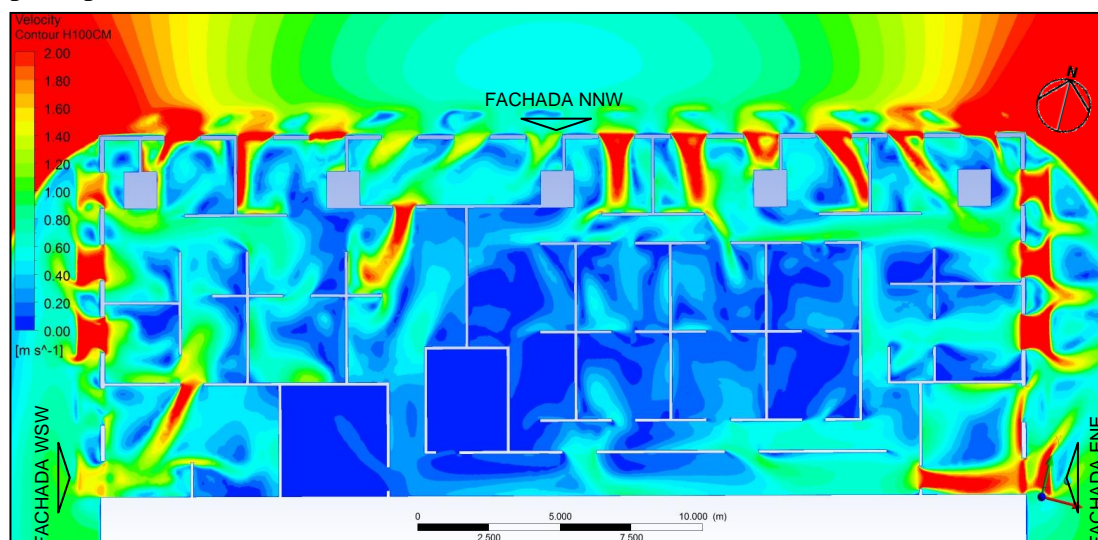


FIGURA 4.2 – Isovels no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

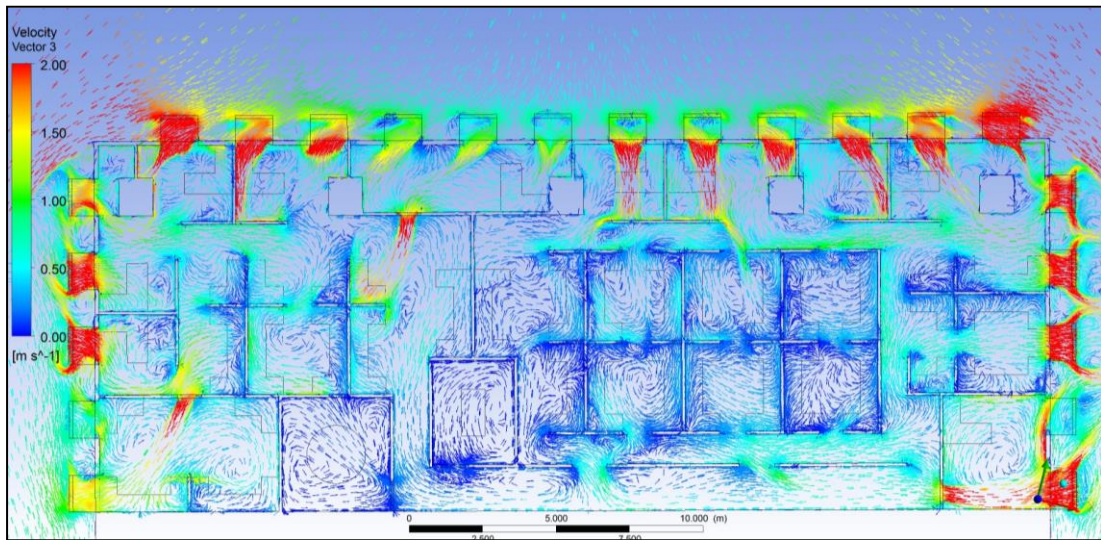


FIGURA 4.3 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

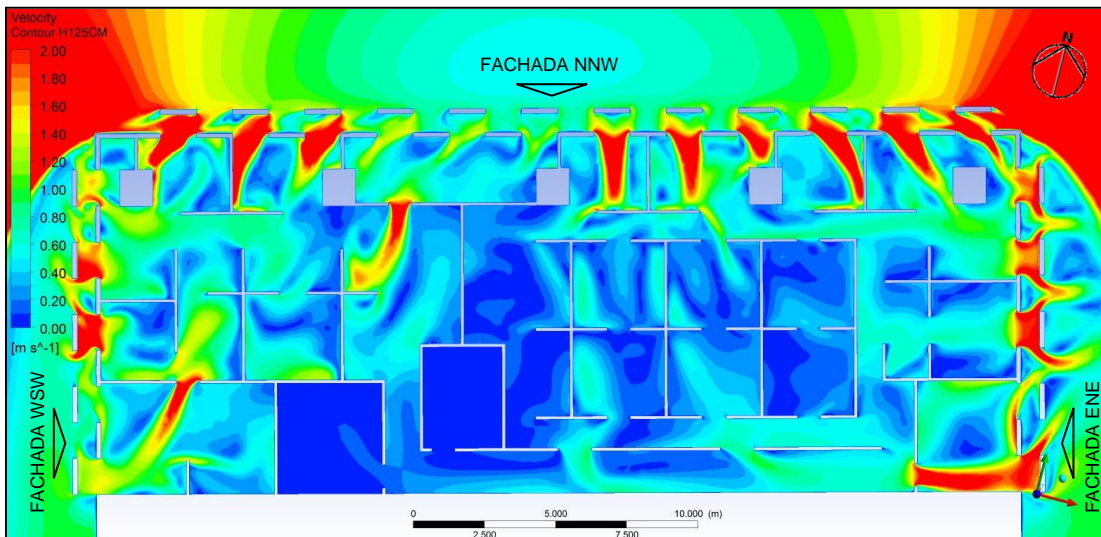


FIGURA 4.4 – Isovels no plano PH2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

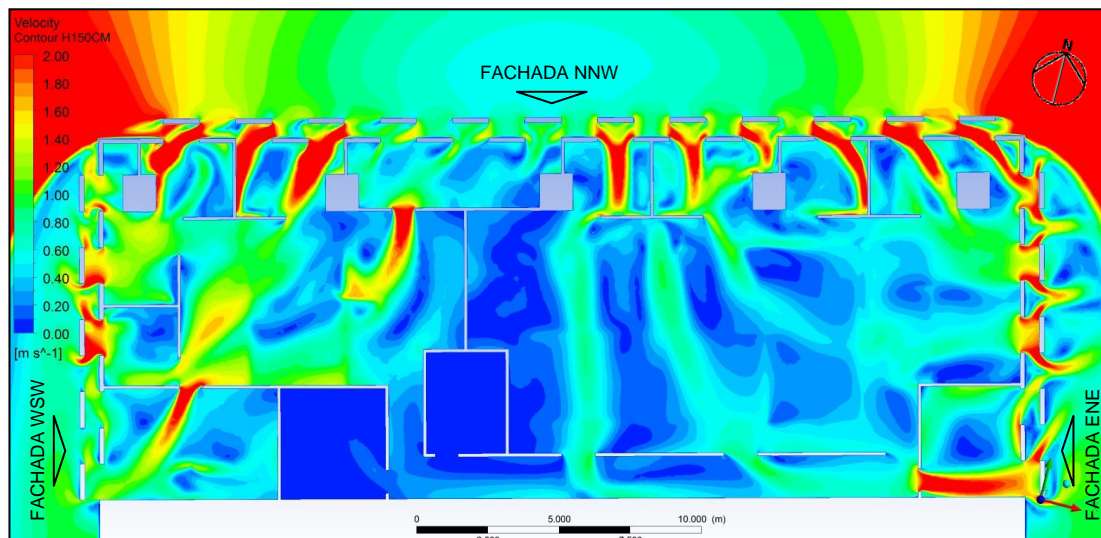


FIGURA 4.5 – Isovels no plano PH3. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

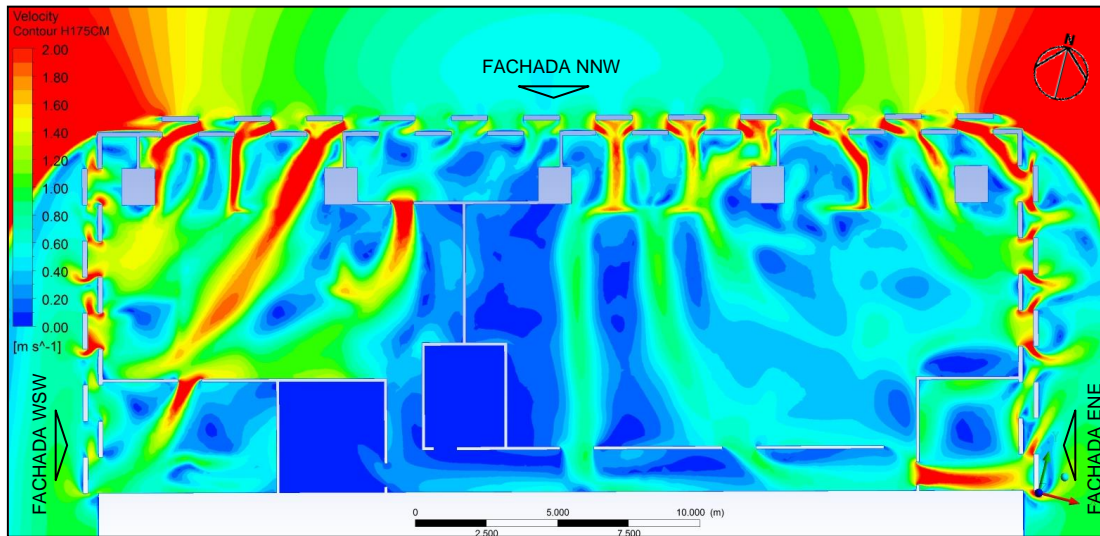


FIGURA 4.6 – *Isovels* no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

O fluxo de ar entra no ambiente pelas aberturas localizadas na fachada com orientação NNW, onde a pressão é positiva, e sai pelas aberturas localizadas nas fachadas ENE e WSW, onde as pressões são negativas (figura 4.7). O fluxo na fachada NNW no nível do andar do escritório é descendente, o que dificulta a entrada de ar pela tipologia da janela existente (figuras 4.8 e 4.9). Esta direção é análoga àquela indicada pela ASHRAE (2001), que prevê para edifícios com essas características geométricas, nas cotas até $\frac{3}{4}$ da altura da fachada a barlavento, fluxo descendente.

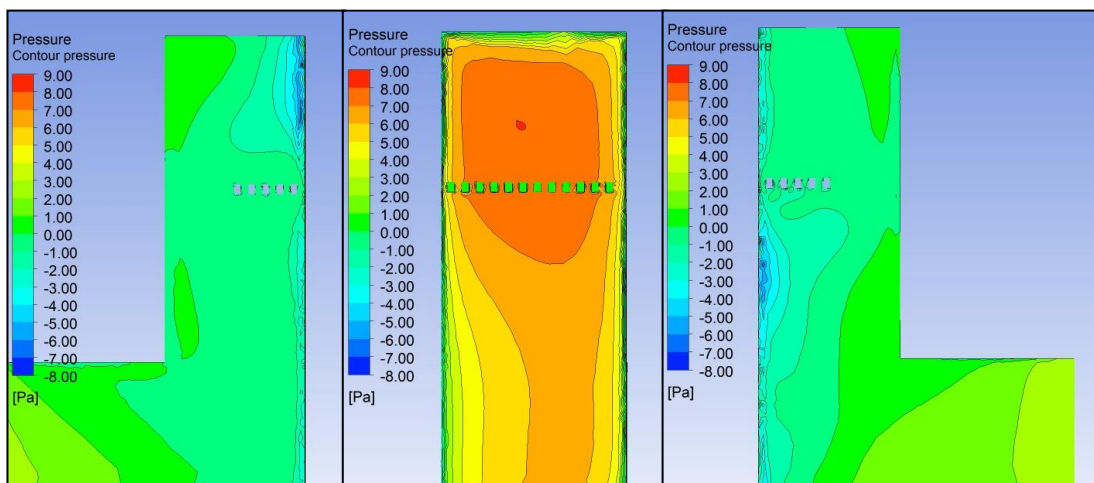


FIGURA 4.7 – Isóbaras nas fachadas ENE, NNW e WSW. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

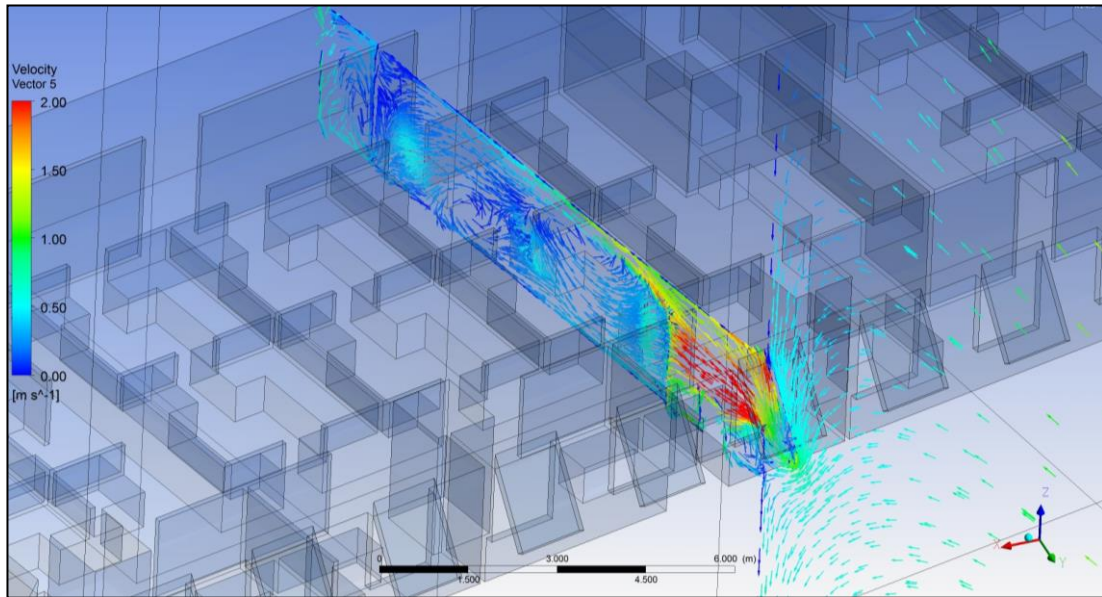


FIGURA 4.8 – Vetores de velocidade no PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

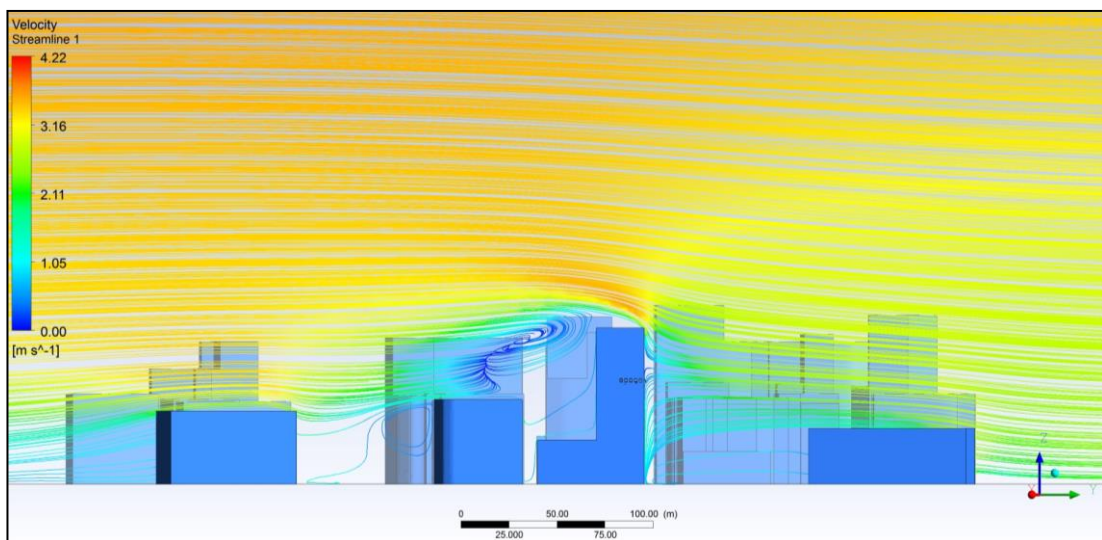


FIGURA 4.9 – Linhas de corrente do ar no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Em vários pontos de registro, foram observadas velocidades do ar muito baixas para serem consideradas para uma estratégia de conforto higrotérmico, nas condições climáticas locais e nas condições de vestimenta e de atividade típicas dos usuários desse escritório. Somente em 13 estações de trabalho (tabela 4.2), a simulação indicou velocidades dentro da faixa de 0,6-2,0 m/s, que segundo os resultados obtidos por meio do programa PMV/PPD e abordados no ítem 2.2.3 poderiam melhorar a sensação térmica.

P01	0,50	P11	0,46	P21	0,02	P31	0,07	P41	0,49	P51	0,10	P61	0,08	P71	0,35
P02	1,24	P12	0,60	P22	1,82	P32	0,11	P42	0,09	P52	0,19	P62	2,57	P72	0,23
P03	0,70	P13	0,26	P23	0,63	P33	0,01	P43	0,52	P53	0,17	P63	0,19	P73	0,06
P04	0,03	P14	0,65	P24	0,30	P34	0,01	P44	1,08	P54	0,16	P64	0,23	P74	0,59
P05	0,98	P15	0,37	P25	0,04	P35	0,62	P45	0,24	P55	0,18	P65	0,08	P75	0,68
P06	0,24	P16	0,33	P26	0,04	P36	0,30	P46	0,12	P56	0,37	P66	0,27	P76	0,41
P07	0,34	P17	0,32	P27	0,47	P37	0,17	P47	0,16	P57	0,37	P67	0,03	P77	0,46
P08	0,64	P18	0,38	P28	0,16	P38	0,06	P48	0,18	P58	0,22	P68	0,14		
P09	0,20	P19	0,32	P29	0,02	P39	0,07	P49	0,58	P59	0,18	P69	0,29		
P10	0,14	P20	0,06	P30	0,03	P40	0,18	P50	0,30	P60	0,11	P70	0,54		

 < 0,60 m/s  > 2,00 m/s

4.1.1.2 – Resultados para o Modelo M1-2

Para condição de vento, com azimute¹² de 10° e velocidade de 2,78 m/s, a distribuição do fluxo de ar interno ocorreu de forma similar ao modelo anterior (figuras 4.10 a 4.14), contudo, a tabela 4.3 indica que aumentou para 22, o número de pontos com valores dentro da faixa de velocidade apropriada para o uso da ventilação natural para fins de conforto. No entanto, isto representa apenas 28% do total de pontos nessas condições.

Do mesmo modo que o modelo anterior, o fluxo de ar junto à fachada NNW (barlavento), na altura do 16° andar, está no sentido descendente, condição menos favorável ao tipo de esquadria (figuras 4.16 e 4.17), porém, as diferenças de pressões nas aberturas das fachadas são maiores que as do modelo anterior, dessa forma, possibilitam maiores velocidades para o ar no interior do ambiente (figura 4.15).

¹² Ângulo medido no plano horizontal entre o Norte Verdadeiro e o sentido do vento.

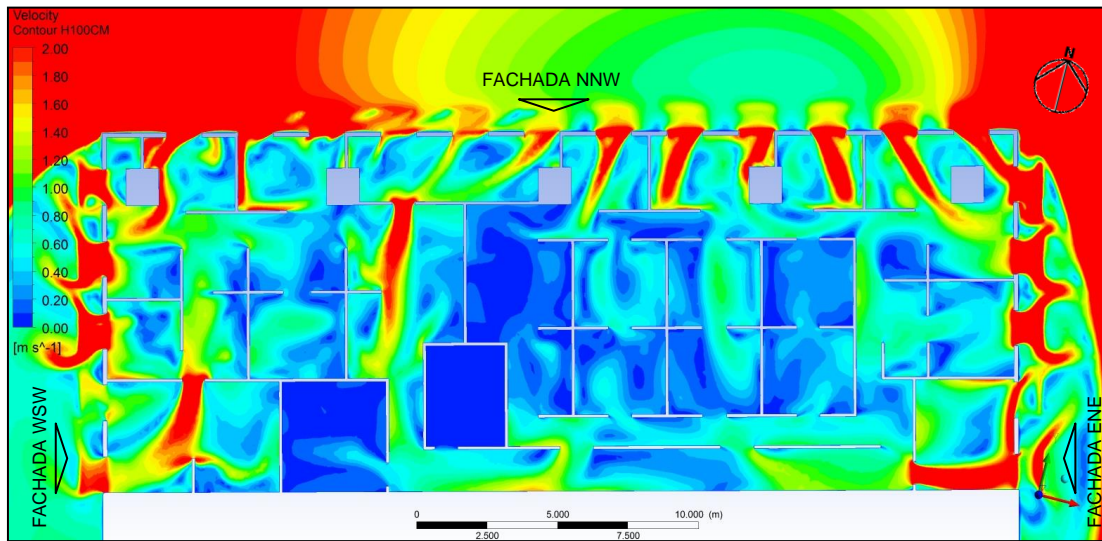


FIGURA 4.10 – *Isovels* no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

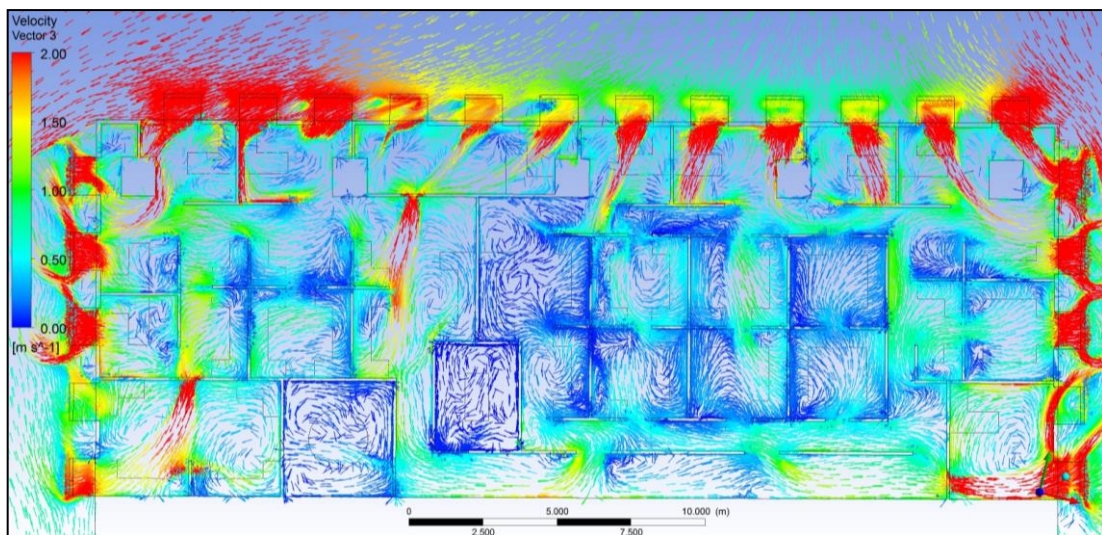


FIGURA 4.11 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

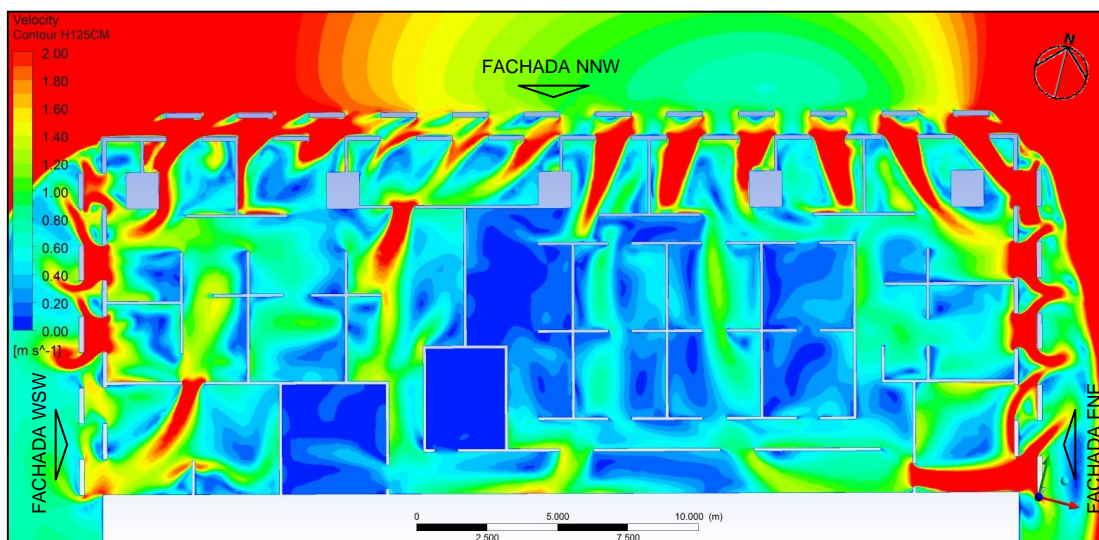


FIGURA 4.12 – *Isovels* no plano PH2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

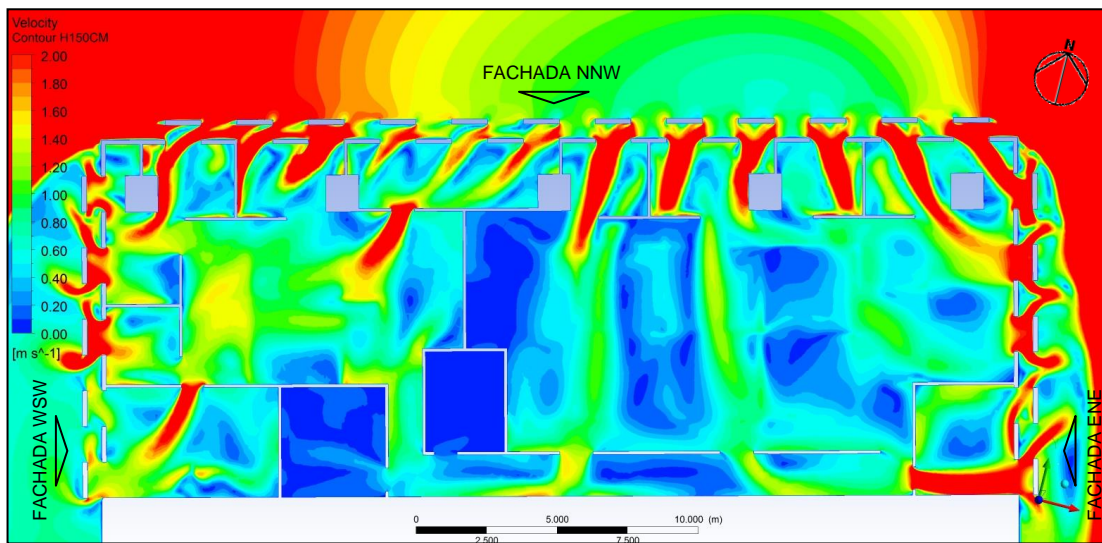


FIGURA 4.13 – Isovels no plano PH3. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

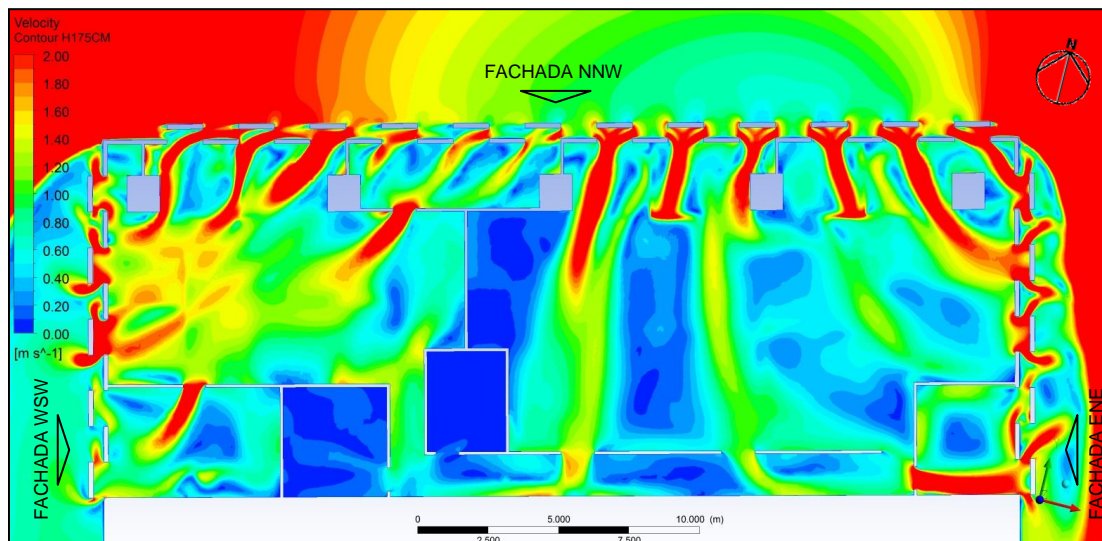


FIGURA 4.14 – Isovels no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

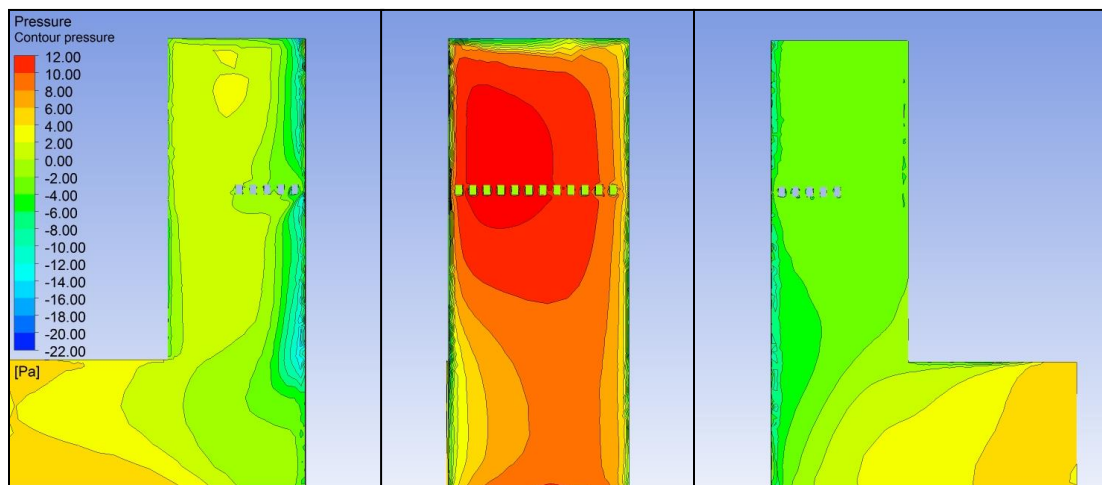


FIGURA 4.15 – Isóbaras nas fachadas ENE, NNW e WSW. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

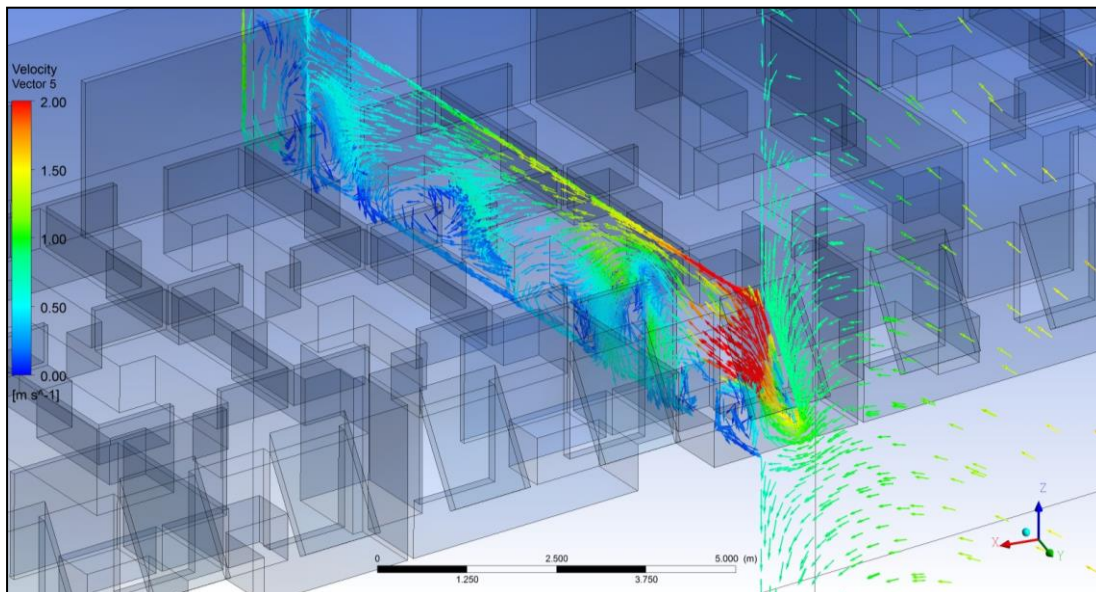


FIGURA 4.16 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

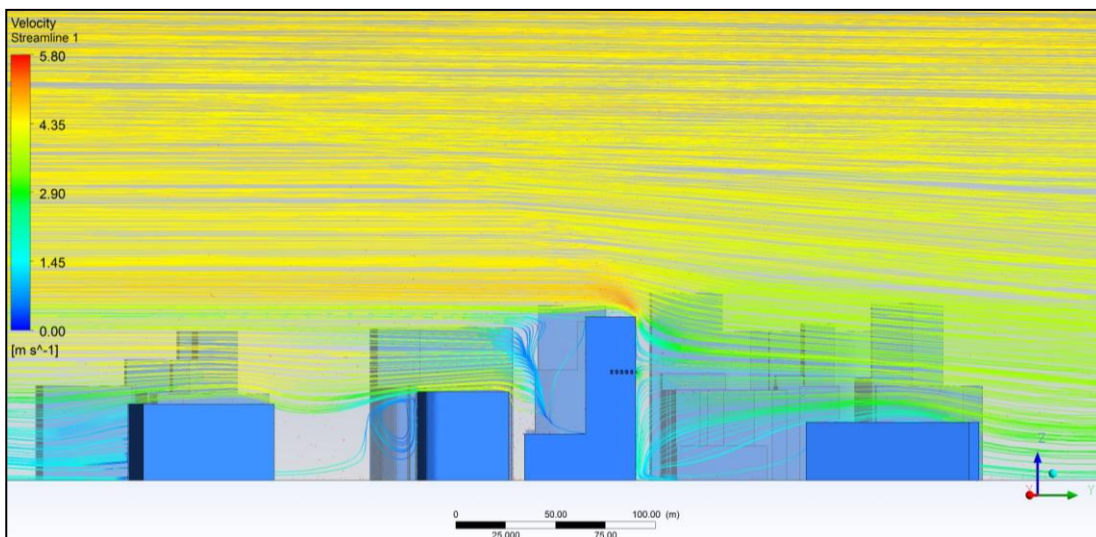


FIGURA 4.17 – Linhas de corrente de ar no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Tabela 4.3 – Velocidade do vento nos pontos de medição (m/s) _ modelo M1-2

P01	0,97	P11	0,16	P21	0,07	P31	0,05	P41	0,56	P51	0,20	P61	0,16	P71	0,66
P02	1,34	P12	0,46	P22	1,31	P32	0,09	P42	0,14	P52	0,12	P62	2,21	P72	0,24
P03	0,19	P13	0,74	P23	0,13	P33	0,01	P43	0,54	P53	0,20	P63	0,21	P73	0,39
P04	0,25	P14	0,60	P24	1,23	P34	0,02	P44	0,33	P54	0,53	P64	0,25	P74	0,79
P05	1,72	P15	0,41	P25	0,03	P35	0,26	P45	0,58	P55	0,63	P65	0,33	P75	1,17
P06	1,55	P16	1,09	P26	0,26	P36	0,24	P46	0,39	P56	0,43	P66	0,40	P76	0,49
P07	0,55	P17	0,13	P27	0,30	P37	0,12	P47	0,22	P57	0,43	P67	1,07	P77	0,63
P08	0,39	P18	0,73	P28	0,51	P38	0,48	P48	0,13	P58	0,25	P68	0,20		
P09	1,14	P19	0,31	P29	0,01	P39	0,17	P49	2,53	P59	0,19	P69	0,57		
P10	0,42	P20	0,08	P30	0,02	P40	0,70	P50	0,01	P60	0,34	P70	0,60		

< 0,60 m/s

> 2,00 m/s

4.1.1.3 – Resultados para o Modelo M1-3

Nesse modelo, foi considerado o vento com azimute de 160° e velocidade de 5,03 m/s. A fachada onde incide esse vento corresponde à empena cega do edifício.

A distribuição do fluxo de ar ao longo do ambiente interno mostrou-se mais homogênea, porém, essa condição ocorreu devido às baixas velocidades do ar em grande parte do ambiente (figuras 4.18 a 4.22). Assim, como nos casos anteriores, também foi observado velocidades maiores nos planos PH3 e PH4 do que nos outros planos horizontais, assim como a formação de vórtices nas regiões posteriores às divisórias (figuras 4.24 e 4.25), o que corrobora a influência das divisórias nos efeitos observados na circulação de ar.

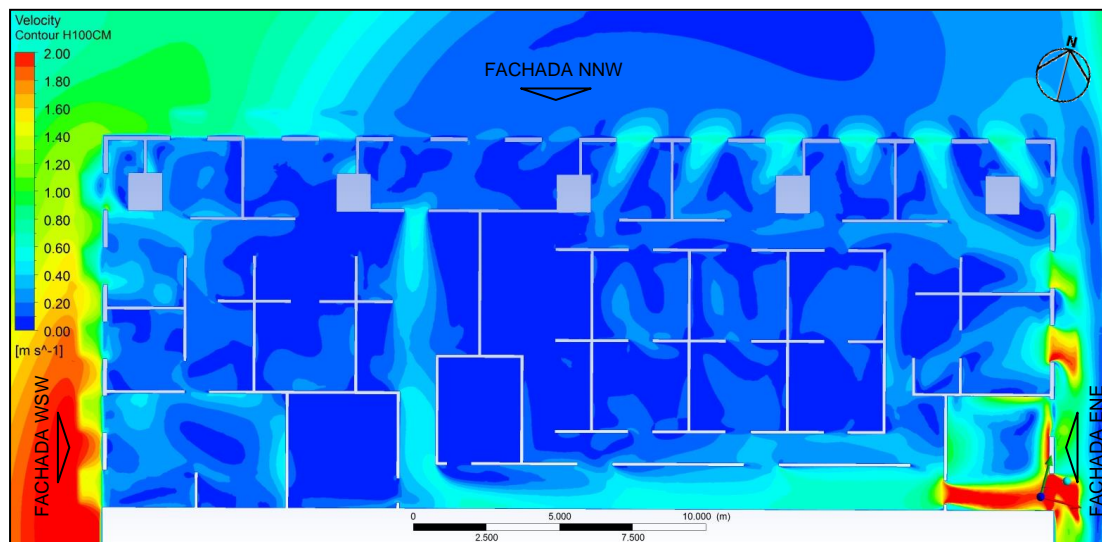


FIGURA 4.18 – Isovels no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

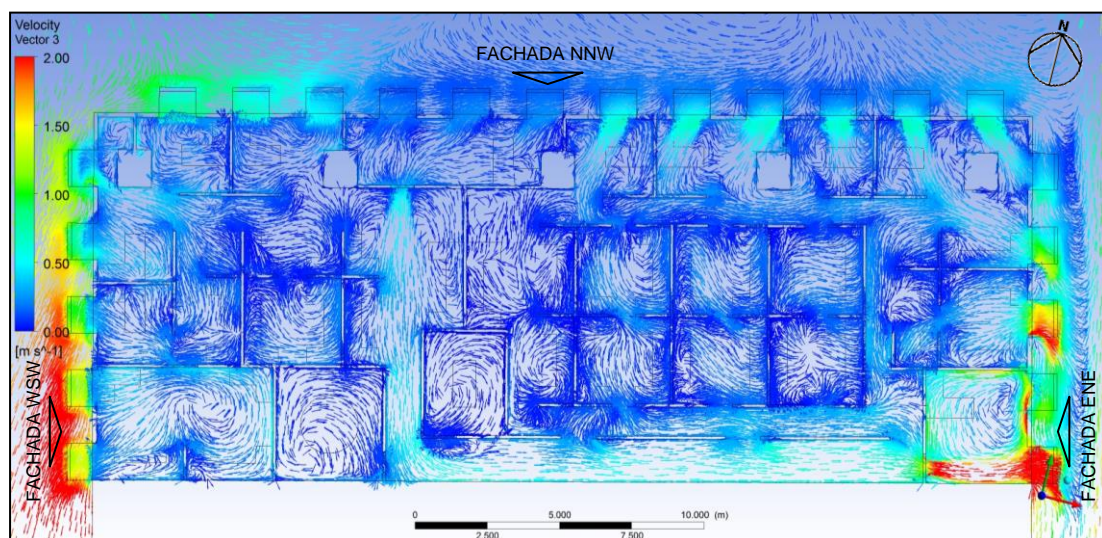


FIGURA 4.19 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

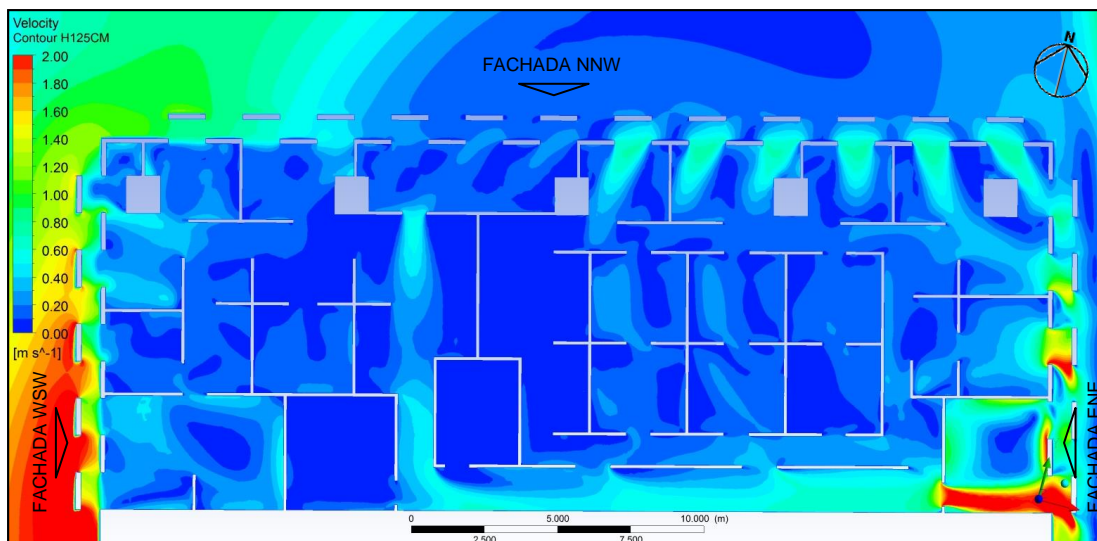


FIGURA 4.20 – *Isovels* no plano PH2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

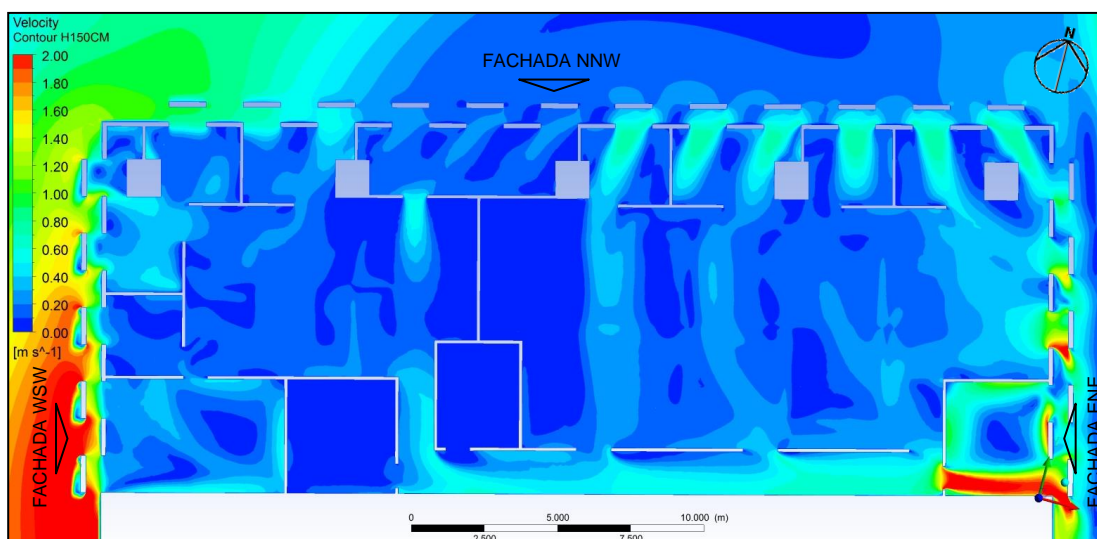


FIGURA 4.21 – *Isovels* no plano PH3. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

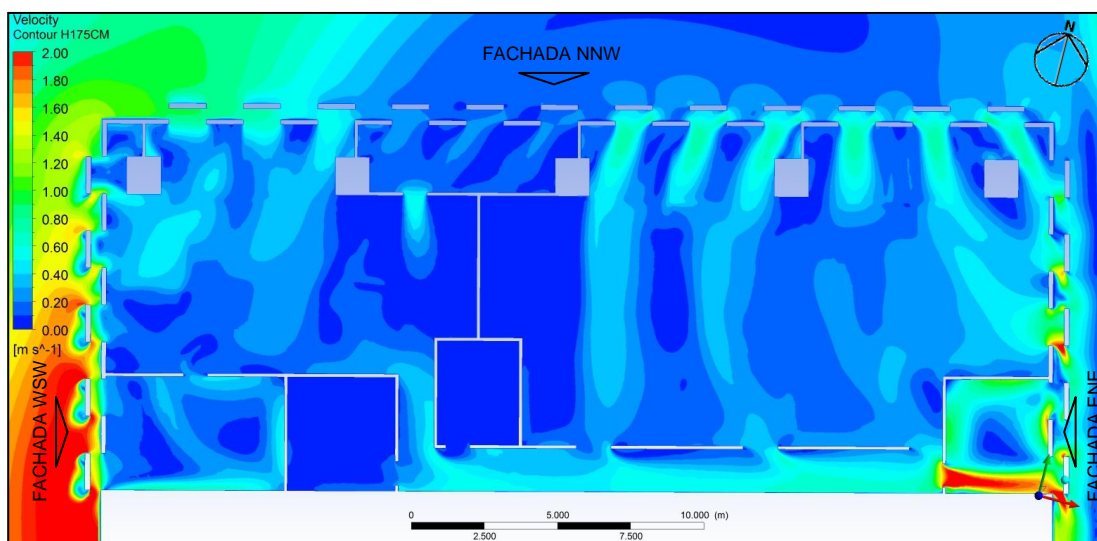


FIGURA 4.22 – *Isovels* no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Para essa direção do vento, todas as aberturas estão localizadas em zonas de pressões negativas (figura 4.23), e a circulação do ar ocorre em razão da diferença de pressão entre essas zonas. Dessa forma, o fluxo de ar entra pelas aberturas na fachada a NNW, onde a pressão é ligeiramente maior, e sai através das aberturas localizadas nas fachadas ENE e WSW, onde a pressão é menor (figura 4.19). Pode-se observar que a diferença de pressão entre as fachadas é pequena, o que explica o motivo dos valores das velocidades serem menores do que os valores dos casos anteriores.

Ao contrário das outras condições de vento, a fachada NNW está agora à sota-vento. Nessa região o fluxo do ar é caótico, com formação de vórtices, assim, é difícil avaliar se o ângulo de abertura das janelas existentes está contribuindo para entrada do fluxo de ar no ambiente interno (figuras 4.25 a 4.27).

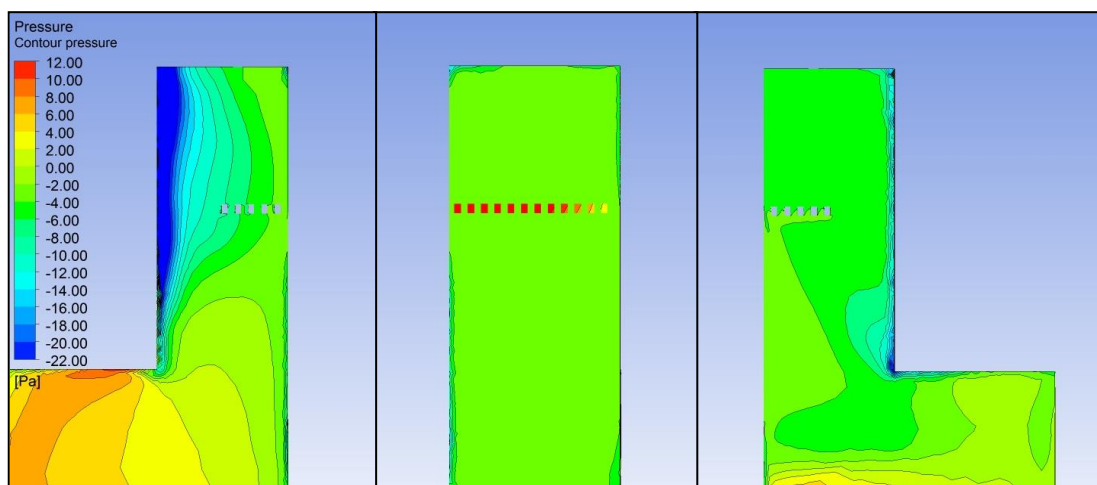


FIGURA 4.23 – Isóbaras nas fachadas ENE, NNW e WSW. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013

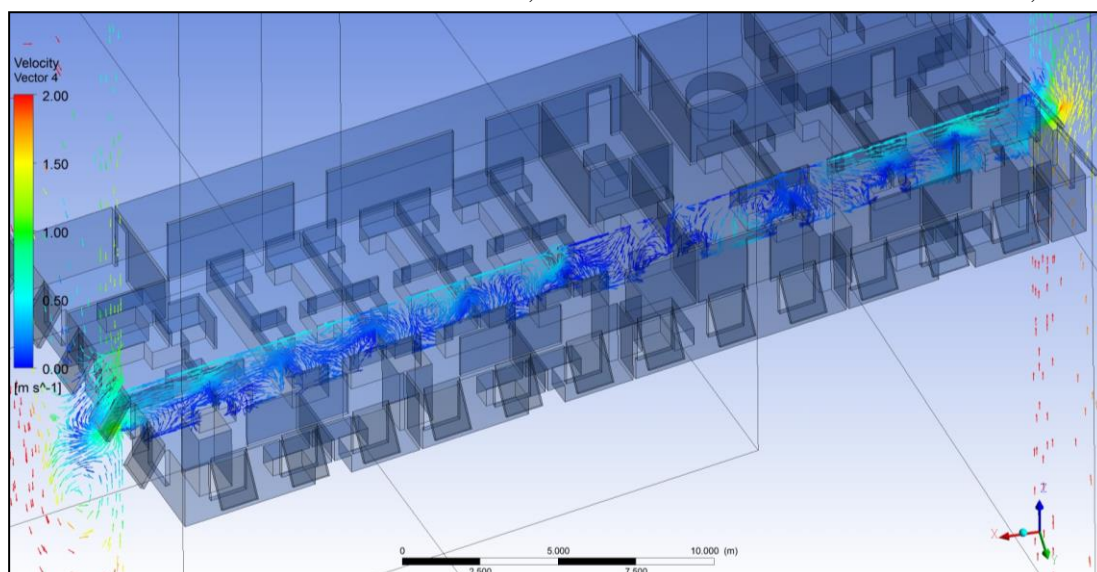


FIGURA 4.24 – Vetores de velocidade no plano PV1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

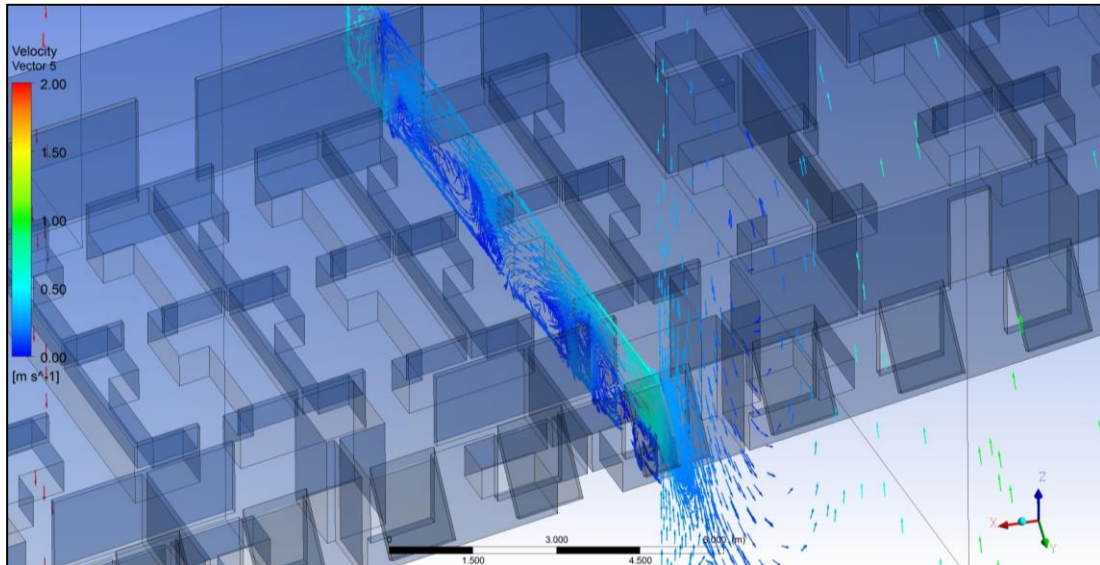


FIGURA 4.25 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

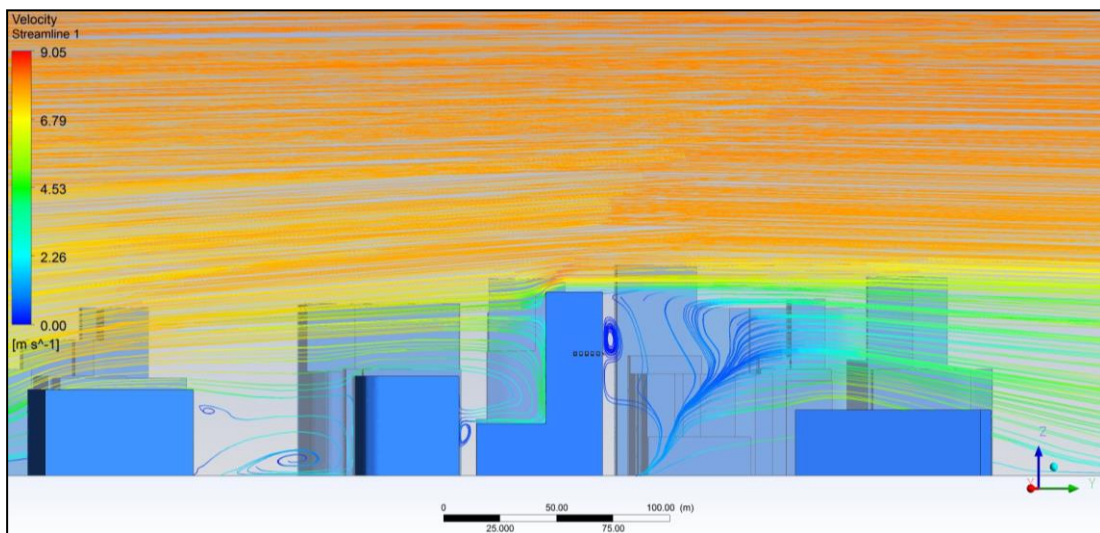


FIGURA 4.26 – Linhas de corrente de ar no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Em todos os pontos de registros, foram observadas velocidades do ar muito baixas para serem utilizadas como estratégia de conforto higrotérmico nesse escritório (tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Velocidade do vento nos pontos de medição (m/s) _ modelo M1-3															
P01	0,35	P11	0,12	P21	0,02	P31	0,01	P41	0,21	P51	0,19	P61	0,04	P71	0,05
P02	0,22	P12	0,03	P22	0,16	P32	0,02	P42	0,06	P52	0,15	P62	0,32	P72	0,15
P03	0,35	P13	0,06	P23	0,07	P33	0,01	P43	0,14	P53	0,06	P63	0,14	P73	0,24
P04	0,14	P14	0,15	P24	0,17	P34	0,02	P44	0,05	P54	0,15	P64	0,15	P74	0,47
P05	0,13	P15	0,25	P25	0,05	P35	0,06	P45	0,14	P55	0,11	P65	0,13	P75	0,36
P06	0,17	P16	0,21	P26	0,05	P36	0,06	P46	0,12	P56	0,16	P66	0,07	P76	0,32
P07	0,12	P17	0,07	P27	0,01	P37	0,03	P47	0,08	P57	0,16	P67	0,14	P77	0,32
P08	0,13	P18	0,17	P28	0,12	P38	0,10	P48	0,06	P58	0,05	P68	0,13		
P09	0,11	P19	0,17	P29	0,03	P39	0,04	P49	0,51	P59	0,16	P69	0,05		
P10	0,18	P20	0,03	P30	0,02	P40	0,16	P50	0,19	P60	0,09	P70	0,27		

< 0,60 m/s

> 2,00 m/s

4.1.1.4 – Considerações sobre o Modelo 1

A partir dos resultados obtidos para o Modelo1, com seus variantes para as três direções dos ventos predominantes, pode-se constatar que as velocidades do ar, na maioria dos pontos de registro, apresentam valores inferiores a um mínimo adequado para propiciar condições de conforto higrotérmico. Resta então, a verificação se estes resultados estão relacionados com as características arquitetônicas das fenestrações e do *layout* do escritório. Pois, elementos arquitetônicos como janelas, painéis divisórios e mobiliários podem influenciar o escoamento do ar, além de serem facilmente substituíveis em uma reforma. Por conseguinte, os modelos a seguir foram propostos e testados com modificações nesses elementos.

4.1.2 - Simulações do Modelo 2

O Modelo 2 representa o escritório vazio, sem os painéis divisórios e o mobiliário. O objetivo é analisar a influência das tipologias de janelas no escoamento do ar, com as outras características arquitetônicas existentes. Para as simulações, foram testadas quatro tipologias de janelas: quadro fixo + projetante; de correr; projetante; e pivotante (figura 4.27). As características desse modelo estão descritas na tabela 4.5. Mantendo-se o estudo par as três condições de incidência dos ventos.

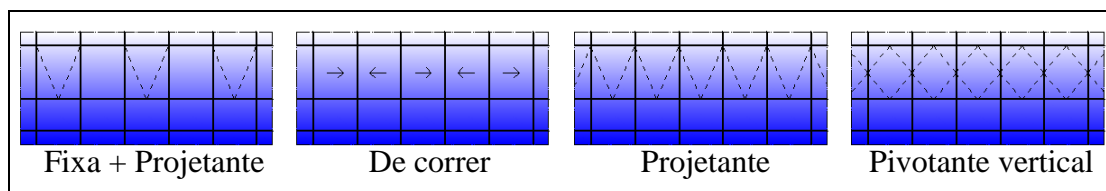


FIGURA 4.27 – Tipologias das janelas analisadas.

Fonte: Autor, 2014.

Tabela 4.5 – Síntese das características do Modelo 2						
Modelo	Dir. vento	Vel. vento	Tipologia da janela	Altura da divisória	Estação de trabalho	Layout
M2-1	0°	2,12 m/s	Fixa + projetante	-	-	-
M2-2	10°	2,78 m/s				
M2-3	160°	5,03 m/s				
M2-4	0°	2,12 m/s	De correr	-	-	-
M2-5	10°	2,78 m/s				
M2-6	160°	5,03 m/s				
M2-7	0°	2,12 m/s	Projetante	-	-	-
M2-8	10°	2,78 m/s				
M2-9	160°	5,03 m/s				
M2-10	0°	2,12 m/s	Pivotante	-	-	-
M2-11	10°	2,78 m/s				
M2-12	160°	5,03 m/s				

4.1.2.1 – Resultados para o Modelo M2-1

Nesse modelo, foi considerado o vento na direção Norte (0°), com velocidade de 2,12 m/s. As janelas são do tipo projetante e dispostas de forma alternada com painéis fixos.

Os jatos de ar mais fortes ocorrem junto às janelas projetantes, enquanto próximo aos painéis fixos da fachada há a presença de vórtices. A velocidade do ar atingiu valores similares entre todos os planos horizontais (figuras 4.28 a 4.32), já que não há os painéis. Porém, na região abaixo da cota do peitoril, houve a formação de vórtices e baixas velocidades, provavelmente pela influência desse elemento e do ângulo de abertura da janela.

Por meio dos planos horizontais, é possível se verificar a partição do fluxo do ar em duas regiões, onde parte do fluxo irá escoar para o exterior através das aberturas da fachada WSW e a outra parte através das aberturas da fachada ENE. Entre essas regiões, existe uma zona com baixas velocidades do ar.

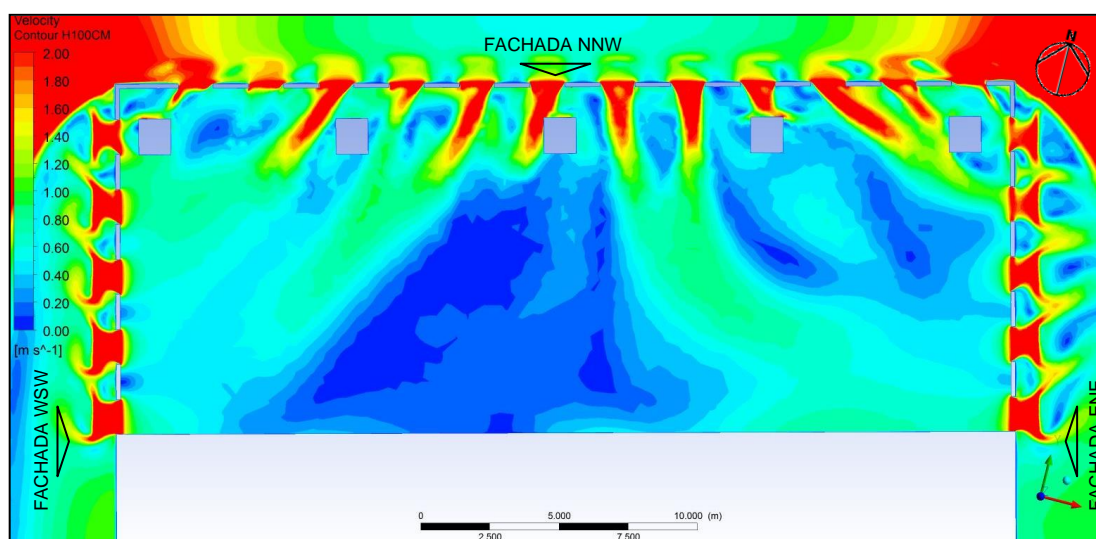


FIGURA 4.28 – *Isovels* no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

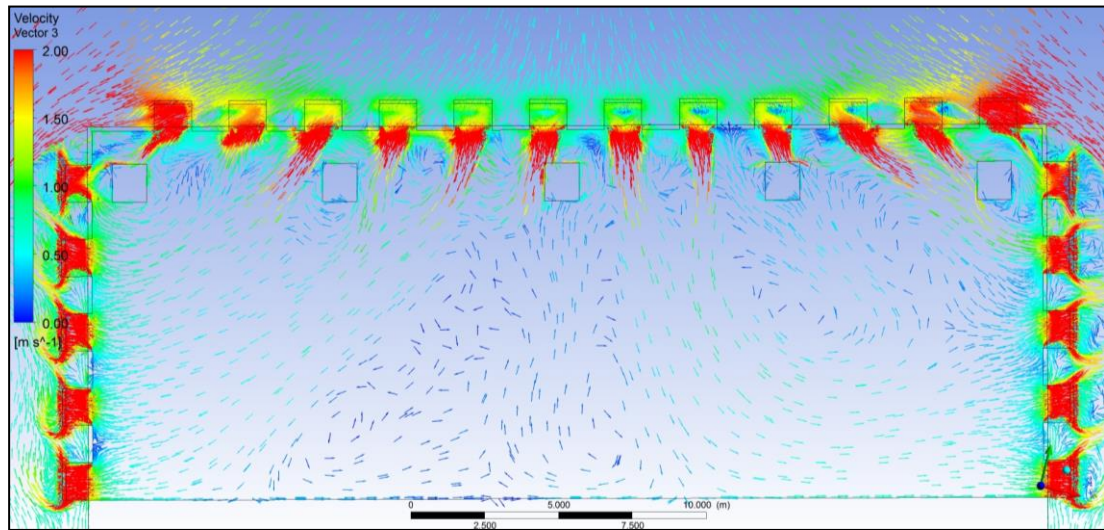


FIGURA 4.29 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

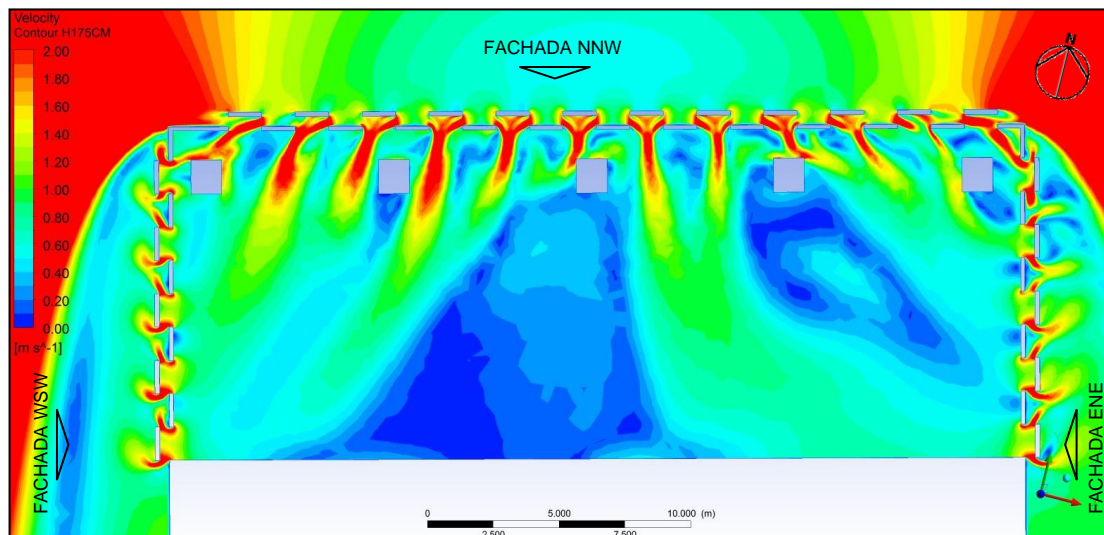


FIGURA 4.30 – *Isovels* no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

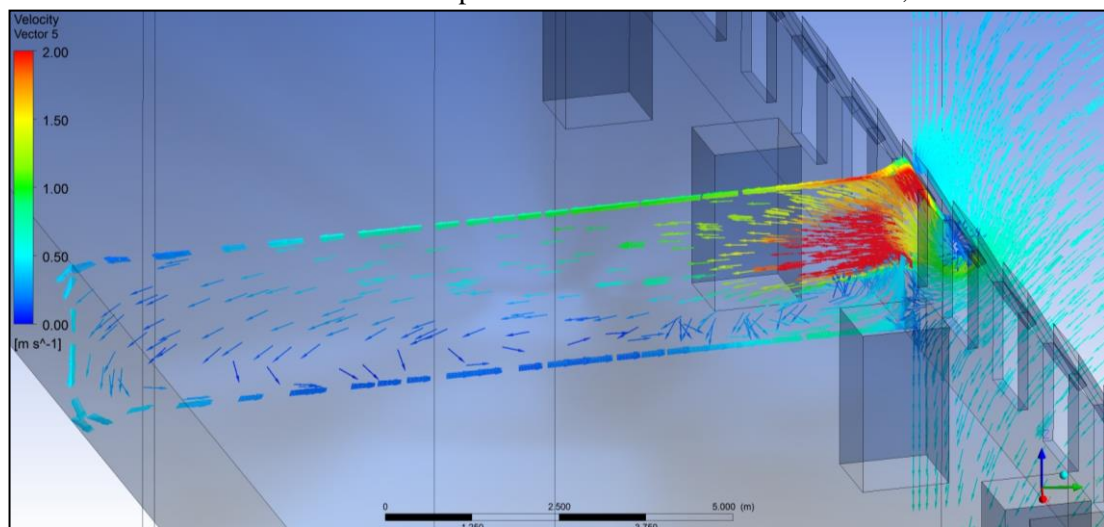



FIGURA 4.31 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Nos pontos de medição, foram observadas velocidades do ar muito baixas, apenas 23 pontos estão dentro da faixa de velocidade 0,6-2,0 m/s (tabela 4.6).

Tabela 4.6 – Velocidade do vento nos pontos de medição (m/s) _ modelo M2-1

P01	0,69	P11	0,55	P21	0,12	P31	0,05	P41	0,08	P51	0,89	P61	0,70	P71	0,48
P02	0,74	P12	0,50	P22	0,86	P32	0,05	P42	0,11	P52	0,81	P62	2,66	P72	0,28
P03	0,76	P13	0,48	P23	0,54	P33	0,13	P43	0,09	P53	0,55	P63	0,44	P73	0,34
P04	0,63	P14	0,63	P24	0,13	P34	0,15	P44	2,05	P54	0,15	P64	0,46	P74	0,46
P05	0,53	P15	0,56	P25	0,03	P35	1,33	P45	0,76	P55	0,37	P65	0,39	P75	0,80
P06	0,42	P16	0,26	P26	0,15	P36	0,27	P46	0,70	P56	0,70	P66	0,64	P76	0,46
P07	0,64	P17	0,53	P27	0,12	P37	0,24	P47	0,53	P57	0,70	P67	0,97	P77	0,38
P08	0,50	P18	0,76	P28	0,05	P38	0,22	P48	0,37	P58	0,46	P68	0,31		
P09	0,47	P19	0,57	P29	0,10	P39	0,15	P49	0,84	P59	0,11	P69	0,10		
P10	0,41	P20	0,28	P30	0,13	P40	0,07	P50	0,92	P60	0,48	P70	0,33		

 < 0,60 m/s  > 2,00 m/s

4.1.2.2 – Resultados do Modelo M2-2

Para esse modelo, a direção do vento corresponde ao azimute de 10° e a velocidade de 2,78 m/s. As janelas são do tipo projetante dispostas de forma alternada com painéis fixos.

A distribuição do fluxo de ar, nas regiões próximas às fachadas e abaixo da cota do peitoril, ocorreu de maneira semelhante ao Modelo M2-1. Os valores da velocidade subiram em função do aumento da velocidade externa. Nos planos horizontais, ocorreu a diminuição de regiões com baixas velocidades em relação ao modelo anterior (figuras 4.32 a 4.35).

Os pontos de medição, com velocidades entre 0,6-2,0 m/s, aumentaram para 39 pontos, quantidade que corresponde a aproximadamente 51% do total (tabela 4.7).

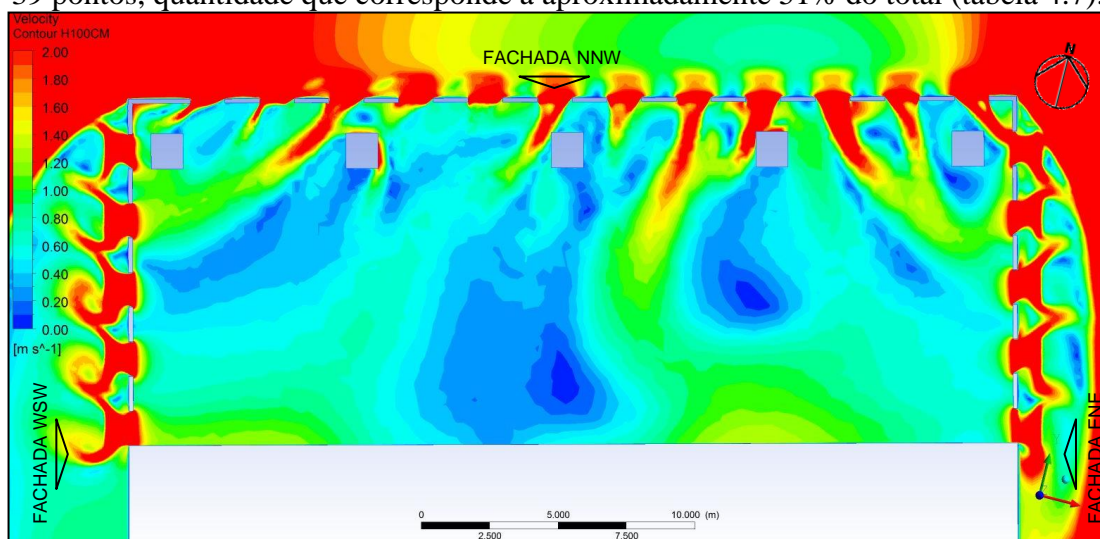


FIGURA 4.32 – Isovels no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

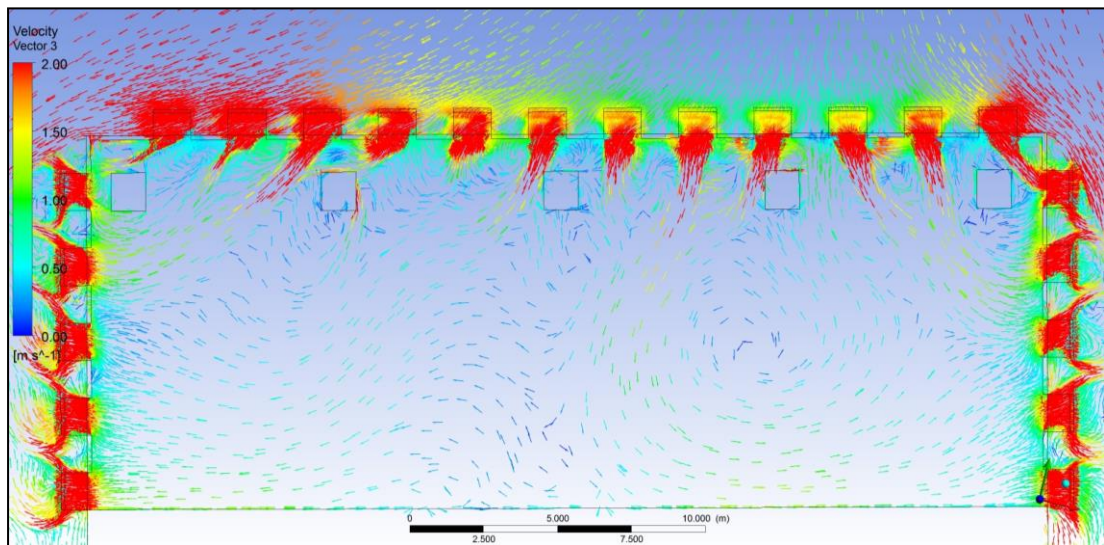


FIGURA 4.33 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

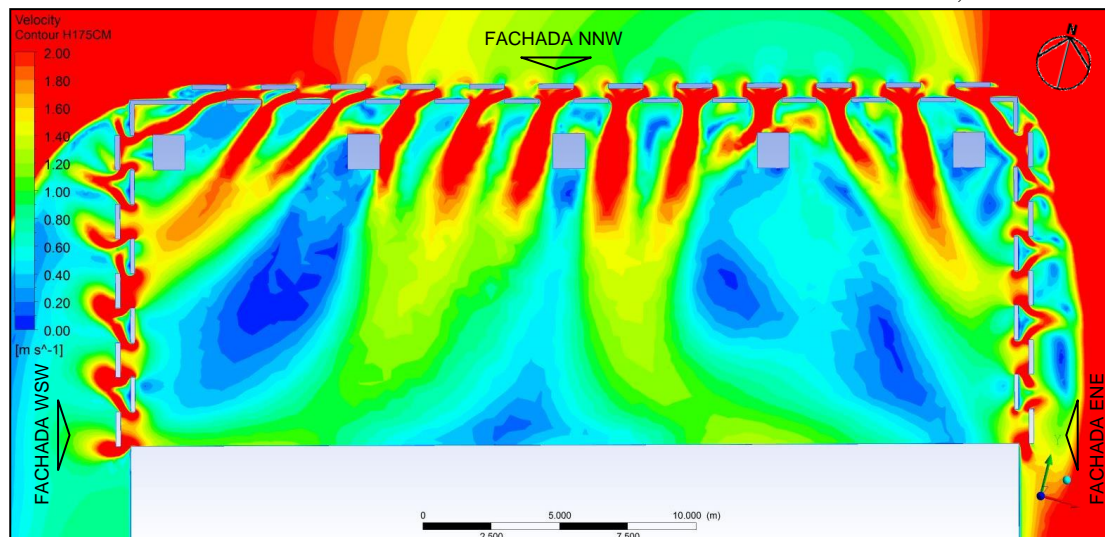


FIGURA 4.34 – Isovets no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

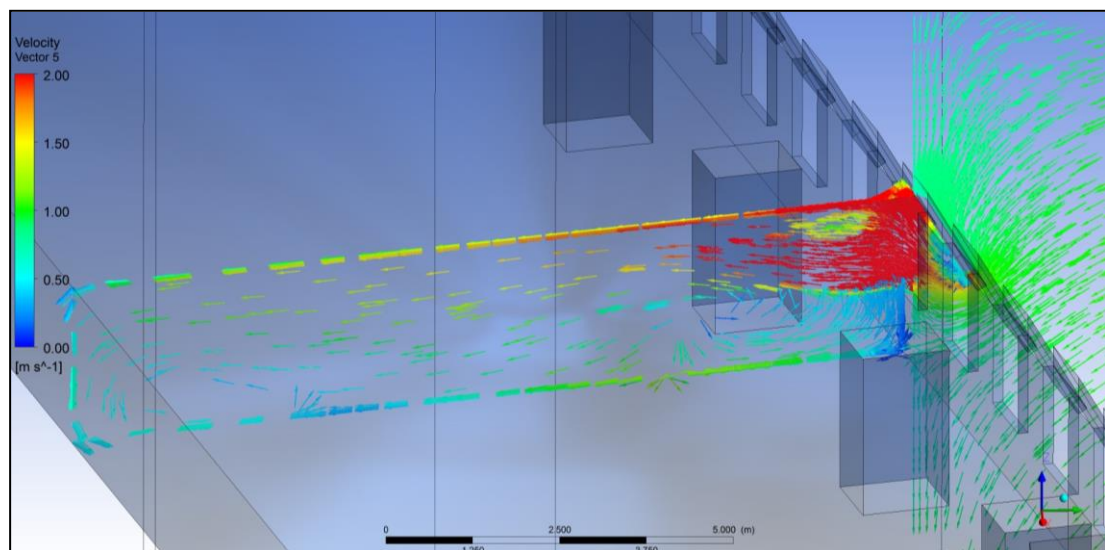


FIGURA 4.35 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

P01	0,84	P11	0,69	P21	0,87	P31	0,32	P41	0,92	P51	0,32	P61	0,76	P71	0,99
P02	1,12	P12	0,31	P22	0,52	P32	0,27	P42	0,87	P52	0,40	P62	3,30	P72	0,87
P03	0,81	P13	0,34	P23	0,65	P33	0,22	P43	0,68	P53	0,78	P63	0,71	P73	0,43
P04	0,25	P14	0,50	P24	0,74	P34	0,19	P44	0,98	P54	0,33	P64	0,58	P74	0,55
P05	0,97	P15	0,64	P25	0,66	P35	2,02	P45	1,53	P55	0,23	P65	0,64	P75	1,11
P06	0,40	P16	1,03	P26	0,60	P36	0,43	P46	1,20	P56	0,71	P66	0,76	P76	0,81
P07	0,27	P17	0,37	P27	0,45	P37	0,25	P47	0,99	P57	0,71	P67	0,69	P77	0,46
P08	0,30	P18	0,50	P28	0,37	P38	0,25	P48	0,90	P58	0,52	P68	1,06		
P09	0,45	P19	0,61	P29	0,29	P39	0,13	P49	2,13	P59	0,48	P69	0,17		
P10	1,03	P20	0,73	P30	0,25	P40	0,76	P50	0,50	P60	0,33	P70	0,53		

< 0,60 m/s
 > 2,00 m/s

4.1.2.3 – Resultados para o Modelo M2-3

Nesse modelo, o azimute do vento é de 160° e sua velocidade é de 5,03 m/s. As janelas são do tipo projetante dispostas de forma alternada com painéis fixos.

Os resultados apontam gradiente de velocidades do ar baixo (figuras 4.36 a 4.38), porém, em todos os pontos de medição, os seus valores estão abaixo de 0,6 m/s (tabela 4.7). Do mesmo modo, que os modelos M2-1 e M2-2, a direção dos vetores é influenciada pelo ângulo de abertura da janela projetante (figura 4.45).

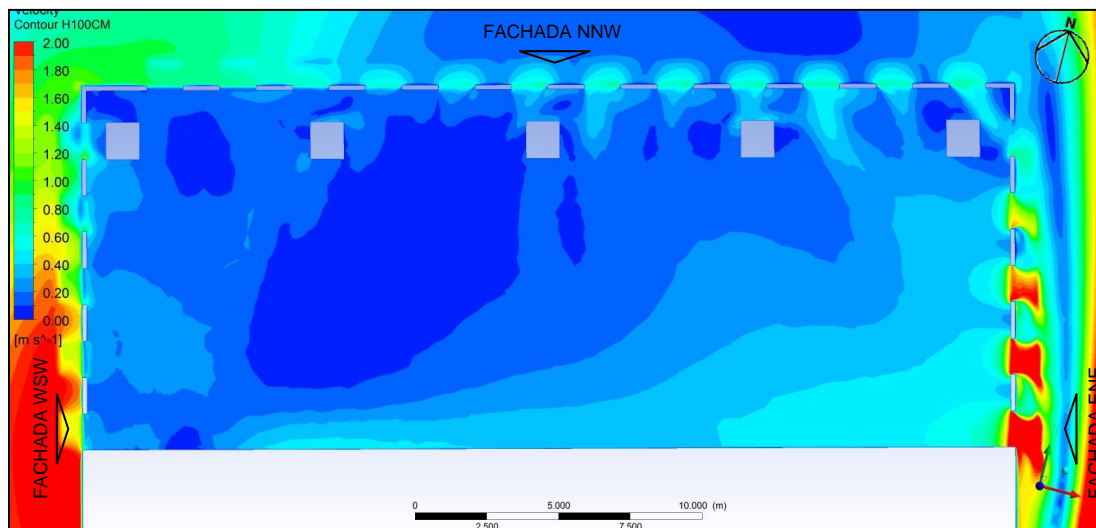


FIGURA 4.36 – Isovels no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

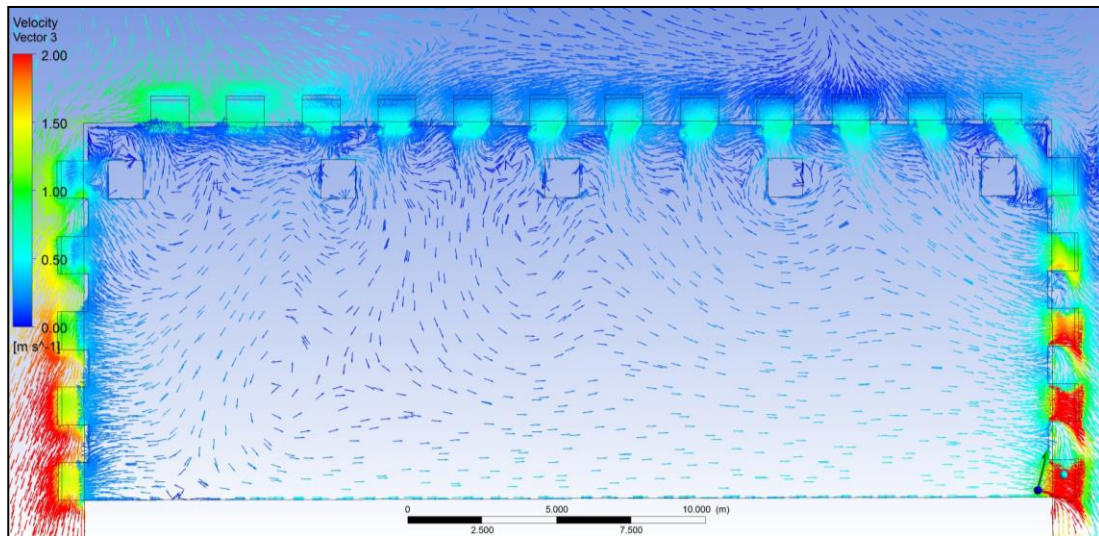


FIGURA 4.37 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

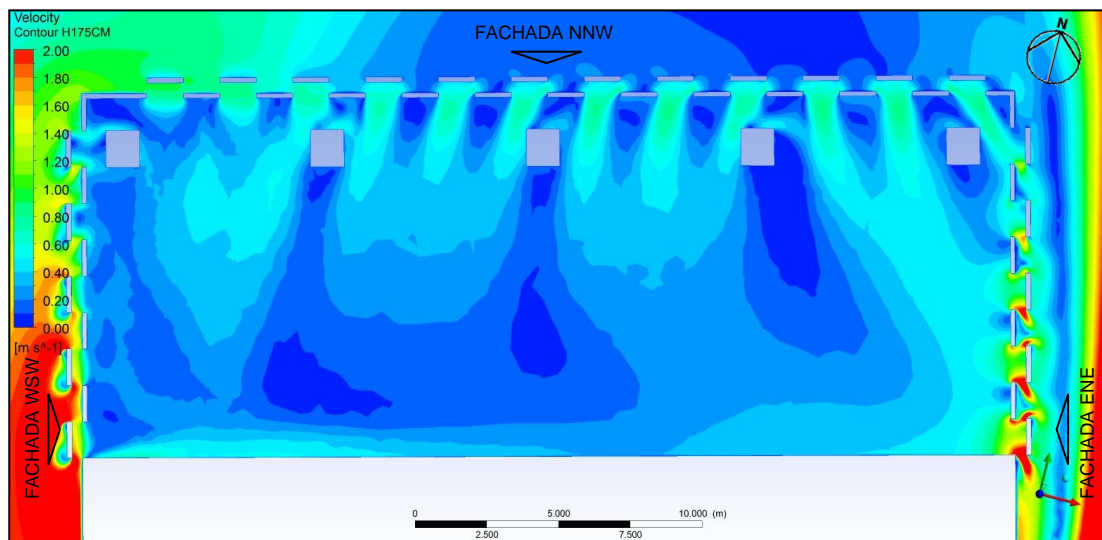


FIGURA 4.38 – Isovels no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

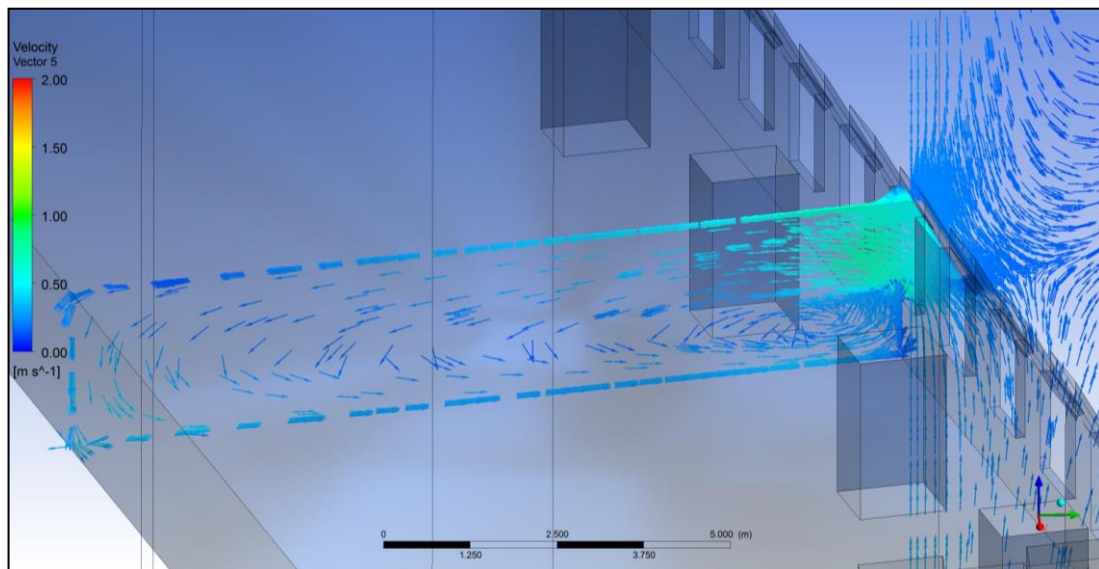


FIGURA 4.39 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

P01	0,21	P11	0,15	P21	0,29	P31	0,09	P41	0,10	P51	0,20	P61	0,32	P71	0,32
P02	0,19	P12	0,22	P22	0,09	P32	0,09	P42	0,13	P52	0,22	P62	0,45	P72	0,37
P03	0,12	P13	0,17	P23	0,05	P33	0,11	P43	0,18	P53	0,26	P63	0,15	P73	0,37
P04	0,22	P14	0,11	P24	0,04	P34	0,16	P44	0,24	P54	0,18	P64	0,18	P74	0,39
P05	0,18	P15	0,13	P25	0,05	P35	0,13	P45	0,17	P55	0,21	P65	0,25	P75	0,38
P06	0,10	P16	0,24	P26	0,30	P36	0,12	P46	0,16	P56	0,30	P66	0,33	P76	0,40
P07	0,17	P17	0,10	P27	0,09	P37	0,10	P47	0,18	P57	0,30	P67	0,15	P77	0,36
P08	0,20	P18	0,06	P28	0,08	P38	0,12	P48	0,22	P58	0,17	P68	0,32		
P09	0,21	P19	0,04	P29	0,08	P39	0,16	P49	0,29	P59	0,20	P69	0,30		
P10	0,12	P20	0,06	P30	0,14	P40	0,12	P50	0,18	P60	0,26	P70	0,30		



4.1.2.4 – Resultados para o Modelo M2-4

Para esse modelo, a tipologia de janela testada é a ‘de correr’, e o vento incide na direção Norte, com velocidade de 2,12 m/s. Nesta tipologia, a qual permite apenas a abertura da metade do vão, ocorre a formação de vórtices na região posterior à parte fechada, enquanto, na parte aberta, ocorre jatos de ar com velocidades superiores à 2 m/s (figuras 4.40 a 4.42). De uma forma geral, este modelo apresentou velocidades superiores ao modelo M2-1, devido a maior área efetiva de abertura.

Essa janela quase não permite o direcionamento do fluxo de ar. Na figura 4.43, observa-se que parte do fluxo descendente, junto à fachada, ao penetrar no ambiente, é direcionada para região abaixo do peitoril. Isso explica a razão das velocidades no plano PH1, serem superiores as velocidades dos outros planos horizontais, localizados em cotas mais altas.

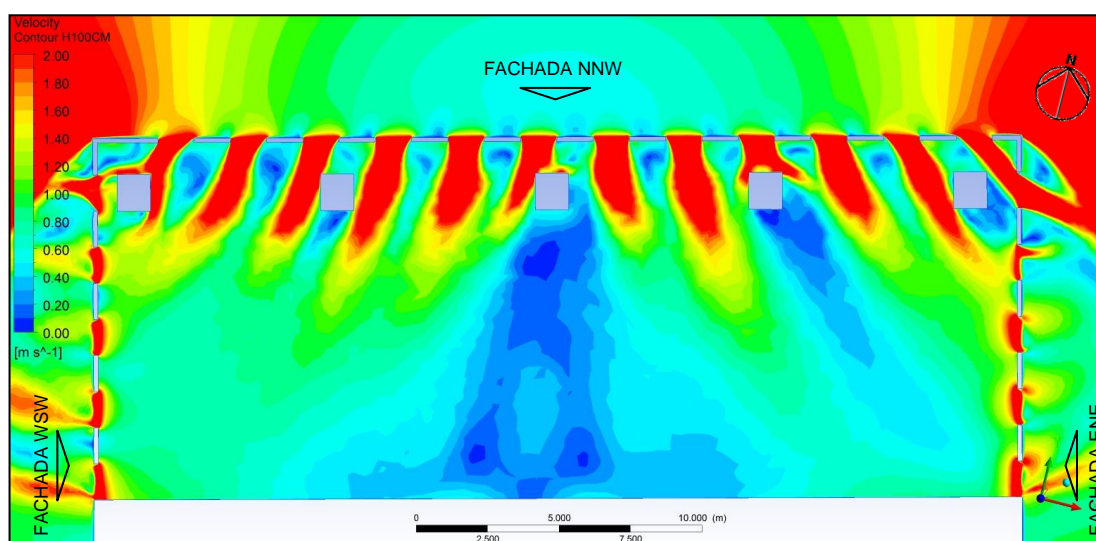


FIGURA 4.40 – *Isovels* no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

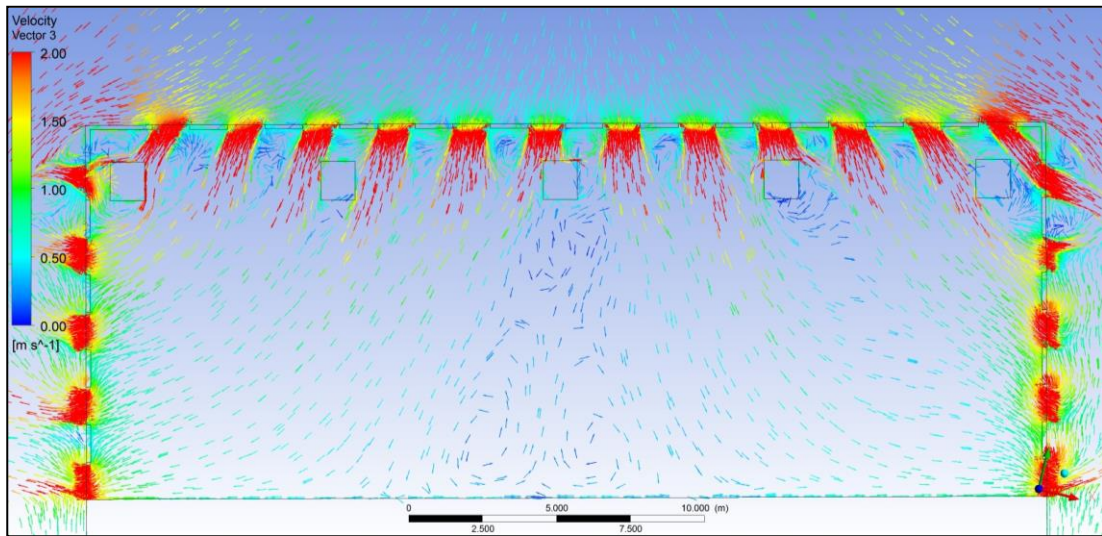


FIGURA 4.41 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

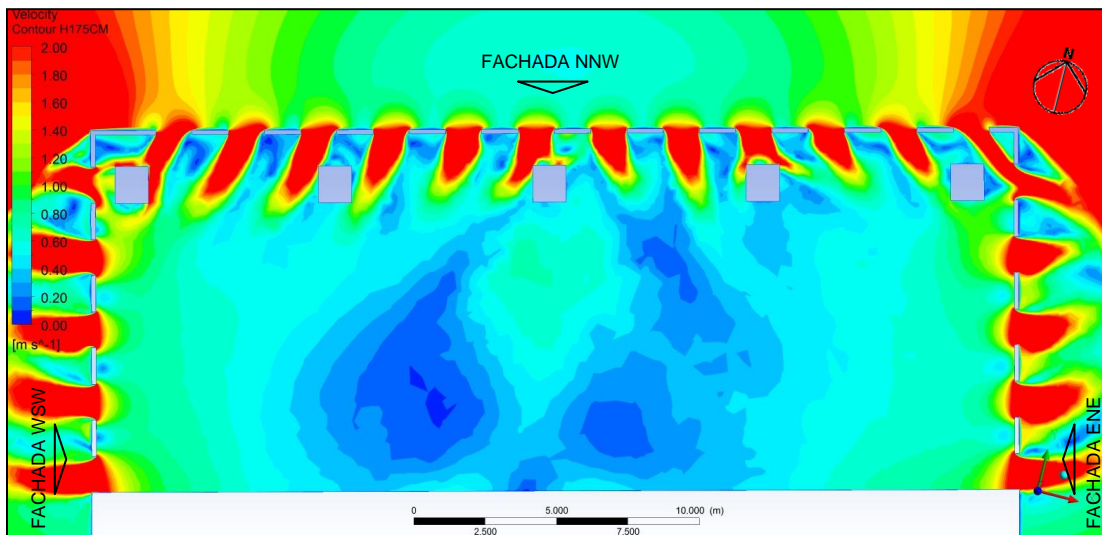


FIGURA 4.42 – *Isovels* no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

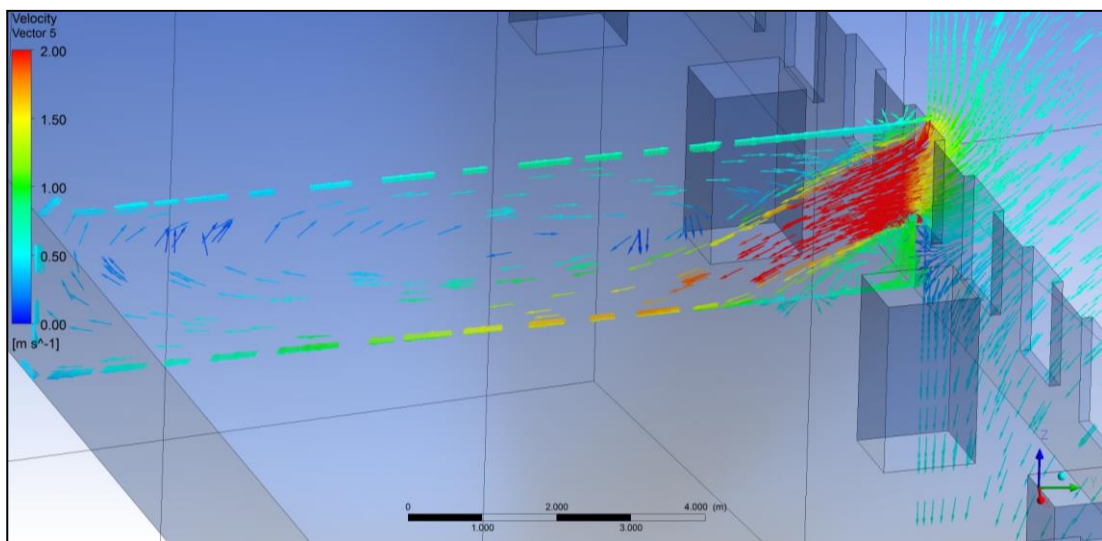



FIGURA 4.43 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Nos pontos de medição, os resultados apontam que 41 pontos, cerca de 53% do total, estão dentro da faixa de velocidade considerada ideal (tabela 4.9).

Tabela 4.9 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M2-4

P01	0,96	P11	1,73	P21	0,50	P31	0,46	P41	0,25	P51	0,67	P61	0,69	P71	1,20
P02	1,19	P12	0,98	P22	1,08	P32	0,32	P42	0,27	P52	0,46	P62	2,75	P72	0,91
P03	1,14	P13	0,79	P23	0,83	P33	0,28	P43	0,30	P53	0,39	P63	0,25	P73	0,75
P04	0,76	P14	0,81	P24	0,71	P34	0,11	P44	2,49	P54	1,32	P64	0,34	P74	0,51
P05	0,87	P15	0,72	P25	0,52	P35	2,11	P45	0,80	P55	1,05	P65	0,47	P75	1,41
P06	0,30	P16	0,66	P26	0,38	P36	0,08	P46	0,52	P56	0,53	P66	0,56	P76	1,26
P07	0,81	P17	0,89	P27	1,00	P37	0,13	P47	0,43	P57	0,53	P67	0,27	P77	0,98
P08	0,76	P18	0,96	P28	0,67	P38	0,23	P48	0,39	P58	0,42	P68	1,06		
P09	0,76	P19	0,83	P29	0,44	P39	0,36	P49	1,64	P59	0,64	P69	0,78		
P10	0,77	P20	0,63	P30	0,42	P40	0,19	P50	0,96	P60	0,74	P70	0,49		

 < 0,60 m/s  > 2,00 m/s

4.1.2.5 – Resultados para o Modelo M2-5

Nesse modelo, o vento incidente corresponde ao azimute de 10° e sua velocidade é de 2,78 m/s. A tipologia de janela testada é a ‘de correr’.

A distribuição do fluxo ocorreu de forma semelhante entre os seus planos horizontais. As velocidades do ar mostraram-se maiores junto às aberturas, enquanto, a presença de vórtices ocorreu no meio do escritório e nas regiões posteriores aos pilares e aos vãos fechados das janelas (figuras 4.44 a 4.46).

Em relação ao modelo M2-4, as velocidades do ar foram maiores, devido ao aumento da velocidade externa, e os jatos de ar formados nas aberturas atingiram maior profundidade. Em relação ao modelo M2-2, que incide o vento na mesma direção, este modelo apresentou aumento de velocidades, devido à área efetiva de abertura da janela de correr ser maior que a área da janela projetante.

O número de pontos de registro, com velocidades entre 0,6 m/s e 2,0 m/s, cresceu para 56, que corresponde a aproximadamente 73% do total (tabela 4.10).

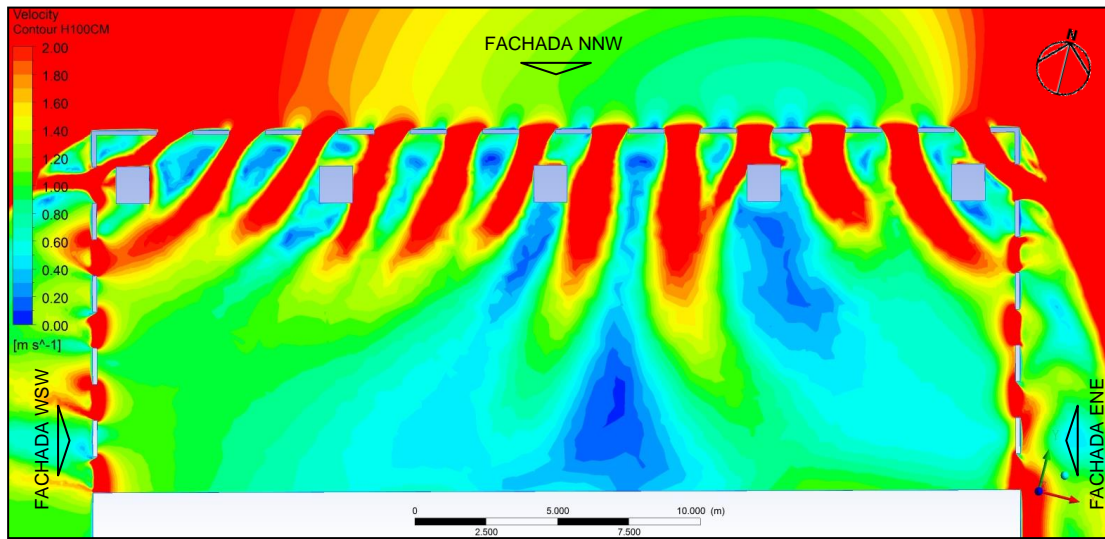


FIGURA 4.44 – *Isovels* no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

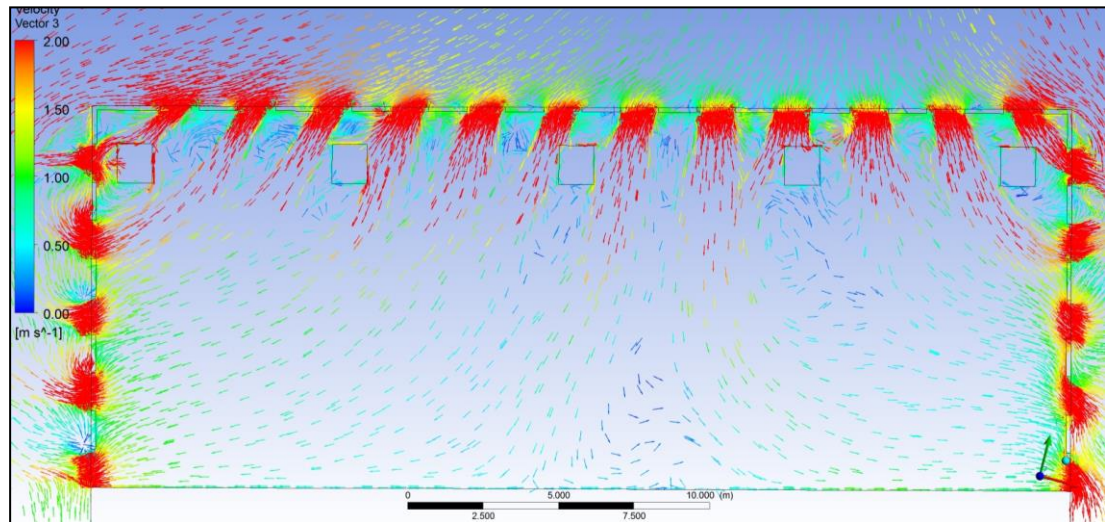


FIGURA 4.45 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

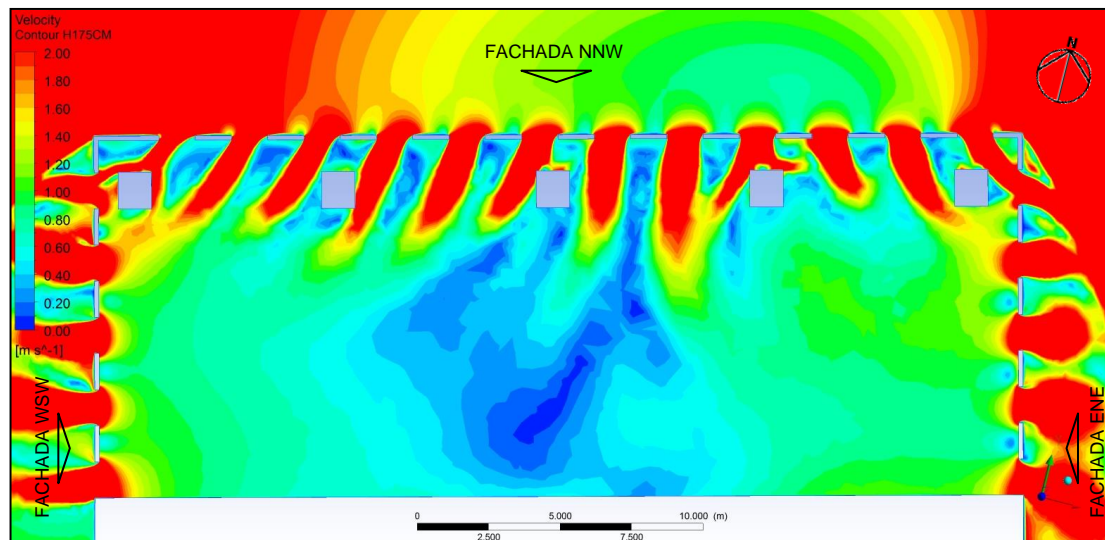


FIGURA 4.46 – *Isovels* no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

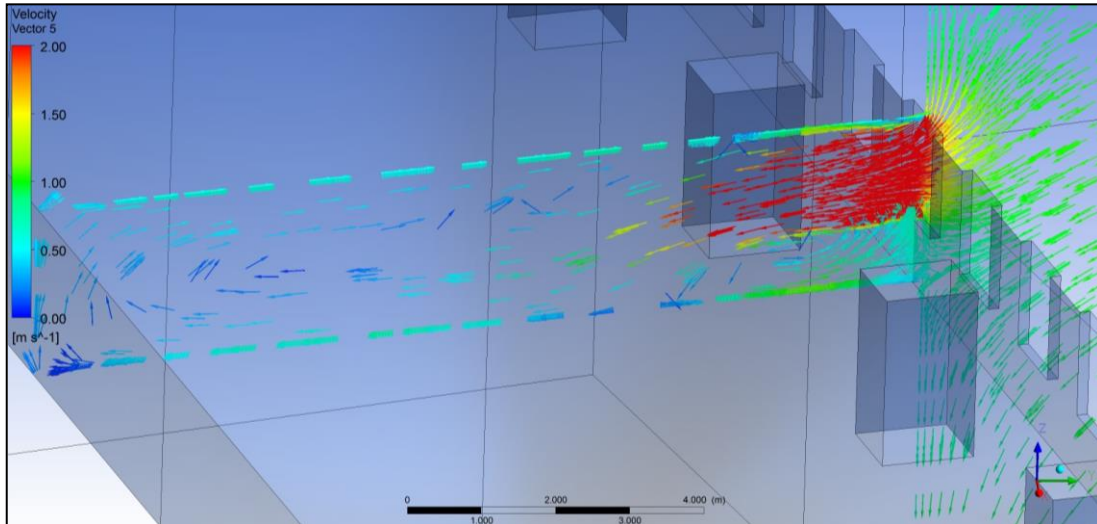


FIGURA 4.47 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Tabela 4.10 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M2-5

P01	1,30	P11	0,55	P21	0,68	P31	0,68	P41	0,84	P51	1,61	P61	0,74	P71	1,86
P02	1,53	P12	0,71	P22	1,18	P32	0,44	P42	0,42	P52	1,21	P62	2,97	P72	0,77
P03	1,36	P13	0,99	P23	1,08	P33	0,46	P43	0,14	P53	0,79	P63	0,59	P73	0,61
P04	1,01	P14	0,94	P24	0,78	P34	0,49	P44	1,01	P54	0,44	P64	0,18	P74	0,59
P05	1,04	P15	0,87	P25	0,62	P35	3,20	P45	0,76	P55	0,56	P65	0,41	P75	1,66
P06	0,25	P16	0,81	P26	0,58	P36	0,57	P46	0,72	P56	0,97	P66	0,51	P76	1,21
P07	1,14	P17	1,45	P27	1,00	P37	1,10	P47	0,44	P57	0,97	P67	1,28	P77	0,86
P08	0,88	P18	1,07	P28	0,70	P38	0,96	P48	0,22	P58	0,15	P68	0,79		
P09	0,96	P19	0,89	P29	0,48	P39	0,71	P49	2,96	P59	0,22	P69	0,63		
P10	0,92	P20	0,77	P30	0,41	P40	1,80	P50	1,97	P60	0,46	P70	0,59		

< 0,60 m/s

> 2,00 m/s

4.1.2.6 – Resultados para o Modelo M2-6

O vento, nesse modelo, incide no azimute 160° com velocidade de 5,03 m/s.

A janela analisada é do tipo ‘de correr’.

Os gráficos mostram a ocorrência de velocidades ligeiramente superiores na região próxima à fachada ENE, em relação ao modelo M2-3 (figuras 4.48 a 4.50). No entanto, os resultados indicam velocidades abaixo de 0,6 m/s em quase todas as regiões. Nos pontos de registro, apenas três estão dentro da faixa de velocidades adequadas para promover a sensação de conforto higrotérmico (tabela 4.11).

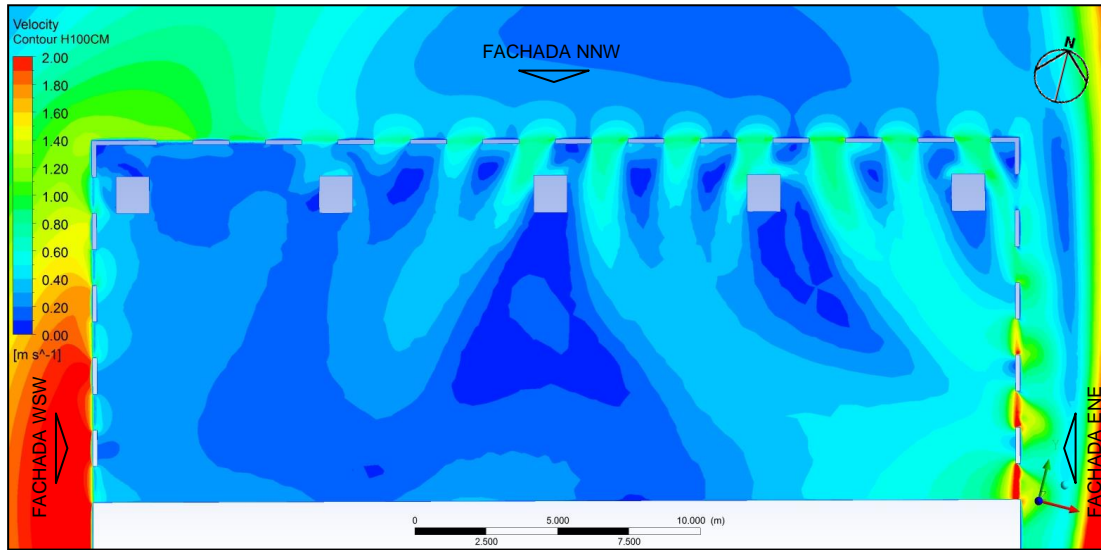


FIGURA 4.48 – *Isovels* no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

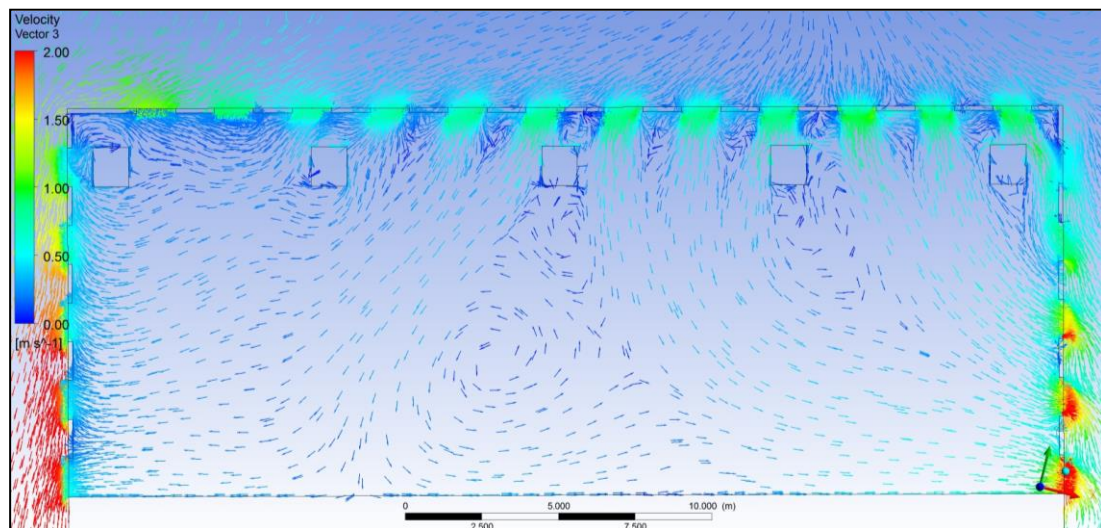


FIGURA 4.49 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

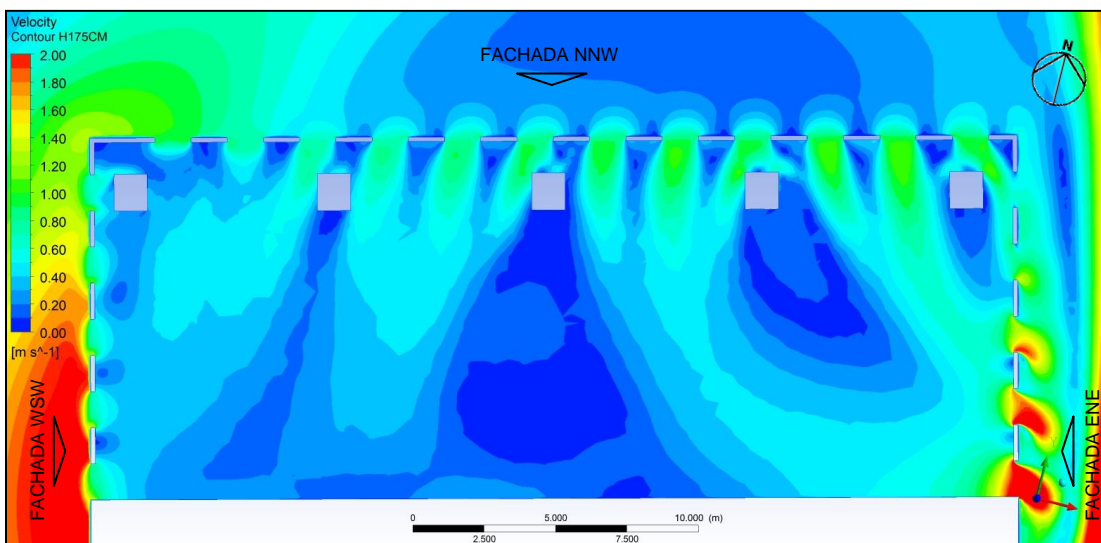


FIGURA 4.50 – *Isovels* no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

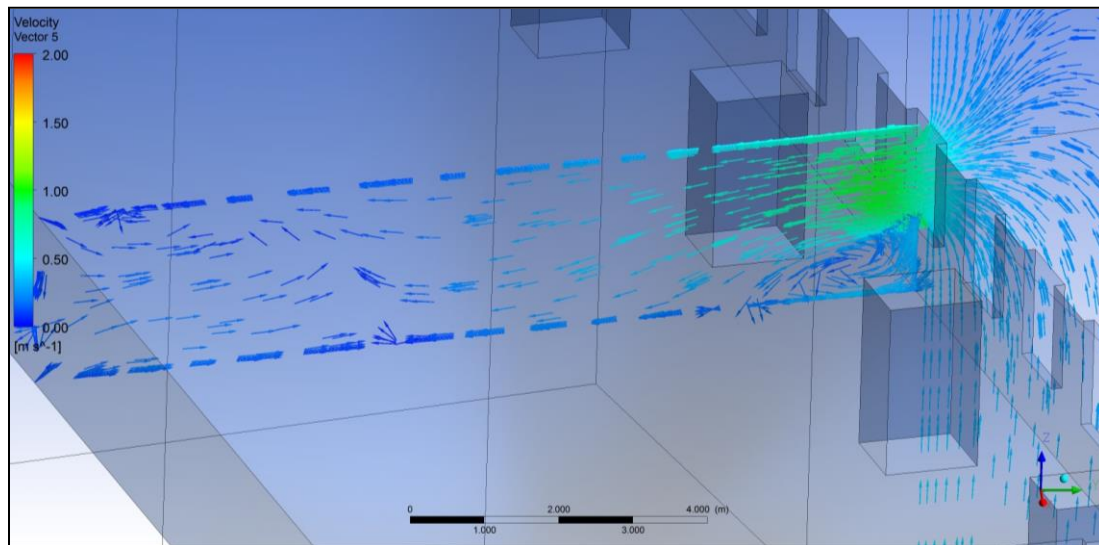


FIGURA 4.51 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Tabela 4.11 – Velocidade do vento nos pontos de medição (m/s) _ modelo M2-6

P01	0,28	P11	0,16	P21	0,17	P31	0,16	P41	0,17	P51	0,36	P61	0,40	P71	0,47
P02	0,31	P12	0,21	P22	0,26	P32	0,09	P42	0,04	P52	0,35	P62	0,80	P72	0,58
P03	0,27	P13	0,18	P23	0,27	P33	0,02	P43	0,10	P53	0,29	P63	0,09	P73	0,45
P04	0,28	P14	0,15	P24	0,27	P34	0,16	P44	0,40	P54	0,31	P64	0,08	P74	0,45
P05	0,26	P15	0,14	P25	0,19	P35	0,67	P45	0,33	P55	0,30	P65	0,25	P75	0,33
P06	0,16	P16	0,21	P26	0,12	P36	0,08	P46	0,32	P56	0,38	P66	0,39	P76	0,53
P07	0,23	P17	0,17	P27	0,36	P37	0,12	P47	0,23	P57	0,38	P67	0,42	P77	0,49
P08	0,24	P18	0,18	P28	0,29	P38	0,08	P48	0,13	P58	0,07	P68	0,53		
P09	0,22	P19	0,19	P29	0,17	P39	0,12	P49	0,69	P59	0,16	P69	0,44		
P10	0,23	P20	0,14	P30	0,15	P40	0,30	P50	0,34	P60	0,32	P70	0,28		

< 0,60 m/s
 > 2,00 m/s

4.1.2.7 – Resultados para o Modelo M2-7

A tipologia de janela testada nesse modelo refere-se à janela projetante. Os dados do vento adotados na simulação são direção norte e velocidade de 2,12 m/s.

A distribuição do fluxo de ar aparece de maneira mais homogênea nos planos horizontais, do que nos modelos anteriores. O motivo está relacionado aos vãos das janelas estarem todos abertos, assim, não há formação de jatos de ar nas proximidades das aberturas (figuras 4.52 a 4.54).

No plano vertical, o fluxo é direcionado para cima em virtude do ângulo de inclinação da folha da janela, ainda que o fluxo seja descendente na fachada NNW. Essa condição resulta em velocidades menores nos planos inferiores (figura 4.55).

Os pilares intermediários favorecem a formação de vórtices e jatos de ar em função das suas geometrias.

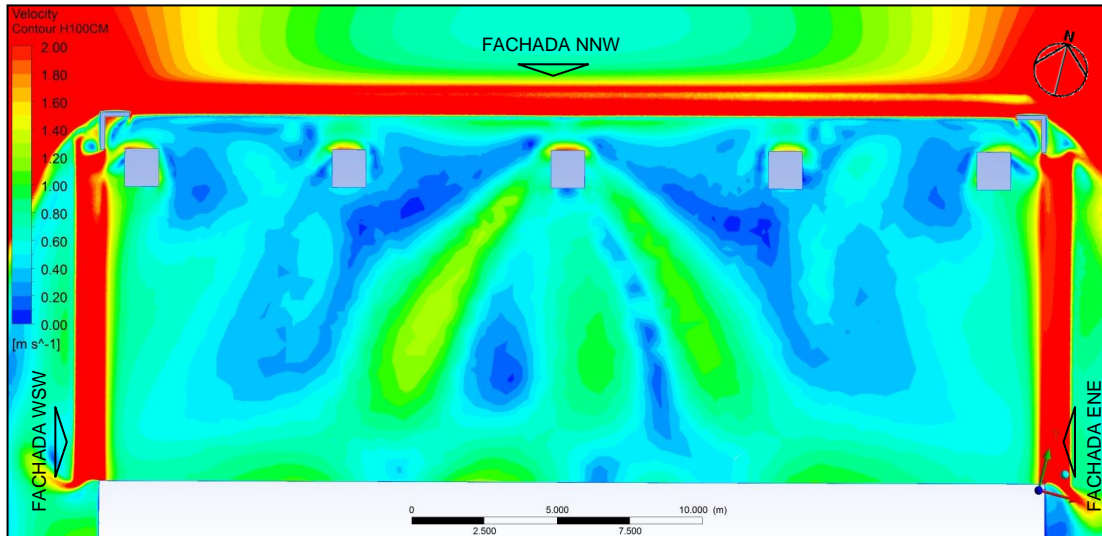


FIGURA 4.52 – *Isovels* no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

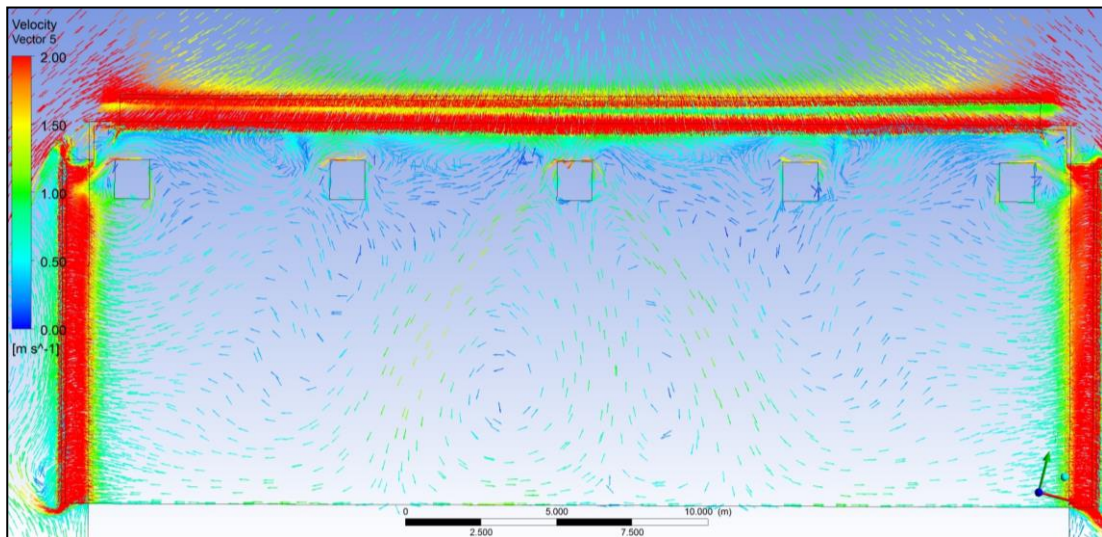


FIGURA 4.53 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

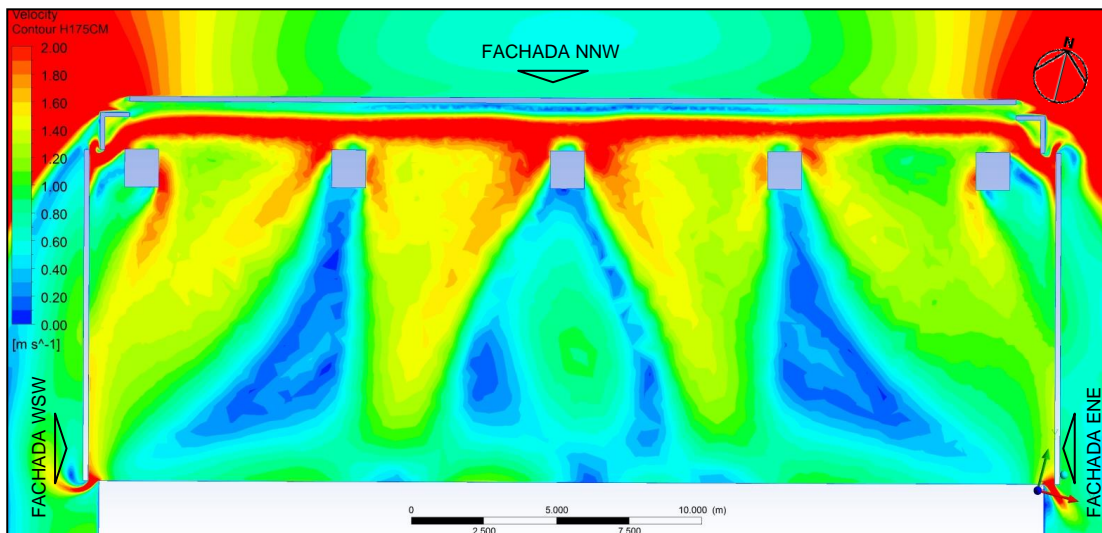


FIGURA 4.54 – *Isovels* no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

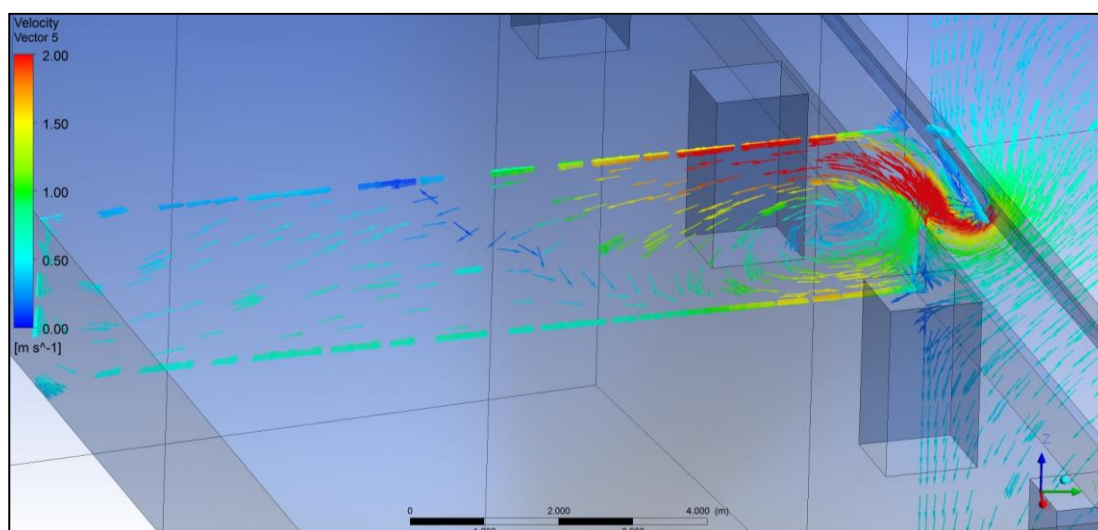


FIGURA 4.55 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Embora essa tipologia permita maior número de vãos abertos, houve ligeiro declínio no número de pontos de registo dentro da faixa de velocidade 0,6 a 2,0 m/s em comparação ao modelo M2-4. As causas podem estar relacionadas à posição dessas folhas em relação ao fluxo, ou ainda, a localização das maiores velocidades acima da altura desses pontos.

Tabela 4.12 – Velocidade do vento nos pontos de medição (m/s) _ modelo M2-7

P01	0,72	P11	0,33	P21	0,79	P31	0,67	P41	0,74	P51	0,88	P61	0,38	P71	0,48
P02	0,75	P12	0,36	P22	0,36	P32	0,33	P42	0,89	P52	1,08	P62	0,43	P72	0,60
P03	0,61	P13	0,27	P23	0,74	P33	0,17	P43	0,89	P53	0,99	P63	0,29	P73	0,63
P04	0,72	P14	0,31	P24	0,93	P34	0,35	P44	0,48	P54	0,29	P64	0,26	P74	0,52
P05	0,68	P15	0,33	P25	0,87	P35	0,64	P45	1,05	P55	0,40	P65	0,30	P75	0,85
P06	0,32	P16	0,86	P26	0,61	P36	0,67	P46	0,85	P56	0,79	P66	0,32	P76	0,74
P07	0,63	P17	0,43	P27	1,14	P37	0,74	P47	0,35	P57	0,79	P67	0,34	P77	0,73
P08	0,51	P18	0,31	P28	1,26	P38	0,76	P48	0,11	P58	0,40	P68	0,47		
P09	0,38	P19	0,23	P29	0,79	P39	0,77	P49	0,43	P59	0,40	P69	0,55		
P10	0,76	P20	0,50	P30	0,57	P40	0,31	P50	0,44	P60	0,25	P70	0,49		

< 0,60 m/s > 2,00 m/s

4.1.2.8 – Resultados para o Modelo M2-8

Nesse modelo, com orientação do vento no azimute 10° e velocidade de 2,78 m/s, por influência das janelas projetantes, o fluxo de ar distribui-se de maneira análoga ao modelo anterior. Contudo, em relação ao Modelo M2-5, que possui mesma orientação do vento, os valores da velocidade do ar, nos pontos de registo, diminuíram significativamente. O número de pontos com velocidade ideal reduziu

para 39, quantidade correspondente ao modelo M2-2, que possui a metade da área de aberturas.

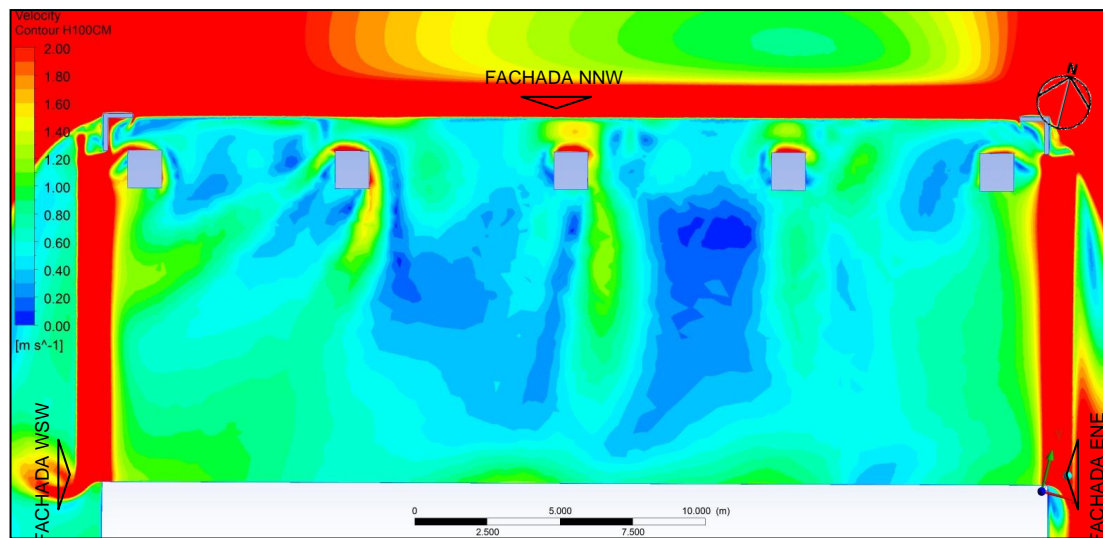


FIGURA 4.56 – Isovels no plano PH1.

Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

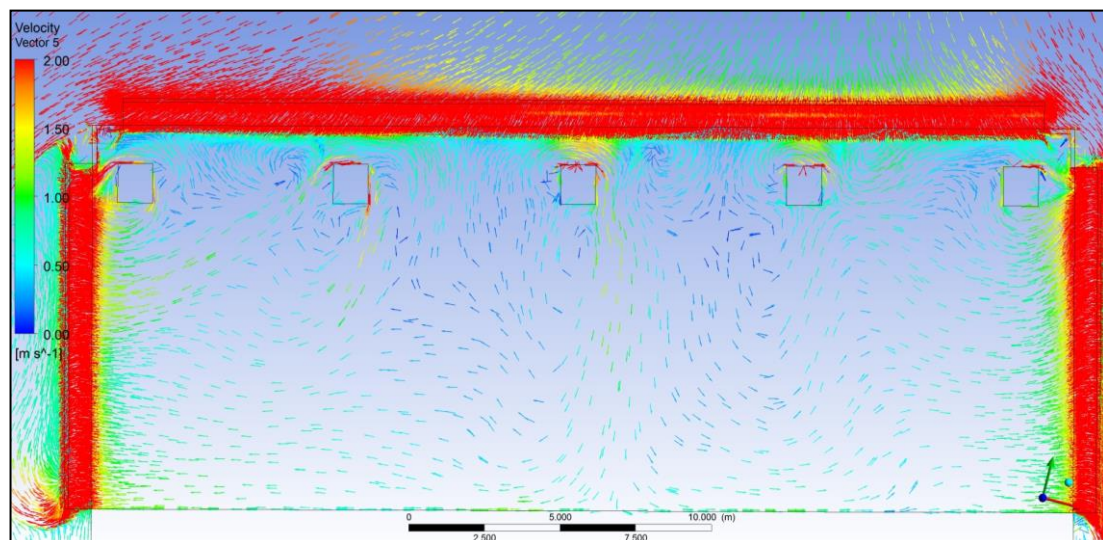


FIGURA 4.57 – Vetores de velocidade no PH1.

Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

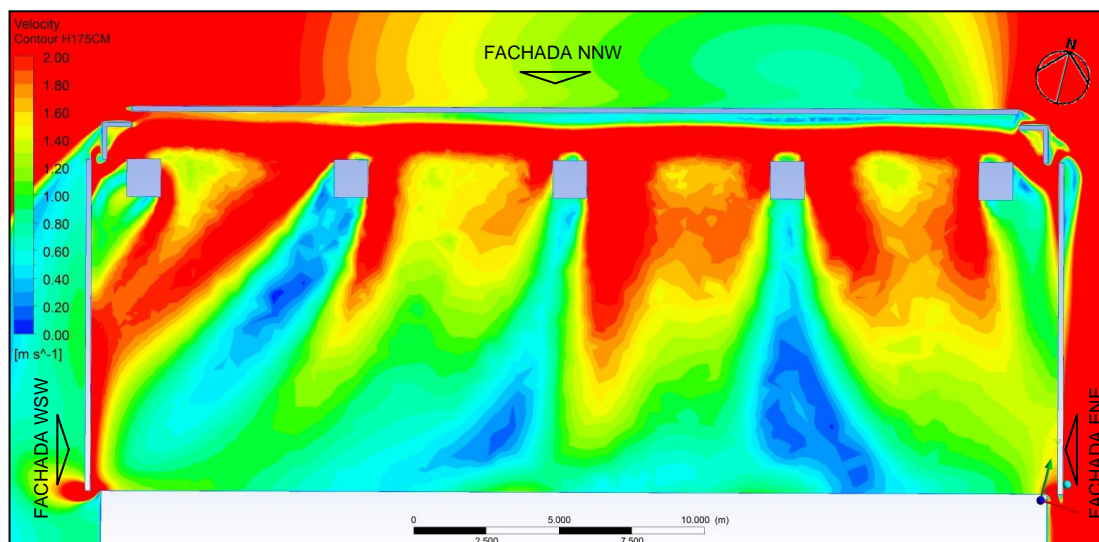


FIGURA 4.58 – Isovels no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

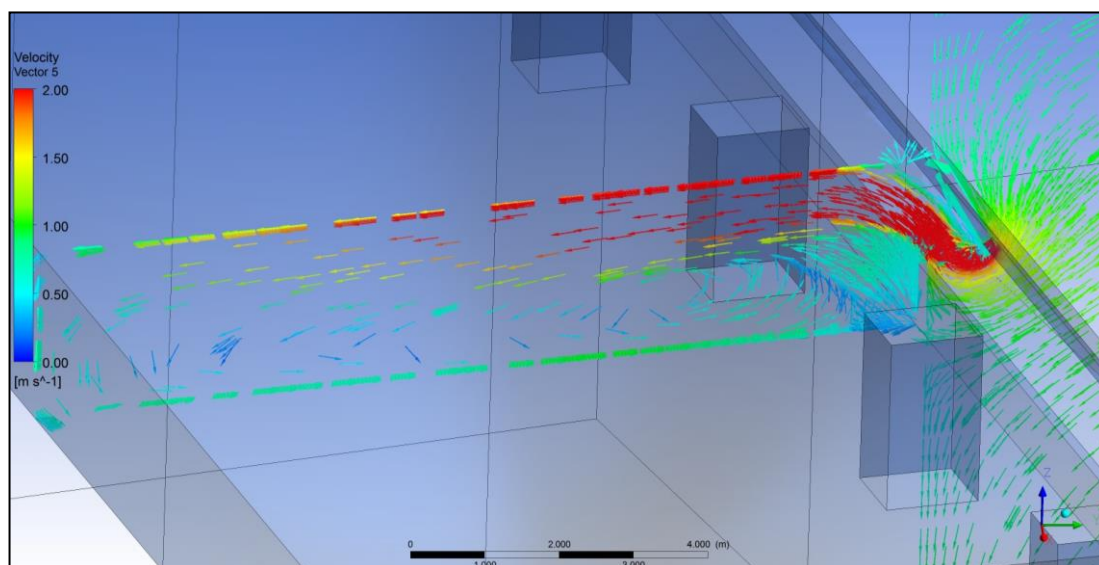


FIGURA 4.59 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Tabela 4.13 – Velocidade do vento nos pontos de medição (m/s) _ modelo M2-8

P01	0,89	P11	0,45	P21	0,72	P31	0,24	P41	1,13	P51	0,29	P61	0,54	P71	0,68
P02	1,11	P12	0,36	P22	0,82	P32	0,25	P42	0,90	P52	0,25	P62	0,82	P72	0,77
P03	1,14	P13	0,52	P23	0,40	P33	0,30	P43	0,71	P53	0,32	P63	0,67	P73	0,81
P04	0,87	P14	0,72	P24	0,39	P34	0,33	P44	0,16	P54	0,15	P64	0,50	P74	0,80
P05	1,00	P15	0,82	P25	0,56	P35	0,45	P45	0,31	P55	0,30	P65	0,40	P75	1,21
P06	0,40	P16	0,87	P26	0,61	P36	0,15	P46	0,37	P56	0,31	P66	0,45	P76	1,05
P07	0,73	P17	0,66	P27	0,17	P37	0,33	P47	0,35	P57	0,31	P67	0,57	P77	1,04
P08	0,47	P18	0,79	P28	0,21	P38	0,50	P48	0,31	P58	0,67	P68	0,56		
P09	0,61	P19	0,71	P29	0,33	P39	0,53	P49	0,42	P59	0,62	P69	0,69		
P10	0,96	P20	0,73	P30	0,38	P40	1,26	P50	0,18	P60	0,61	P70	0,75		

< 0,60 m/s

> 2,00 m/s

4.1.2.9 – Resultados para o Modelo M2-9

Nesse modelo foi utilizada a mesma tipologia de janela dos dois modelos anteriores, porém o vento incide no azimute 160° com velocidades de 5,03 m/s.

Assim como, os demais modelos (M2-3, M2-6), em que o fluxo de ar penetra nas aberturas localizadas na fachada a sota-vento, esse modelo apresentou, em quase todas as regiões, velocidades do ar muito baixas para promover a sensação de conforto higrotérmico no usuário (figuras 4.60 a 4.62) (tabela 4.14).

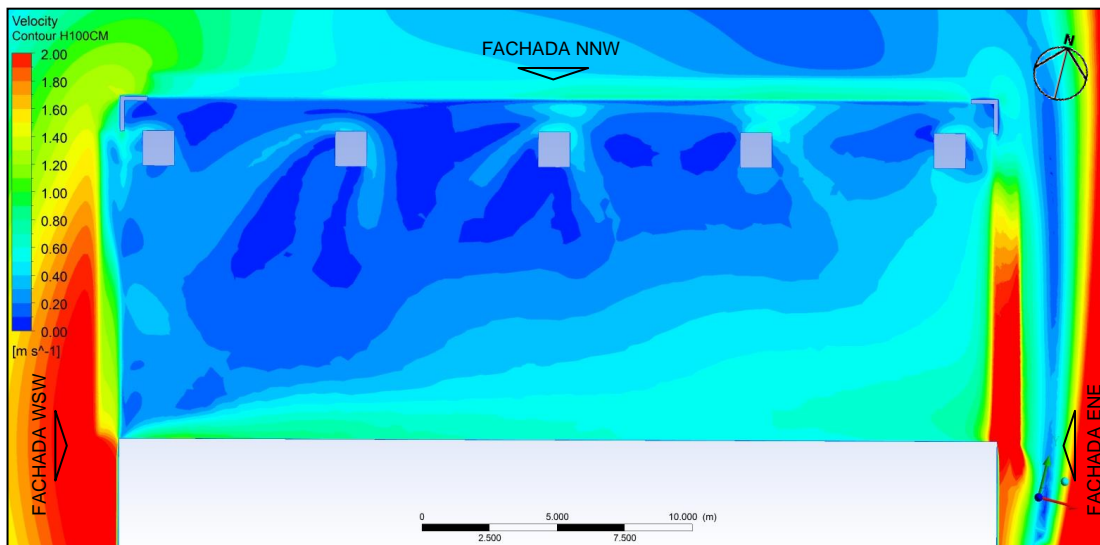


FIGURA 4.60 – Isovels no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

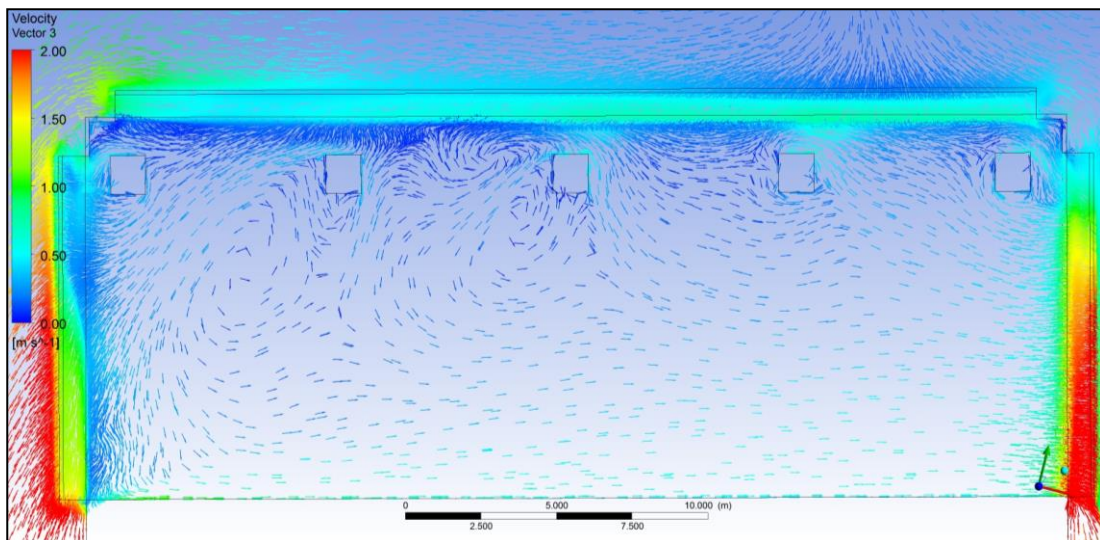


FIGURA 4.61 – Vetores de velocidade no PHI. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

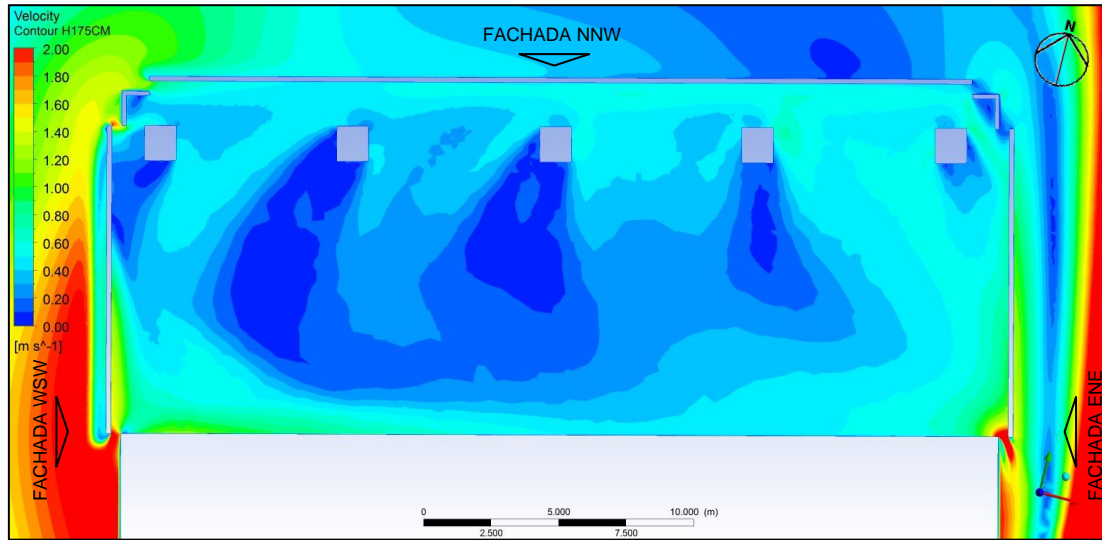


FIGURA 4.62 – Isovels no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

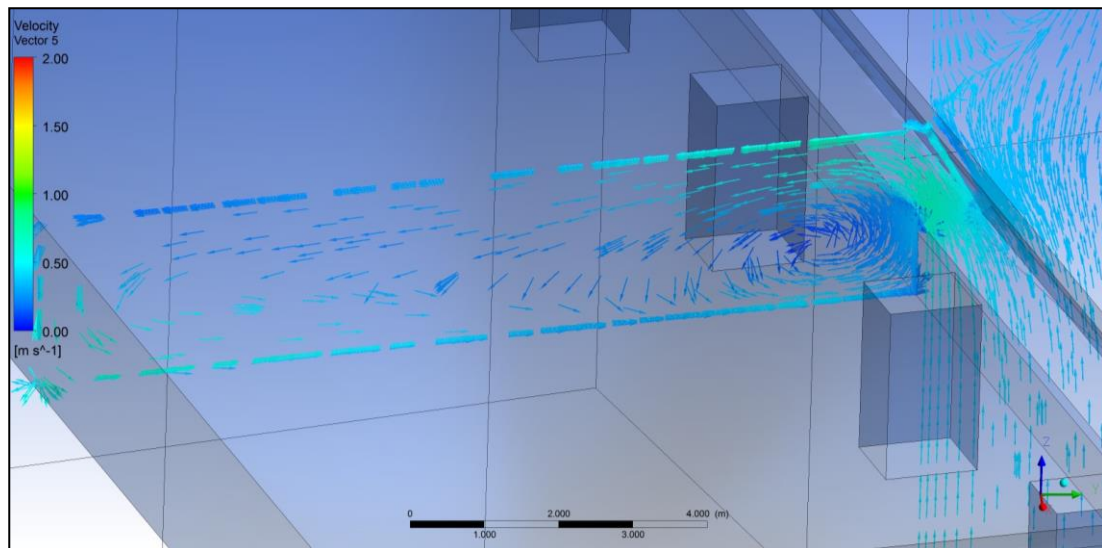


FIGURA 4.63 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Tabela 4.14 – Velocidade do vento nos pontos de medição (m/s) _ modelo M2-9

P01	0,24	P11	0,13	P21	0,61	P31	0,08	P41	0,17	P51	0,25	P61	0,48	P71	0,40
P02	0,28	P12	0,06	P22	0,21	P32	0,20	P42	0,27	P52	0,35	P62	0,27	P72	0,45
P03	0,26	P13	0,13	P23	0,13	P33	0,28	P43	0,36	P53	0,43	P63	0,27	P73	0,49
P04	0,23	P14	0,14	P24	0,16	P34	0,37	P44	0,16	P54	0,18	P64	0,27	P74	0,55
P05	0,40	P15	0,14	P25	0,21	P35	0,25	P45	0,18	P55	0,26	P65	0,36	P75	0,51
P06	0,10	P16	0,64	P26	0,60	P36	0,11	P46	0,23	P56	0,47	P66	0,48	P76	0,56
P07	0,15	P17	0,07	P27	0,11	P37	0,16	P47	0,31	P57	0,47	P67	0,21	P77	0,60
P08	0,08	P18	0,05	P28	0,19	P38	0,26	P48	0,39	P58	0,18	P68	0,35		
P09	0,12	P19	0,11	P29	0,27	P39	0,34	P49	0,16	P59	0,25	P69	0,39		
P10	0,56	P20	0,16	P30	0,35	P40	0,21	P50	0,17	P60	0,37	P70	0,44		

< 0,60 m/s

> 2,00 m/s

4.1.2.10 – Resultados para o Modelo M2-10

Para esse modelo, foi testada a janela pivotante vertical nas seguintes condições de vento: direção norte e velocidade de 2,12 m/s.

As janelas pivotantes localizadas na fachada NNW, quando suas folhas são ajustadas para o ângulo de abertura de 90°, muda os campos de pressão junto à fachada, e o fluxo penetra no ambiente no sentido normal às aberturas. Logo depois, por força das zonas de sucção presentes nas aberturas das fachadas adjacentes, o fluxo passa a percorrer obliquamente o espaço interno em direção a estas aberturas (figura 4.65).

A velocidade do vento, as localizações das aberturas e do pilar central contribuem para a baixa circulação de ar na região central do escritório. Entretanto, essa tipologia de janela diminui o efeito dos pilares na formação de vórtices.

Nesse modelo, a zona de maior pressão, em relação ao nível das aberturas do escritório estudado, está localizada próxima do centro da parede desse ambiente. Isso resulta em uma distribuição praticamente simétrica do fluxo de ar (figuras 4.64 e 4.66).

A distribuição do fluxo de ar se apresentou mais homogênea que nos modelos anteriores, sem a presença de locais com concentração de jatos de ar e praticamente não houve a formação de vórtices. As zonas de maior velocidade ocorreram nas proximidades das aberturas da fachada NNW, enquanto as velocidades mais baixas ocorreram nas regiões mais distantes das aberturas. As velocidades do ar foram ligeiramente superiores no plano PH1 do que no plano PH4, ou seja, nas cotas mais baixas (figuras 4.64, 4.66 e 4.67).

Os pontos de registro indicaram velocidades do ar adequadas, em 83% dos locais de maior permanência dos usuários, para o uso da ventilação natural como estratégia bioclimática (tabela 4.15).

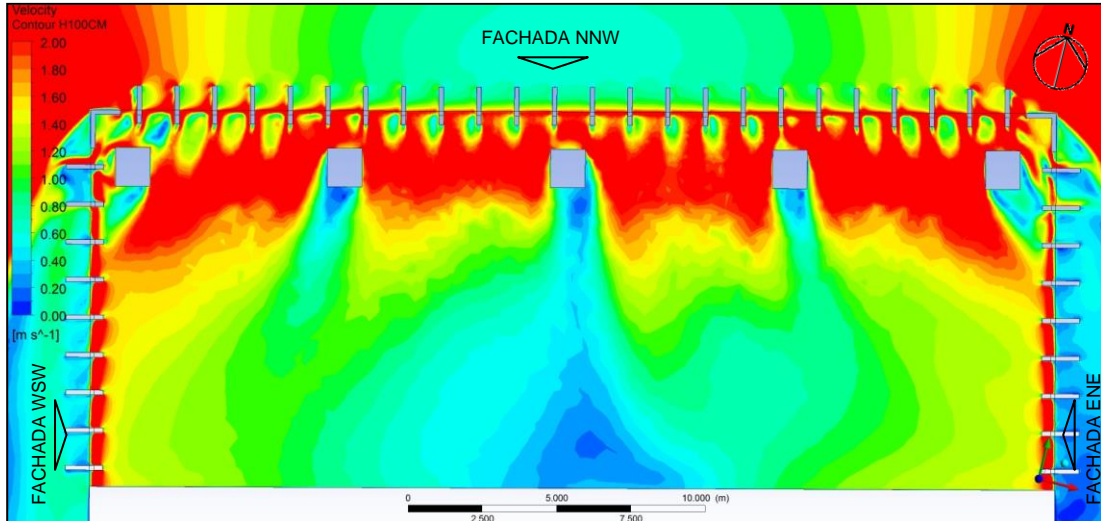


FIGURA 4.64 – Isovels no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

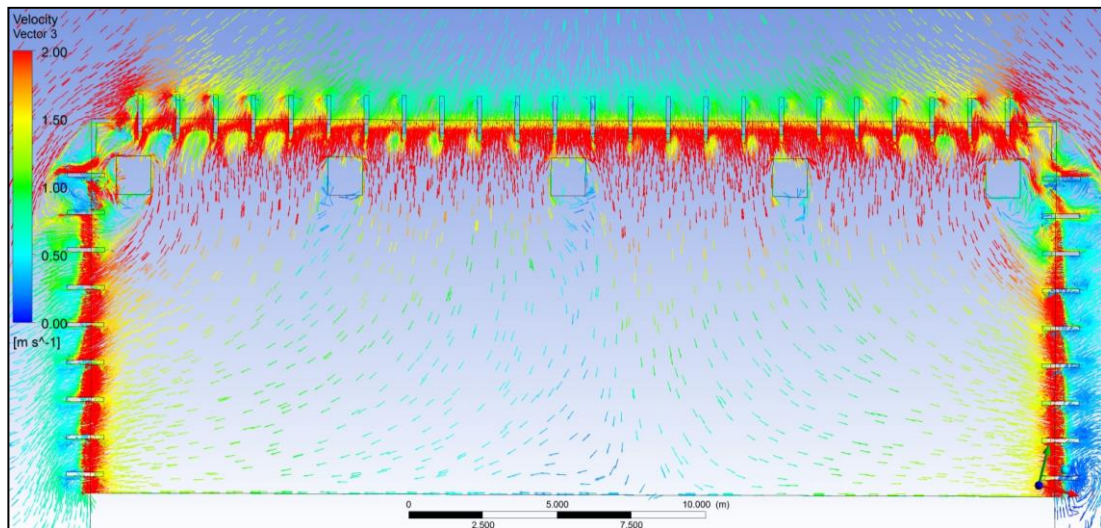


FIGURA 4.65 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

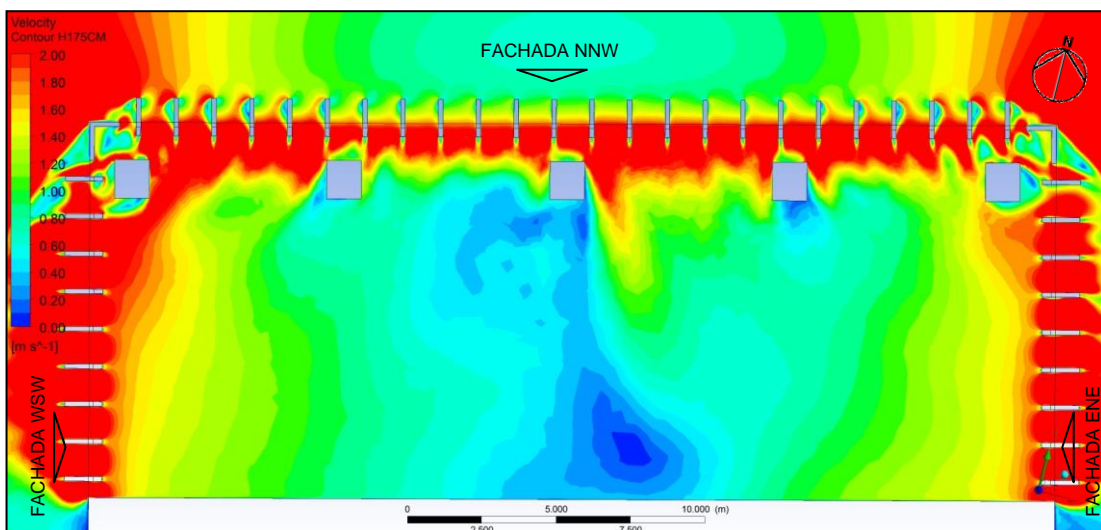


FIGURA 4.66 – Isovels no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

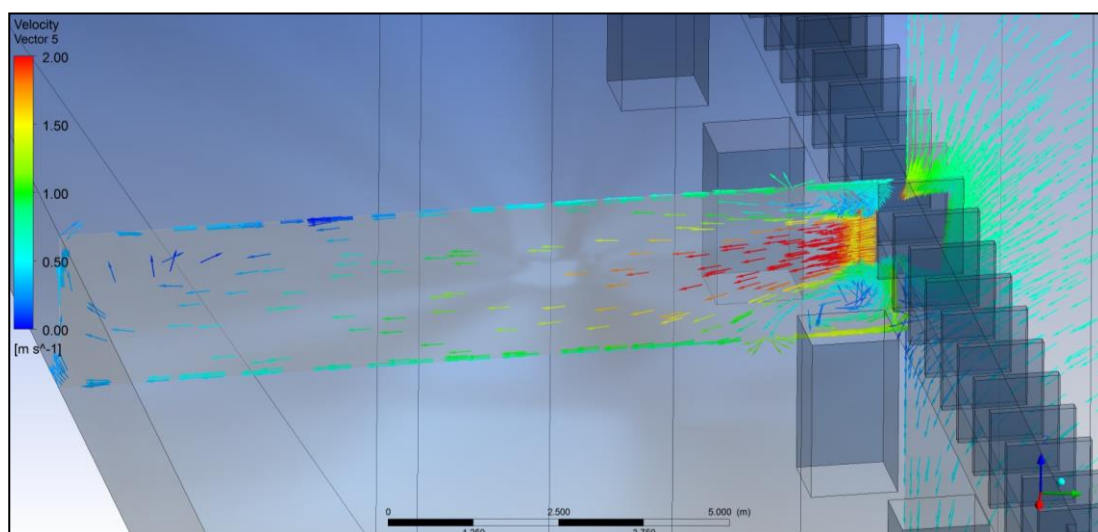


FIGURA 4.67 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Tabela 4.15 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M2-10

P01	1,50	P11	2,55	P21	0,91	P31	0,88	P41	0,95	P51	1,08	P61	0,80	P71	1,98
P02	1,42	P12	1,37	P22	1,27	P32	0,66	P42	0,63	P52	0,83	P62	1,67	P72	1,44
P03	1,70	P13	1,01	P23	1,11	P33	0,51	P43	0,42	P53	0,79	P63	1,34	P73	1,26
P04	1,52	P14	0,99	P24	0,95	P34	0,49	P44	2,09	P54	1,63	P64	1,08	P74	1,27
P05	1,25	P15	1,05	P25	0,81	P35	2,45	P45	1,49	P55	1,12	P65	0,91	P75	1,16
P06	1,74	P16	1,07	P26	0,75	P36	0,45	P46	1,24	P56	0,71	P66	0,91	P76	1,64
P07	1,54	P17	0,67	P27	1,07	P37	0,47	P47	1,04	P57	0,71	P67	2,07	P77	1,41
P08	1,31	P18	0,87	P28	0,77	P38	0,42	P48	0,87	P58	0,72	P68	1,62		
P09	1,15	P19	0,99	P29	0,59	P39	0,38	P49	2,38	P59	0,86	P69	1,26		
P10	1,17	P20	0,97	P30	0,53	P40	1,43	P50	1,45	P60	0,84	P70	1,19		

< 0,60 m/s

> 2,00 m/s

4.1.2.11 – Resultados para o Modelo M2-11

Nesse modelo, foi testada a janela pivotante vertical para o vento no azimute 10° com velocidade de 2,78 m/s.

A distribuição do fluxo de ar ocorreu de modo similar ao modelo anterior. As velocidades do ar maiores concentraram-se próximas as janelas da fachada NNW, porém, em razão da velocidade dos ventos ser maior nesse modelo, fluxos com velocidades superiores a 2 m/s atingiram maior profundidade no ambiente (figuras 4.68 e 4.70).

Nesse modelo, a zona de maior pressão, em relação ao nível das aberturas do escritório estudado, deslocou-se em relação ao modelo anterior, por força do ângulo de incidência do vento em relação à fachada a barlavento, conforme visto nos gráficos de isóbaras do item 4.1.1. Contudo, não houve alterações significativas nas

trajetórias das correntes de ar internas, e a distribuição do fluxo tornou-se ligeiramente assimétrica. O comportamento dessas trajetórias pode estar relacionado ao efeito das janelas pivotantes sobre os campos de pressão nas fachadas. (figuras 4.69).

Do mesmo modo que o modelo anterior, os pontos de registro deste modelo indicaram velocidades do ar na faixa de 0,6-2,0 m/s, em 83% dos pontos. Mas, ao contrário daquele modelo, a maioria dos pontos que estão fora da faixa de velocidade 0,6-2,0 m/s apresentaram velocidades superiores a 2,0 m/s (tabela 4.16).

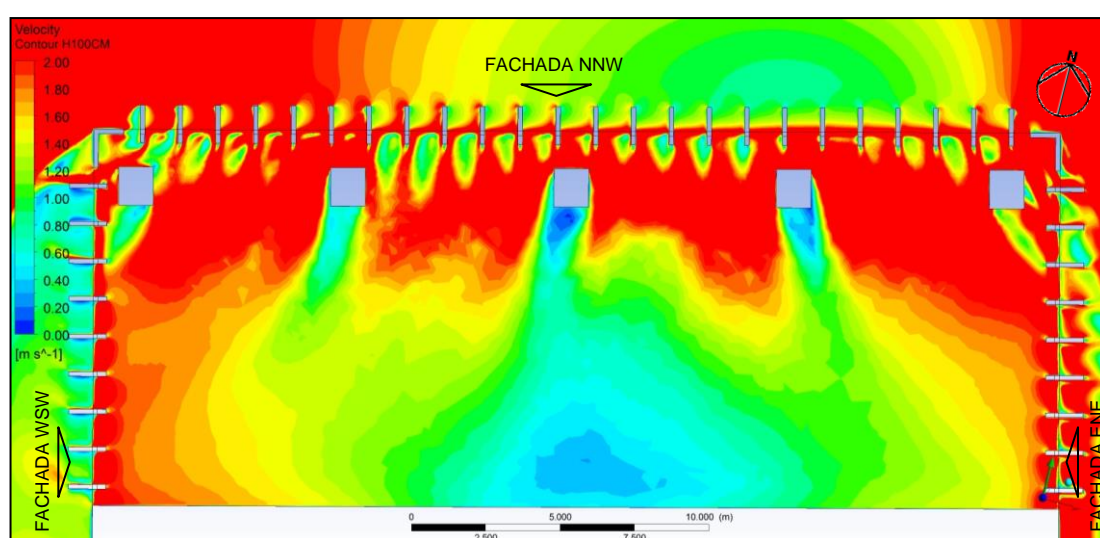


FIGURA 4.68 – Isovels no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

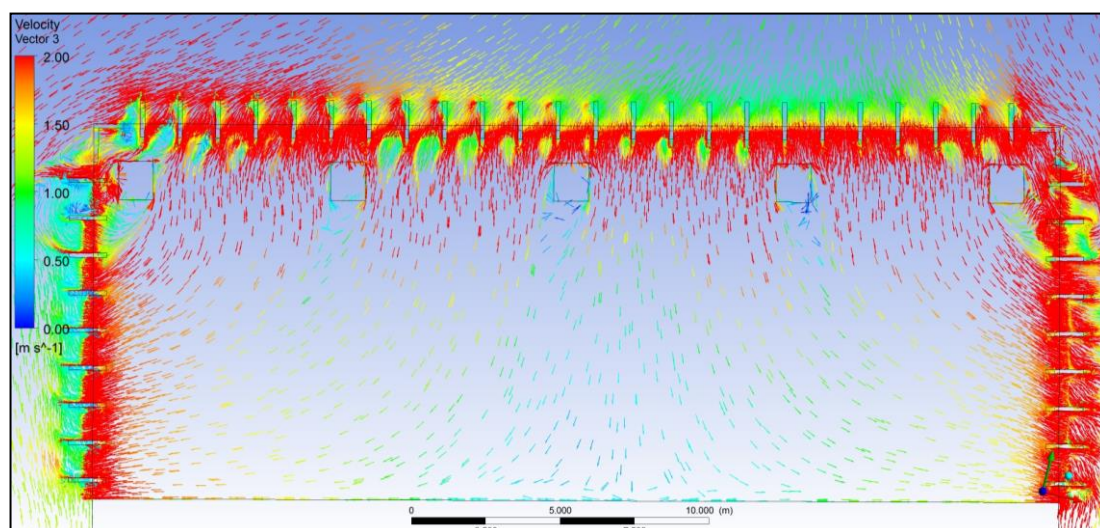


FIGURA 4.69 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

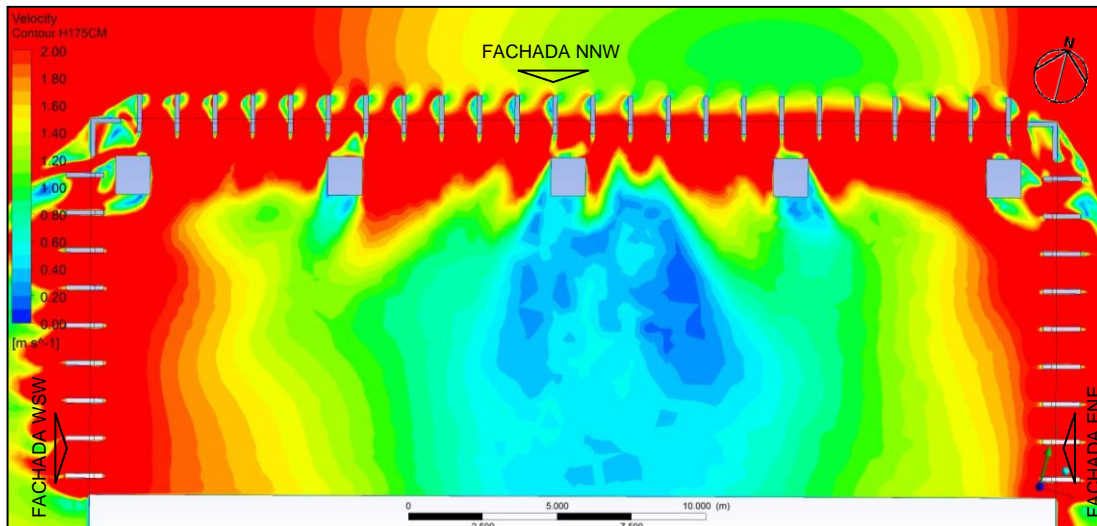


FIGURA 4.70 – Isovels no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

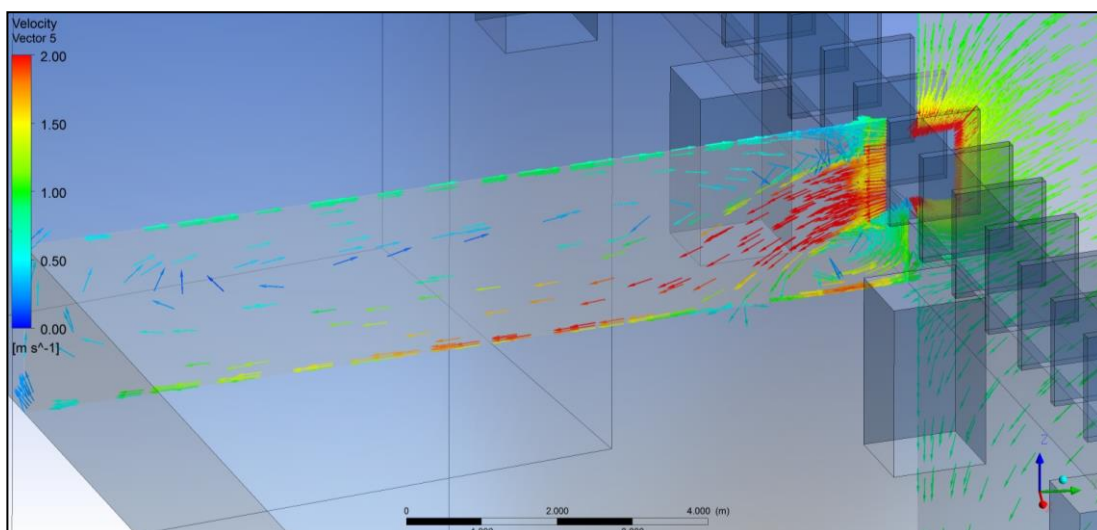


FIGURA 4.71 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Tabela 4.16 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M2-11

P01	1,97	P11	2,54	P21	1,37	P31	1,67	P41	0,77	P51	1,42	P61	1,02	P71	2,65
P02	2,00	P12	1,81	P22	1,70	P32	1,27	P42	0,57	P52	0,98	P62	2,13	P72	1,89
P03	1,96	P13	1,40	P23	1,39	P33	0,94	P43	0,46	P53	0,73	P63	1,78	P73	1,63
P04	1,79	P14	1,34	P24	1,26	P34	0,71	P44	2,73	P54	1,98	P64	1,33	P74	1,51
P05	1,78	P15	1,46	P25	1,19	P35	2,86	P45	1,18	P55	1,55	P65	1,12	P75	1,83
P06	2,07	P16	1,55	P26	1,16	P36	0,81	P46	0,90	P56	0,92	P66	1,06	P76	2,09
P07	1,82	P17	0,80	P27	1,49	P37	0,68	P47	0,71	P57	0,92	P67	2,26	P77	1,80
P08	1,68	P18	1,19	P28	1,33	P38	0,54	P48	0,53	P58	0,71	P68	2,06		
P09	1,57	P19	1,29	P29	1,13	P39	0,42	P49	1,84	P59	1,09	P69	1,74		
P10	1,68	P20	1,33	P30	0,90	P40	1,10	P50	1,92	P60	1,12	P70	1,51		

< 0,60 m/s

> 2,00 m/s

4.1.2.12 – Resultados para o Modelo M2-12

Para esse modelo, verificou-se o desempenho da janela pivotante vertical para o vento no azimute 160° e velocidade de $5,03 \text{ m/s}$.

O fluxo de ar entra no ambiente interno através das aberturas da fachada NNW e sai pelas aberturas das fachadas adjacentes (figuras 4.72 a 4.75).

Nesse modelo, foram observadas velocidades do ar abaixo de $0,6 \text{ m/s}$ na maioria dos pontos de registro, devido às baixas velocidades do ar externo nas zonas próximas as aberturas; em apenas 14 postos de trabalho os valores de velocidade estão na faixa ideal (tabela 4.17).

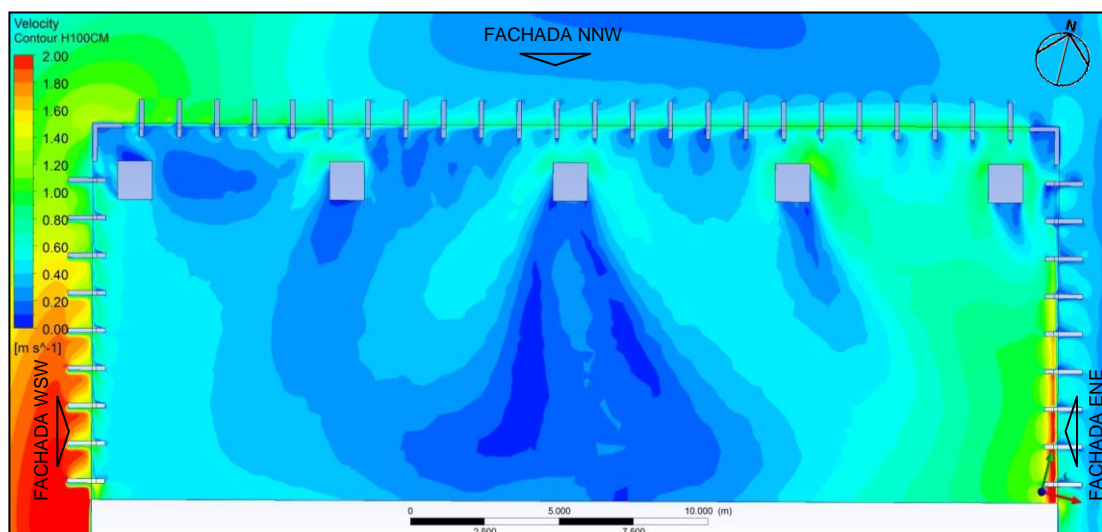


FIGURA 4.72 – *Isovels* no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

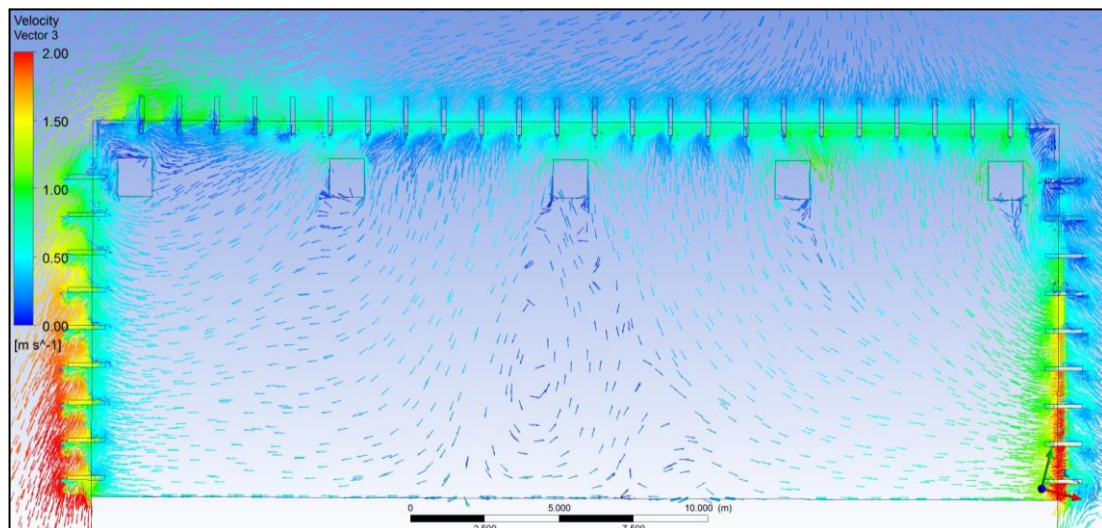


FIGURA 4.73 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

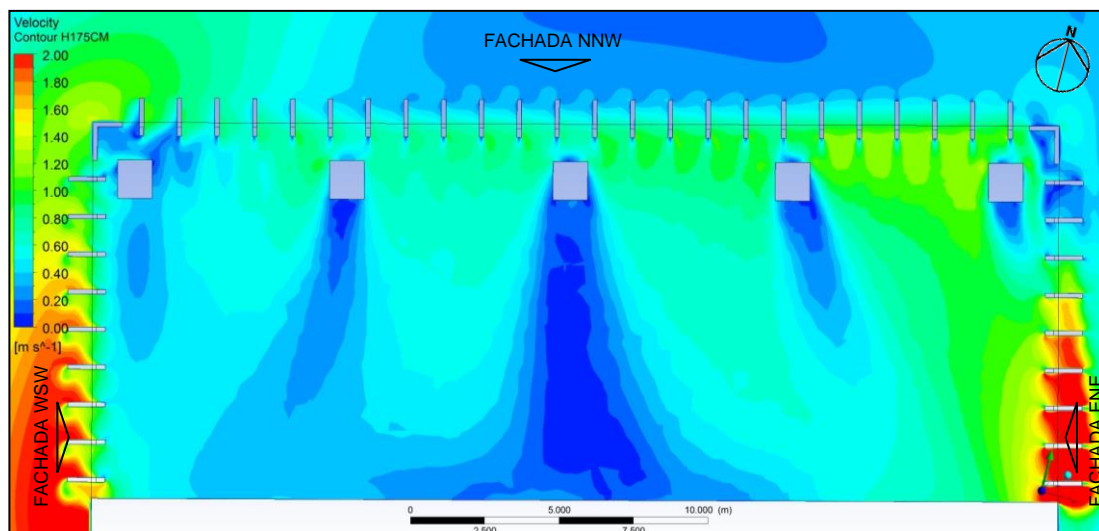


FIGURA 4.74 – Isovels no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

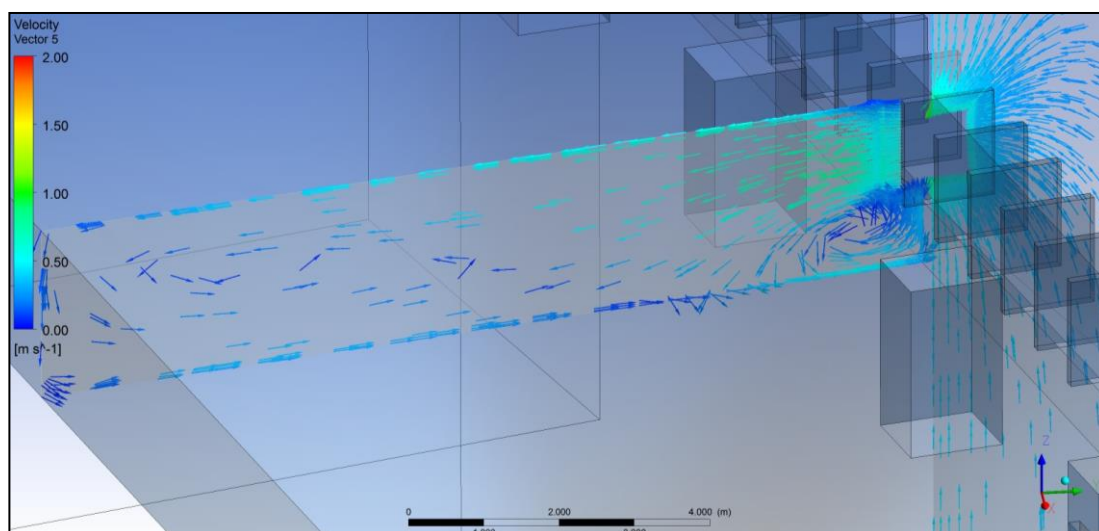


FIGURA 4.75 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Tabela 4.17 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M2-12

P01	0,46	P11	0,32	P21	0,35	P31	0,41	P41	0,05	P51	0,46	P61	0,47	P71	0,72
P02	0,48	P12	0,36	P22	0,30	P32	0,30	P42	0,10	P52	0,50	P62	0,62	P72	0,82
P03	0,41	P13	0,31	P23	0,33	P33	0,21	P43	0,14	P53	0,29	P63	0,60	P73	0,89
P04	0,45	P14	0,30	P24	0,32	P34	0,12	P44	0,43	P54	0,47	P64	0,41	P74	0,82
P05	0,47	P15	0,33	P25	0,27	P35	0,60	P45	0,50	P55	0,46	P65	0,41	P75	0,56
P06	0,23	P16	0,40	P26	0,29	P36	0,22	P46	0,41	P56	0,41	P66	0,49	P76	0,86
P07	0,39	P17	0,20	P27	0,45	P37	0,21	P47	0,23	P57	0,41	P67	0,65	P77	0,97
P08	0,40	P18	0,24	P28	0,41	P38	0,16	P48	0,11	P58	0,21	P68	0,71		
P09	0,39	P19	0,28	P29	0,32	P39	0,13	P49	0,31	P59	0,35	P69	0,78		
P10	0,43	P20	0,29	P30	0,18	P40	0,28	P50	0,46	P60	0,44	P70	0,72		

< 0,60 m/s

> 2,00 m/s

4.1.2.13– Considerações sobre o Modelo 2

Neste caso em que se considera o escritório vazio e se estuda a influência das 4 tipologias de janelas: quadro fixo + projetante; de correr; projetante; e pivotante para as condições de ventos incidentes, as simulações referentes ao escoamento interno do ar mostram que o melhor desempenho verifica-se para a janela pivotante. Esta janela tem uma área efetiva de abertura maior que as outras tipologias, o que assegura maiores vazões de ar. Outra vantagem desta tipologia refere-se à liberdade que há no ajuste da folha, que pode funcionar como anteparo direcionador para os ventos (*wing wall*), de modo que estes passem a incidir perpendicularmente às aberturas, e também para direcionar o fluxo de ar nos locais de maior permanência dos usuários.

4.1.3 – Simulações do Modelo 3

O Modelo 3 representa o escritório com a mesma planta de layout constante do Modelo 1, mas agora incluindo variações de altura das divisórias e fixando a tipologia da janela como pivotante. O objetivo é testar o efeito combinado desses elementos arquitetônicos no comportamento da circulação do ar no ambiente do escritório.

Os painéis divisórios especificados terão altura de 90 cm, exceto numa das salas de reunião que manterá as divisórias do tipo piso-teto, por questões de privacidade. Com isso, o conceito de *layout* atribuído a este escritório praticamente é alterado de misto para semiaberto, onde permitirá maior interação entre os usuários, mas uma menor privacidade.

A tabela 4.18 apresenta resumidamente as características do Modelo 3.

Modelo	Dir. vento	Vel. vento	Tipologia da janela	Altura da divisória	Estação de trabalho	Layout
M3-1	0°	2,12 m/s	Pivotante	90/241 cm	Celular em ‘L’	Misto
M3-2	10°	2,78 m/s				
M3-3	160°	5,03 m/s				

4.1.3.1– Resultados para o Modelo M3-1

Nesse modelo, foi considerado o vento predominante para o período das 7h às 11h, que corresponde ao vento Norte (0°), com velocidade de 2,12 m/s, conforme os dados medidos na estação meteorológica.

O *layout* utilizado com divisórias baixas pouco interferiu nas trajetórias dos fluxos de ar na altura dos planos PH1 e PH4. Assim como, no modelo M2-10, que consta os mesmos dados de vento e janelas que este modelo, os fluxos de ar que penetram no ambiente, no sentido normal às aberturas da fachada NNW, em sequência se direcionam obliquamente, devido aos campos de pressão nas aberturas das fachadas adjacentes. A exceção ocorreu no escoamento ao fundo do escritório, que na ausência de barreiras, tenderia a escoar em direção as aberturas da fachada WSW, no entanto, esse fluxo de ar foi desviado para a direção oposta pela divisória alta da sala de reuniões (figura 4.77).

A distribuição das linhas de corrente de ar ocorreu de forma heterogênea, com formação de jatos de ar com velocidades superiores a 2 m/s e a formação de vórtices nas regiões posteriores ao pilar central e a sala de reuniões (figuras 4.76 e 4.78).

As velocidades do ar apresentaram-se mais elevadas nas cotas mais altas, conforme valores apresentados nos planos PH1, PH4 e PV2.

Nos locais de maior permanência dos usuários, ou seja, nos postos de trabalho, a velocidade do ar manteve dentro da faixa de 0,6-2 m/s em 48 postos; abaixo do limite mínimo em 22 postos; e acima do limite máximo em 7 postos (tabela 4.19).

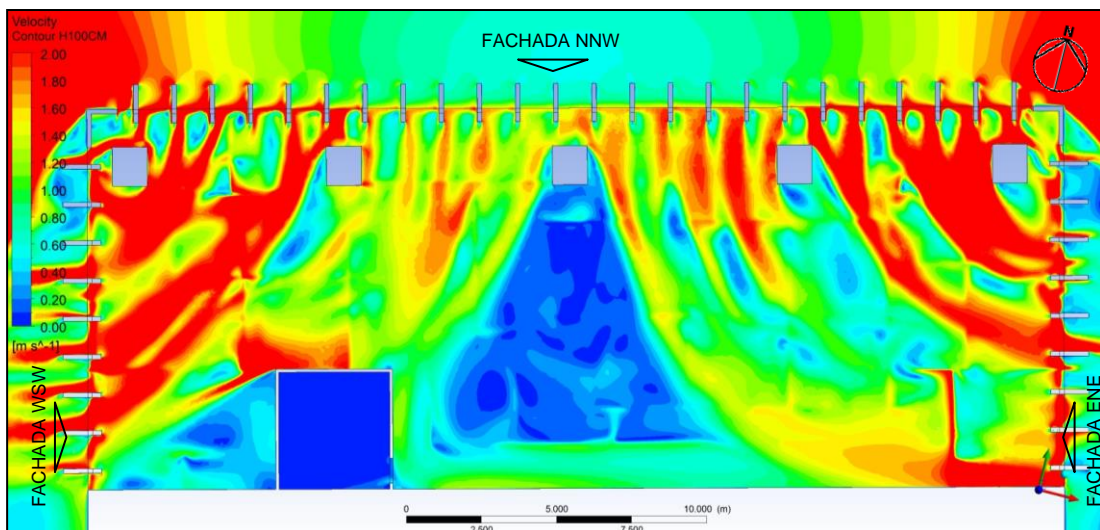


FIGURA 4.76 – Isovels no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

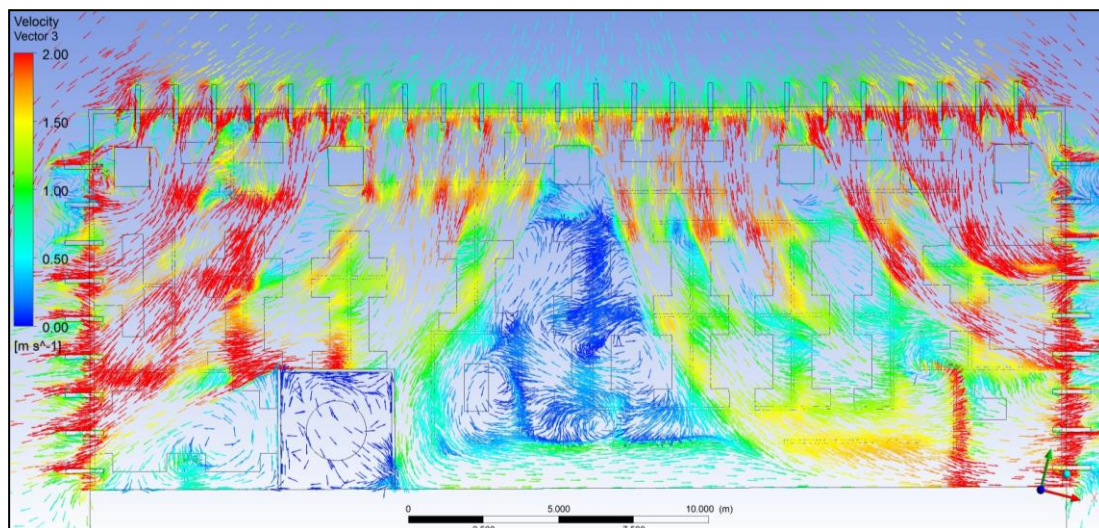


FIGURA 4.77 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

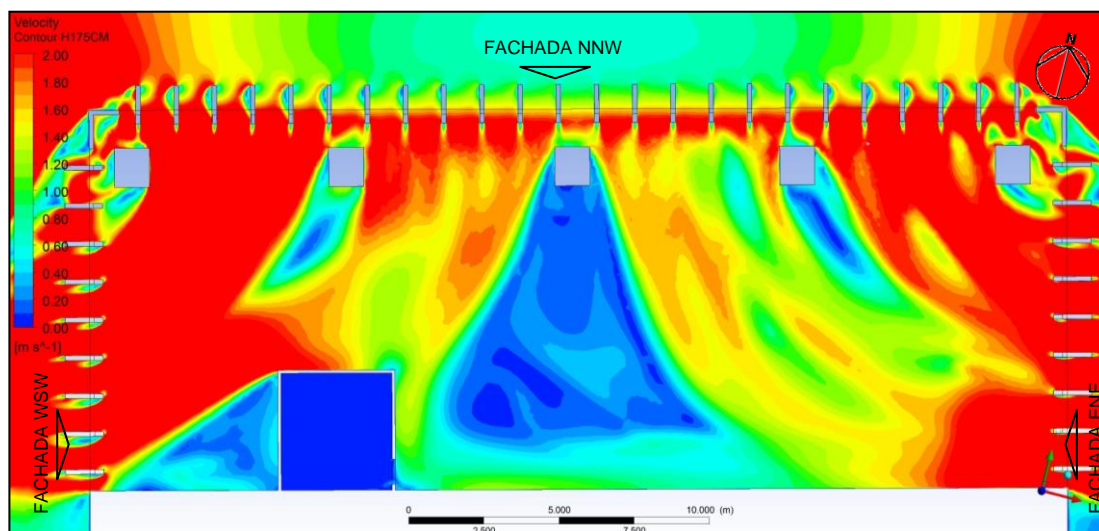


FIGURA 4.78 – Isovels no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

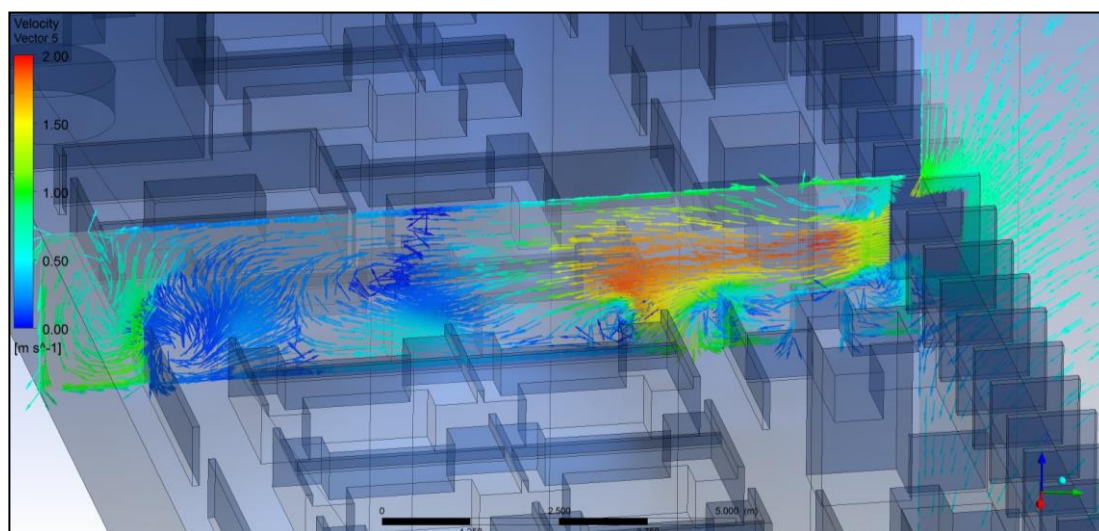


FIGURA 4.79 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

P01	2,19	P11	2,06	P21	0,01	P31	1,24	P41	0,13	P51	1,08	P61	1,11	P71	2,54
P02	0,91	P12	1,45	P22	1,20	P32	0,15	P42	0,10	P52	1,07	P62	0,45	P72	0,85
P03	1,85	P13	1,08	P23	0,89	P33	0,16	P43	0,26	P53	1,43	P63	1,04	P73	1,66
P04	2,38	P14	2,07	P24	1,20	P34	0,13	P44	1,59	P54	1,72	P64	0,56	P74	0,70
P05	0,86	P15	0,36	P25	0,03	P35	1,71	P45	1,06	P55	1,32	P65	0,61	P75	1,86
P06	0,85	P16	0,32	P26	0,06	P36	0,07	P46	1,42	P56	1,18	P66	0,93	P76	1,67
P07	2,15	P17	1,40	P27	1,51	P37	0,14	P47	1,14	P57	1,18	P67	2,43	P77	2,05
P08	2,00	P18	1,33	P28	1,27	P38	0,11	P48	0,22	P58	0,78	P68	0,95		
P09	1,67	P19	1,75	P29	0,50	P39	0,22	P49	1,97	P59	1,18	P69	1,50		
P10	0,22	P20	0,04	P30	0,24	P40	0,21	P50	1,18	P60	0,95	P70	0,88		

< 0,60 m/s
 > 2,00 m/s

4.1.3.2– Resultados para o Modelo M3-2

Nesse modelo, foi considerado o vento predominante para o período das 12 às 13h, que corresponde ao vento na direção do azimute 10° e velocidade de 2,78 m/s.

A trajetória e a distribuição do fluxo de ar ocorreram de forma semelhante ao modelo anterior (figuras 4.80 a 4.83). Apesar da velocidade do vento nesse modelo ser superior a do modelo anterior, os valores da velocidade do ar nos pontos de registro também apresentaram valores similares entre esses dois modelos. Entre as causas prováveis, pode estar a maior perda de energia do vento, à medida que aumenta o seu ângulo de incidência em relação a normal da abertura. Dentro da faixa de velocidade adequada (0,6-2 m/s), constam 49 pontos; abaixo de 0,6 m/s, aparecem 24 pontos; e acima da velocidade 2 m/s, constam 4 pontos (tabela 4.20).

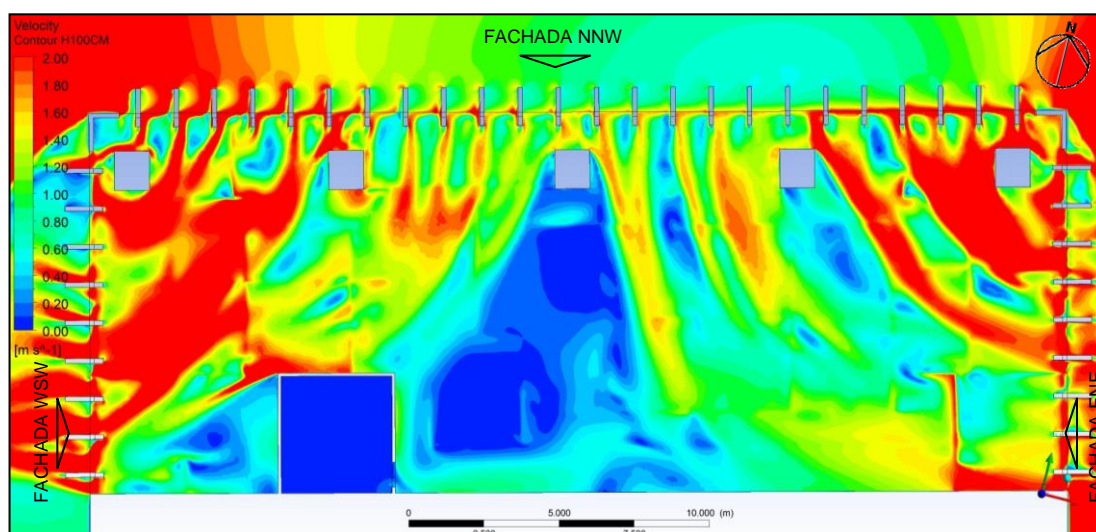


FIGURA 4.80 – Isovels no plano PH1.

Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

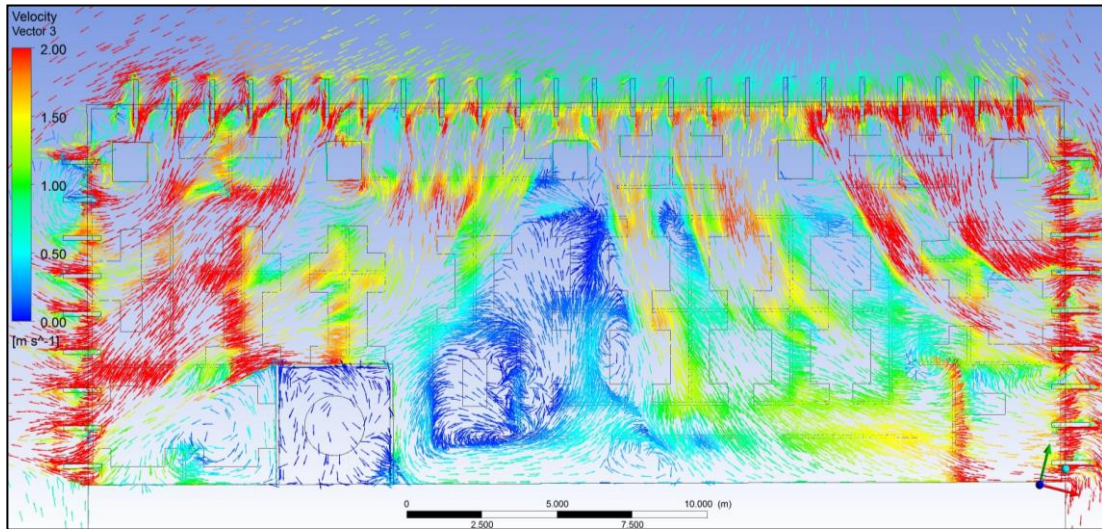


FIGURA 4.81 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

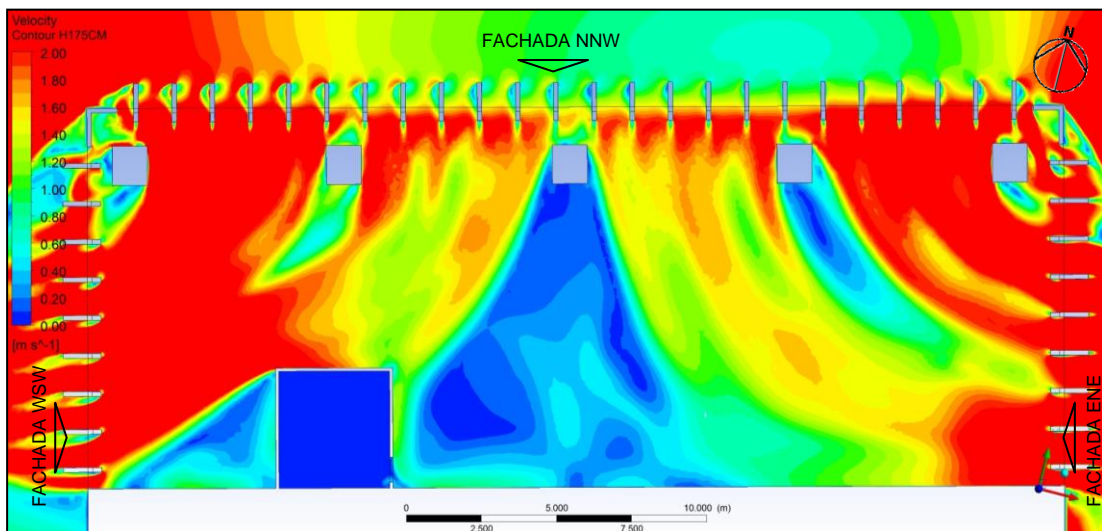


FIGURA 4.82 – Isovels no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

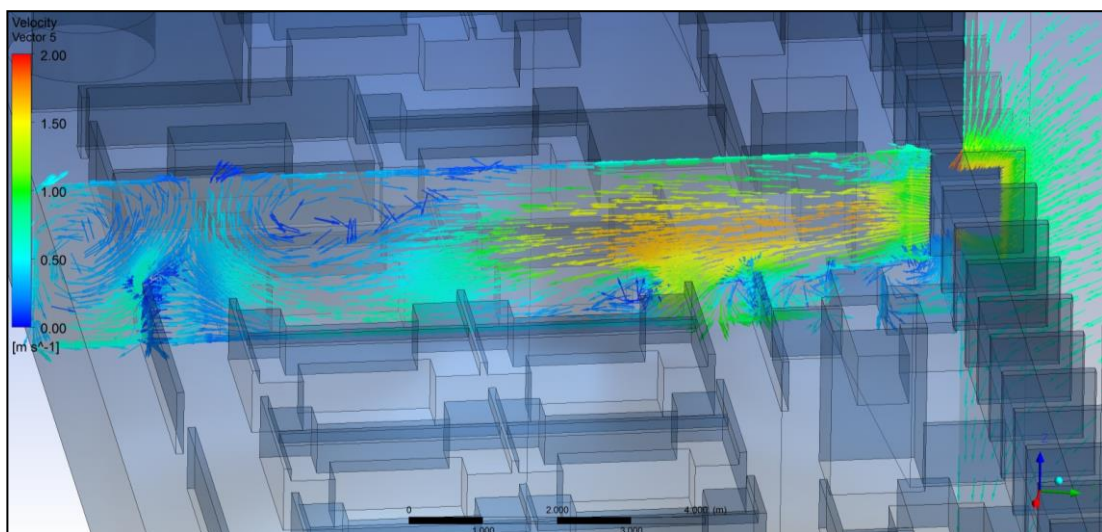


FIGURA 4.83 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

P01	1,86	P11	1,92	P21	0,02	P31	0,51	P41	0,07	P51	1,00	P61	0,93	P71	2,80
P02	1,10	P12	1,36	P22	1,26	P32	0,16	P42	0,09	P52	0,76	P62	0,46	P72	0,29
P03	1,38	P13	1,60	P23	1,06	P33	0,02	P43	0,45	P53	0,99	P63	0,60	P73	1,45
P04	2,34	P14	1,94	P24	1,01	P34	0,10	P44	1,46	P54	1,63	P64	0,43	P74	0,63
P05	1,07	P15	0,37	P25	0,04	P35	1,25	P45	0,52	P55	1,61	P65	0,67	P75	1,68
P06	1,13	P16	0,43	P26	0,03	P36	0,04	P46	1,21	P56	0,98	P66	0,87	P76	1,53
P07	2,22	P17	1,18	P27	0,91	P37	0,05	P47	1,52	P57	0,98	P67	1,95	P77	1,94
P08	2,03	P18	0,75	P28	0,73	P38	0,22	P48	1,12	P58	0,43	P68	0,83		
P09	1,51	P19	1,59	P29	0,09	P39	0,24	P49	0,82	P59	1,08	P69	1,55		
P10	0,15	P20	0,03	P30	0,07	P40	0,58	P50	0,97	P60	0,57	P70	0,89		

 < 0,60 m/s  > 2,00 m/s

4.1.3.3– Resultados para o Modelo M3-3

Nesse modelo, foi considerado o vento predominante para o período das 14h às 18h, que corresponde ao vento no azimute 160°, com velocidade de 5,03 m/s, conforme os dados medidos na estação meteorológica.

As trajetórias de escoamento obtidas neste caso apresentam comportamentos similares aos dois modelos anteriores (M3-1 e M3-2), visto que pelo efeito esteira, os padrões dos fluxos de ar são alterados ao redor da edificação, assim, também acabam penetrando através das aberturas na fachada NNW, que nesse modelo estão a sota-vento. Porém, apresentou baixas velocidades do ar principalmente nas zonas mais afastadas das janelas (figuras 4.84 a 4.87).

Nos pontos de registro, foram observadas velocidades do ar abaixo de 0,6 m/s em 56 pontos e velocidades entre 0,6-2,0 m/s em 21 pontos (tabela 4.21).

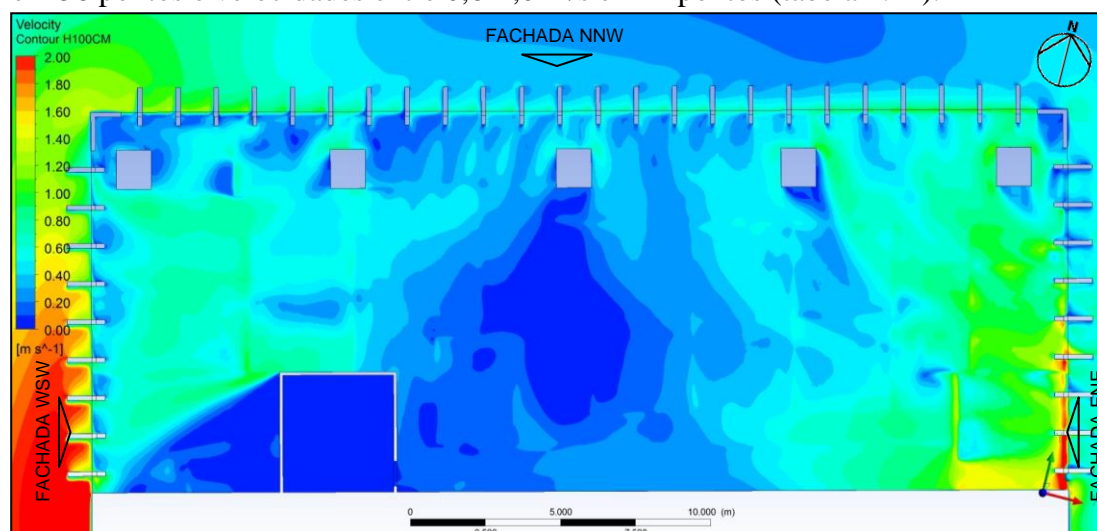


FIGURA 4.84 – Isovels no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

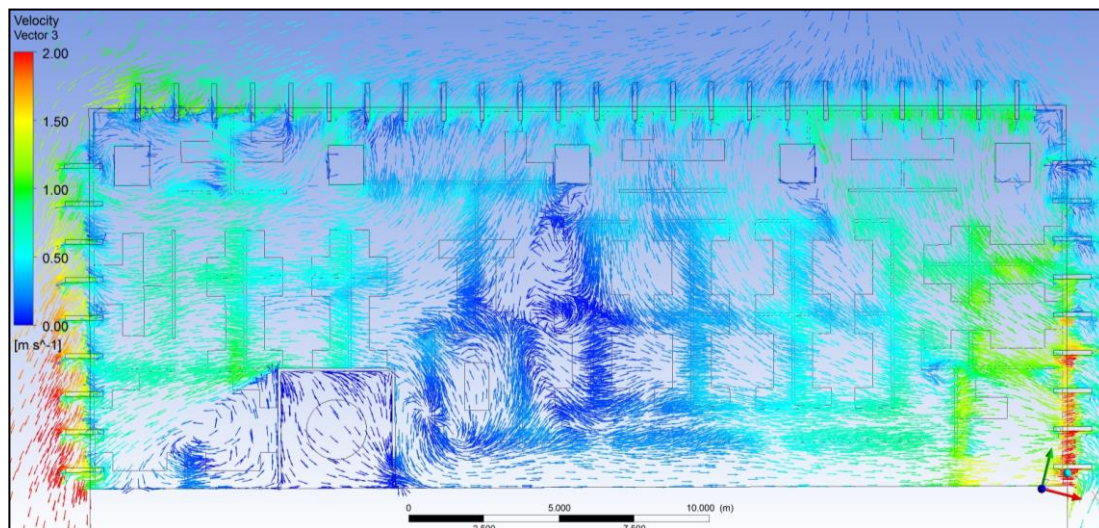


FIGURA 4.85 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

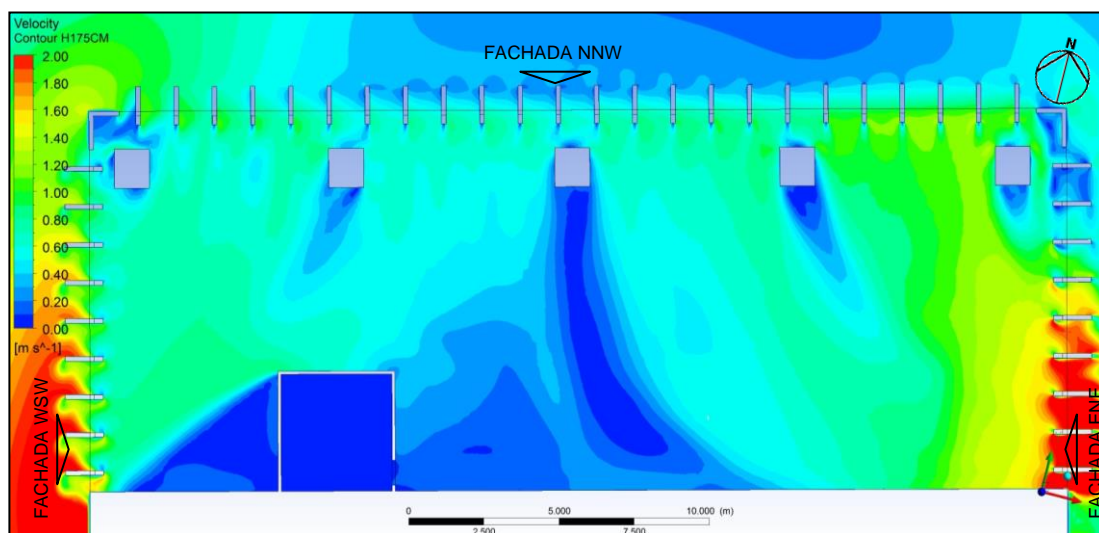


FIGURA 4.86 – Isovels no plano PH4. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

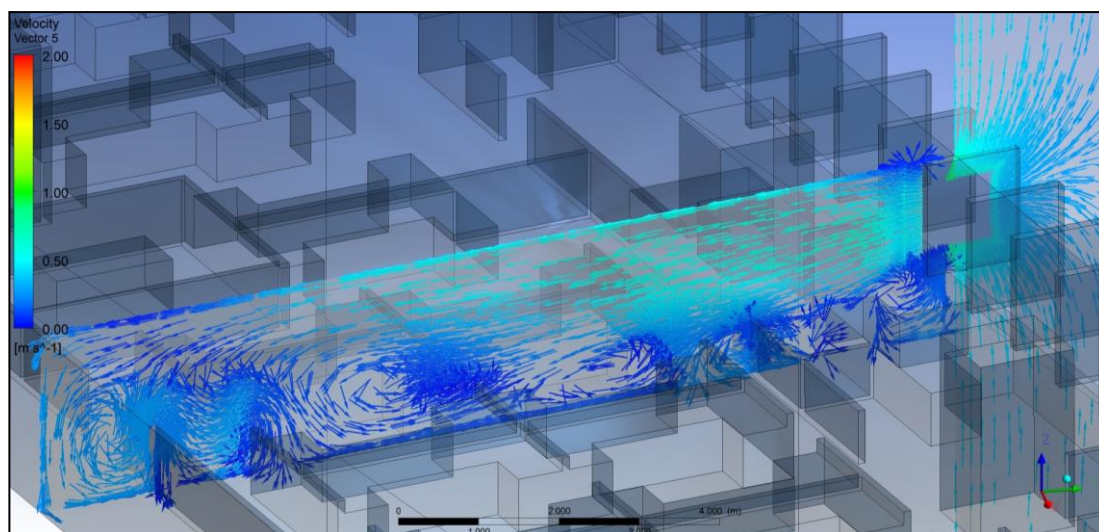



FIGURA 4.87 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

P01	0,65	P11	0,24	P21	0,01	P31	0,18	P41	0,15	P51	0,32	P61	0,46	P71	0,97
P02	0,47	P12	0,52	P22	0,47	P32	0,05	P42	0,08	P52	0,29	P62	0,53	P72	0,93
P03	0,68	P13	0,38	P23	0,39	P33	0,11	P43	0,10	P53	0,35	P63	0,67	P73	1,12
P04	0,73	P14	0,73	P24	0,35	P34	0,17	P44	0,33	P54	0,45	P64	0,42	P74	0,84
P05	0,28	P15	0,07	P25	0,01	P35	0,41	P45	0,23	P55	0,48	P65	0,42	P75	1,01
P06	0,54	P16	0,07	P26	0,02	P36	0,06	P46	0,26	P56	0,42	P66	0,56	P76	0,87
P07	0,68	P17	0,52	P27	0,26	P37	0,06	P47	0,20	P57	0,42	P67	0,70	P77	1,19
P08	0,65	P18	0,33	P28	0,18	P38	0,07	P48	0,23	P58	0,32	P68	0,69		
P09	0,67	P19	0,68	P29	0,18	P39	0,09	P49	0,33	P59	0,36	P69	0,92		
P10	0,03	P20	0,01	P30	0,13	P40	0,31	P50	0,44	P60	0,51	P70	0,76		

 < 0,60 m/s  > 2,00 m/s

4.1.4 – Simulações do Modelo 4

O Modelo 4 consiste numa proposta de reforma arquitetônica que inclui mudança de layout e substituição de janelas, painéis divisórios e mobiliário, objetivando conciliar questões funcionais, estéticas, econômicas, culturais e de conforto higrotérmico.

A tipologia de janela especificada foi a pivotante, devido ao seu melhor desempenho em relação ao aproveitamento da ventilação natural, entre as tipologias testadas dos modelos anteriores.

O layout do projeto manteve-se na categoria mista, porém houve reconfiguração nos diversos ambientes do escritório. O ambiente dos projetistas foi dividido em espaços de trabalho conforme a quantidade de equipes, sendo que, entre esses espaços foram especificadas divisórias do tipo piso-teto para melhorar a privacidade entre as equipes e divisórias com 90 cm de altura entre as estações de trabalho, para permitir o nível de interação alto entre os membros de uma mesma equipe. Para as salas dos chefes de departamentos e de reuniões, foi adotado o conceito de espaço fechado, com a adoção de divisórias do tipo piso-teto para realização de atividades de maior concentração e/ou confidencialidade.

A distribuição das divisórias altas também objetivou conduzir o fluxo de ar até as áreas mais distantes das aberturas, e concorrer para uma redução das regiões com ar estagnado. Os espaços de trabalho das equipes podem funcionar como ‘dutos’ que conduzem os fluxos de ar até ao corredor, e este por sua vez os direciona para as aberturas de saída do ar. As salas dos chefes de departamentos foram dispostas de

modo que as aberturas das fachadas e da porta possam criar condições de ventilação cruzada. A sala de reuniões foi alocada na zona com menores velocidades do ar, devido esse espaço ser o de menor permanência, no entanto, foi criada uma abertura entre esse ambiente e a sala do chefe do departamento de obras, a fim de criar condições de ventilação cruzada por meio dessa abertura e a porta.

As estações de trabalho dos projetistas tiveram as suas mesas em formato ‘L’ substituídas por mesas lineares. De maneira similar ao escoamento do ar no entorno dos edifícios, conforme visto na figura 1.4 do capítulo 1, o formato paralelepípedo de um objeto cria menor perturbação no fluxo de ar nas proximidades do maior lado, quando o vento incide normal ao lado menor. Da mesma forma, os usuários do escritório estariam localizados nas regiões de menor obstrução, enquanto papéis sobre a mesa estariam mais protegidos devido às obstruções causadas pelas divisórias entre as estações de trabalho.

De forma resumida, as características desse modelo estão descritas na tabela a seguir:

Tabela 4.22 – Síntese das características do Modelo 4						
Modelo	Dir. vento	Vel. vento	Tipologia da janela	Altura da divisória	Estação de trabalho	Layout
M4-1	0°	2,12 m/s	Pivotante	90/241 cm	Celular linear	Misto
M4-2	10°	2,78 m/s				
M4-3	160°	5,03 m/s				

Com a proposta deste novo layout houve um incremento do número de postos de trabalho, aumentando a capacidade de 77 funcionários para 83. Os valores das velocidades do vento foram obtidos através de pontos de registro situados nesses postos de trabalho (figura 4.88), numa altura de 1,10 m em relação ao piso elevado.

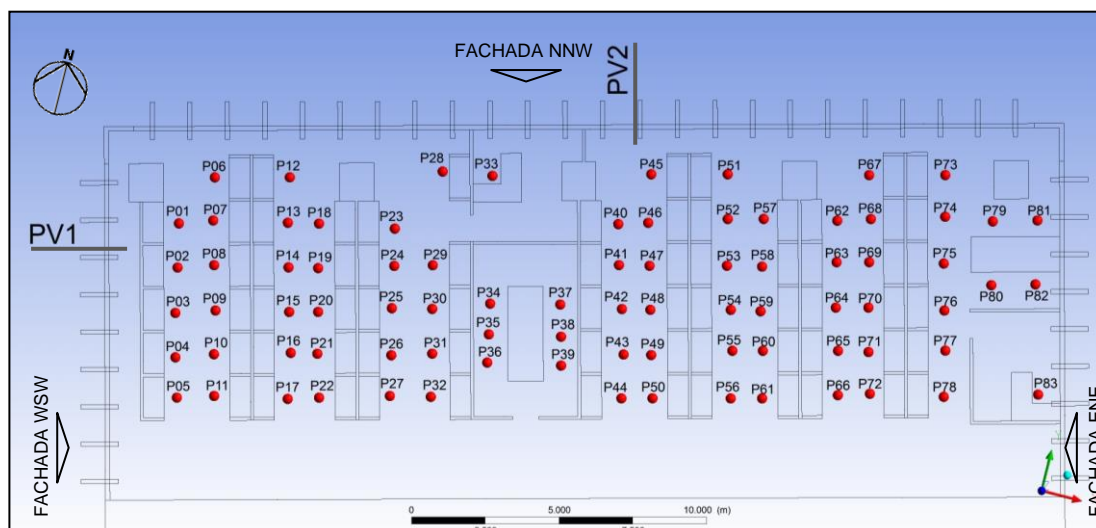


FIGURA 4.88 – Pontos de registro de velocidade no escritório com layout proposto.

Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

O comportamento do escoamento do ar foi representado por vetores e *isovels* localizados em planos, conforme seguinte disposição:

PH1 _ Plano horizontal localizado a 1,10 metros do piso elevado;

PH2 _ Plano horizontal localizado a 1,75 metros do piso elevado;

PV1 _ Plano vertical longitudinal ao escritório;

PV2 _ Plano vertical transversal ao escritório.

4.1.4.1– Resultados para o Modelo M4-1

Nesse modelo, foi considerado o vento predominante para o período das 7h às 11h, que corresponde ao vento Norte (0°), com velocidade média de 2,12 m/s, conforme os dados medidos na estação meteorológica. A direção desse vento faz um ângulo horizontal de aproximadamente 15° em relação a normal à fachada NNW, portanto, essa é a fachada a barlavento.

Nesse modelo, o layout proposto e o uso combinado dos elementos arquitetônicos, janelas pivotantes (abertas a 90°) e divisórias piso-teto, permitiu alterar a direção e a velocidade do fluxo de ar oriundo do meio externo, de modo a beneficiar os locais de maior permanência dos usuários.

Os fluxos de ar quando incidem na superfície da fachada a barlavento, para contorná-la, assumem sentidos diversos sobre influência dos campos de pressão. Nas

aberturas localizadas na zona de maior pressão na fachada a barlavento, o fluxo, analisado num plano horizontal, tende a acompanhar o sentido do vento dominante, enquanto nas aberturas localizadas nas zonas de menor pressão, o fluxo tende a atravessar a abertura no sentido oblíquo. No entanto, conforme abordado no subitem 1.2.1, elementos verticais na fachada podem alterar as zonas de pressão nas proximidades dessa superfície, de maneira que o fluxo incida, por exemplo, no sentido normal à abertura. Em razão disto, a janela pivotante vertical, quando aberta no ângulo de 90°, parte da sua folha se projeta para fora do plano da fachada, assim, os fluxos oblíquos ao atingi-las passam a incidir normal à abertura (figura 4.90).

Em seguida, sob a influência das divisórias dos espaços de trabalho intermediários, os fluxos de ar alcançam o corredor principal, onde são redirecionados para as aberturas localizadas nas fachadas adjacentes (figura 4.90).

A configuração do *layout* proporcionou uma distribuição do escoamento de ar de uma forma mais homogênea do que aquela dada pelo caso do modelo sem painéis divisor e mobiliário (M2-10). Neste caso anterior, havia uma concentração de fluxos com maiores velocidades junto às aberturas, enquanto no caso presente, nos espaços de trabalho intermediários, são mais graduais os gradientes de velocidade entre as zonas próximas a fachada e aquelas localizadas ao fundo do ambiente. Esse layout também influenciou na redução das zonas de vórtices criadas pelos pilares (figuras 4.89 e 4.91).

Na cota do plano horizontal PH1, a distribuição do fluxo de ar é mais homogênea, com menor gradiente de velocidade, do que no nível do plano PH2. O plano vertical PV2 indica velocidades maiores nas cotas mais baixas (figura 4.92).

Nesse modelo, observa-se a presença de jatos de ar nos locais de maior permanência dos usuários e poucas zonas de estagnação.

O número de pontos de registro, com valores de velocidades do ar entre 0,6 m/s e 2,0 m/s, correspondeu a 62 pontos do total de 83. Em sete postos de trabalho, a velocidade superou o limite máximo, enquanto, em 14 postos de trabalho a velocidade foi menor que o limite mínimo (tabela 4.23).

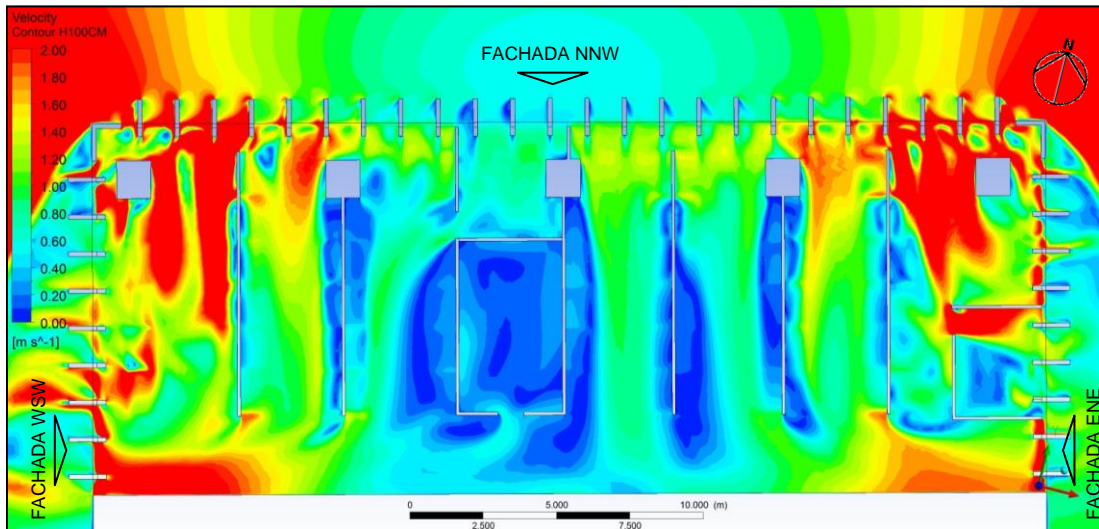


FIGURA 4.89 – Isovels no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

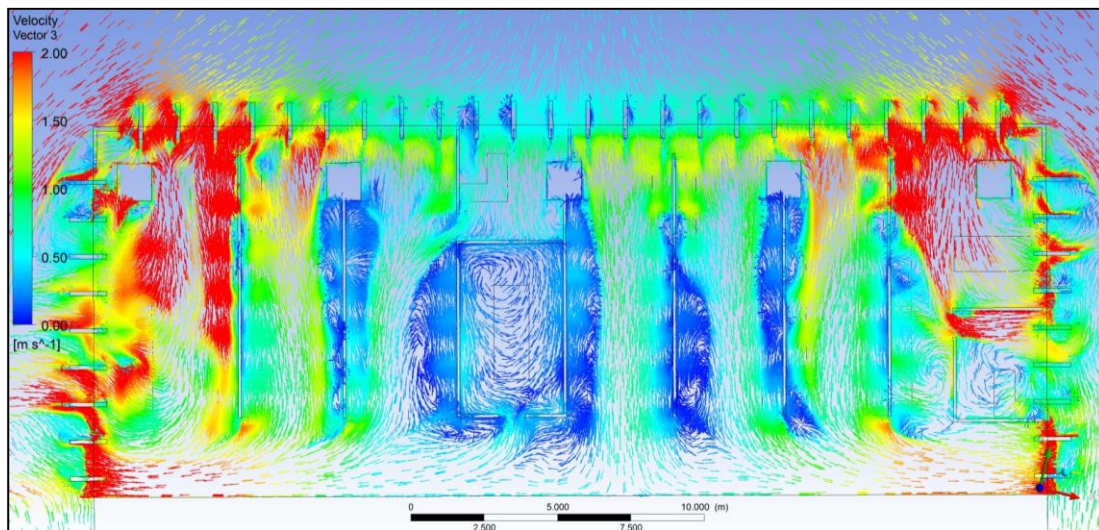


FIGURA 4.90 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

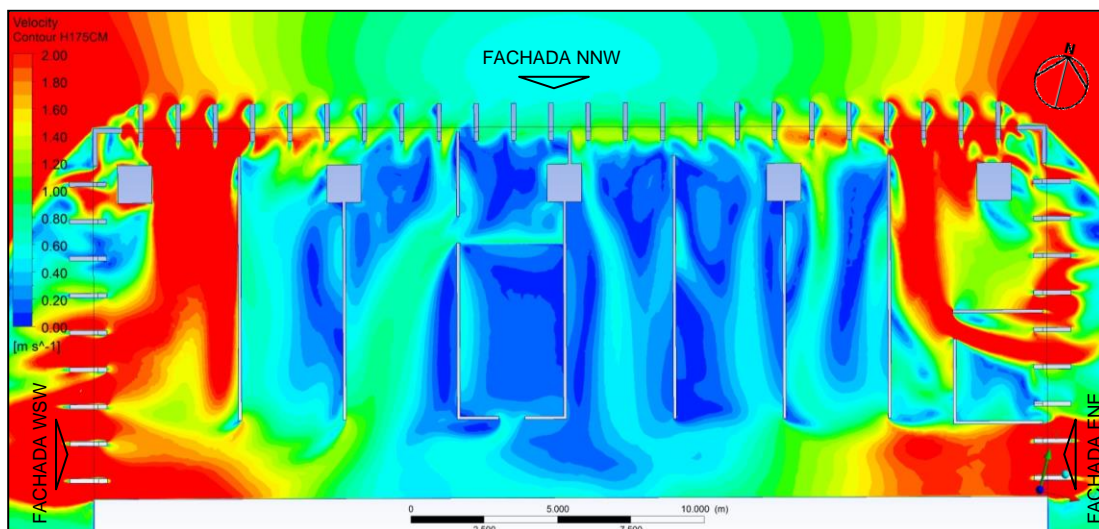


FIGURA 4.91 – Isovels no plano PH2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

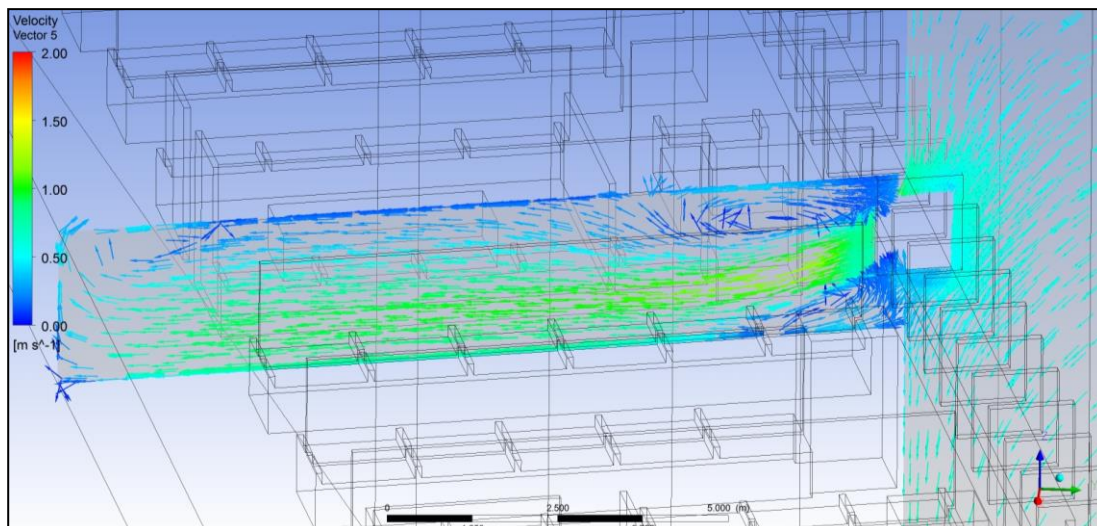


FIGURA 4.92 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Tabela 4.23 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M4-1

P01	3,17	P11	1,15	P21	1,02	P31	0,04	P41	0,76	P51	1,12	P61	0,82	P71	0,86	P81	1,02
P02	2,89	P12	1,40	P22	1,03	P32	0,11	P42	0,65	P52	0,69	P62	1,66	P72	0,89	P82	1,24
P03	1,55	P13	1,46	P23	0,53	P33	0,65	P43	0,54	P53	0,50	P63	1,41	P73	3,05	P83	0,96
P04	1,34	P14	1,24	P24	0,76	P34	0,22	P44	0,61	P54	0,53	P64	1,11	P74	2,72		
P05	0,79	P15	1,00	P25	0,93	P35	0,33	P45	1,16	P55	0,43	P65	0,86	P75	1,74		
P06	3,53	P16	0,88	P26	0,89	P36	0,33	P46	0,76	P56	0,29	P66	0,86	P76	0,67		
P07	2,58	P17	0,92	P27	0,83	P37	0,22	P47	0,76	P57	1,00	P67	1,59	P77	0,86		
P08	1,89	P18	1,49	P28	0,75	P38	0,16	P48	0,79	P58	0,95	P68	1,20	P78	0,95		
P09	1,88	P19	1,16	P29	0,71	P39	0,19	P49	0,79	P59	0,87	P69	0,90	P79	2,14		
P10	1,00	P20	1,10	P30	0,21	P40	0,84	P50	0,78	P60	0,84	P70	0,87	P80	1,13		

< 0,60 m/s
 > 2,00 m/s

4.1.4.2– Resultados para o Modelo M4-2

Nesse modelo, foi considerado o vento predominante para o período das 12h às 13h, que corresponde ao vento no sentido do azimute 10° , com velocidade média de 2,78 m/s, conforme os dados medidos na estação meteorológica. A direção desse vento faz um ângulo horizontal de aproximadamente 25° em relação a normal à fachada NNW, assim como no modelo anterior, essa é a fachada a barlavento.

As trajetórias dos fluxos de ar apresentaram-se de modo similar as do modelo anterior. Porém, ocorreu no corredor principal um ligeiro deslocamento do ponto de divisão entre os fluxos que foram direcionados para as aberturas da fachada ENE e os que foram direcionados para a fachada WSW, devido à modificação nos campos de pressão das fachadas em função das condições do vento desse modelo.

De modo geral, as velocidades do ar no interior do ambiente aumentaram e houve redução nas regiões com presença de vórtices, em relação ao modelo anterior.

O número de pontos de registro, com valores dentro da faixa de velocidade do ar adequada (0,6 m/s e 2,0 m/s), foi de 58 pontos. Em 16 postos de trabalho, a velocidade superou o limite máximo, enquanto, em 9 postos de trabalho a velocidade foi menor que o limite mínimo (tabela 4.24).

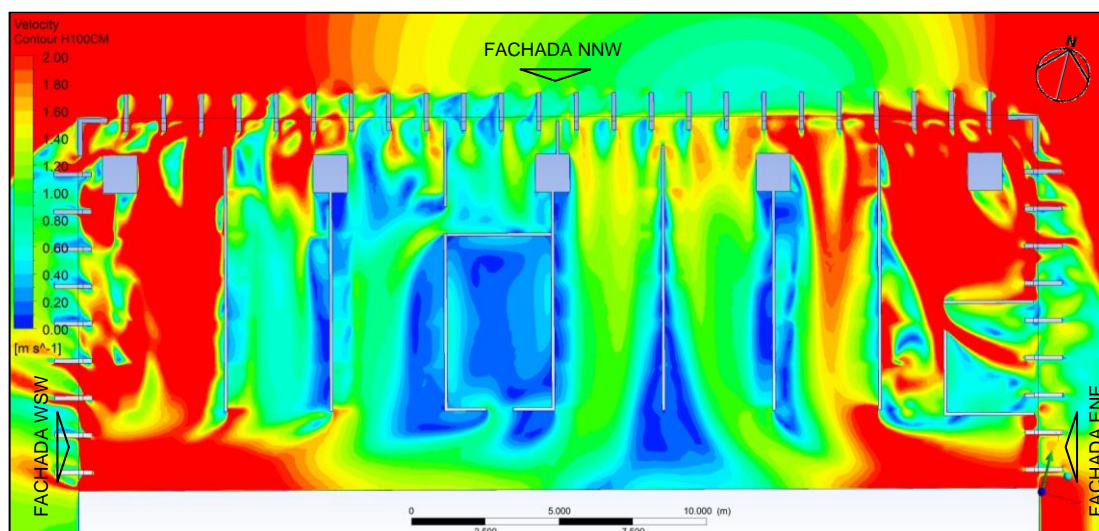


FIGURA 4.93 – Isovels no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

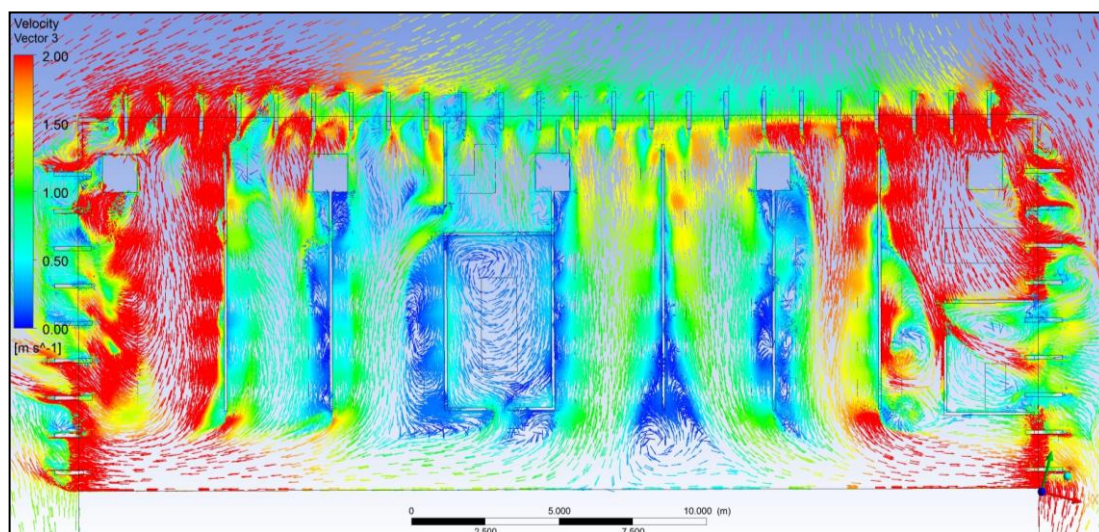


FIGURA 4.94 – Vetores de velocidade no PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

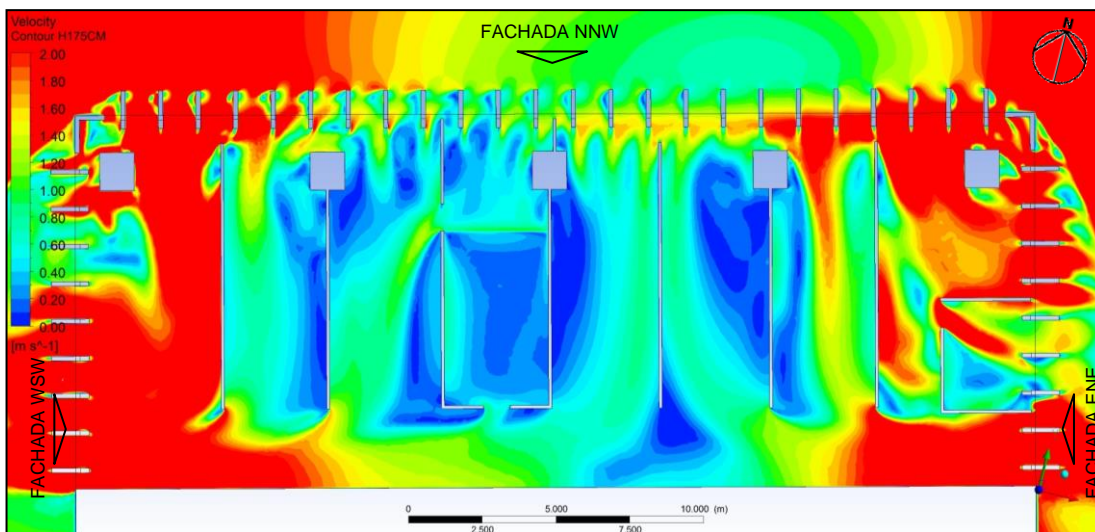


FIGURA 4.95 – Isovels no plano PH2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

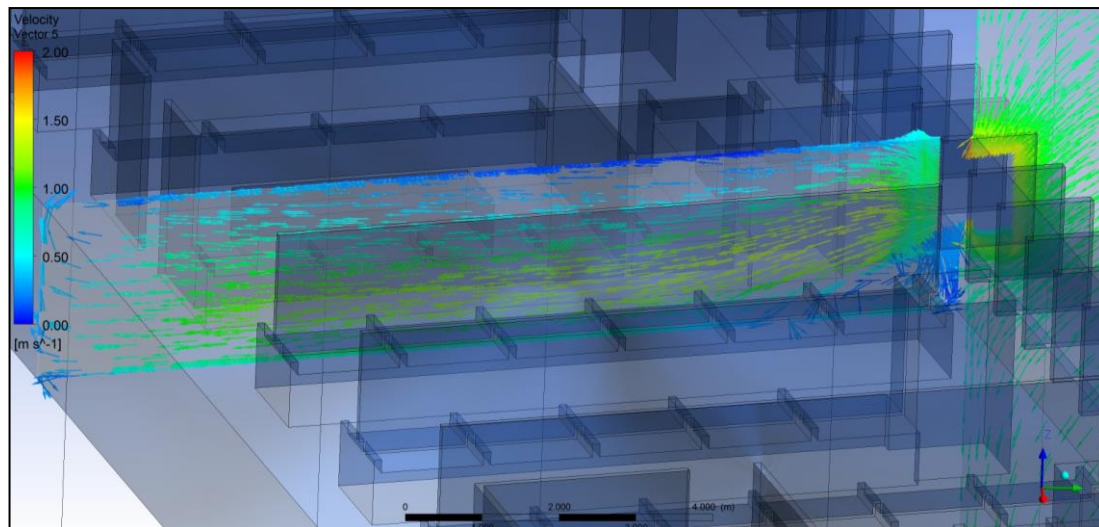


FIGURA 4.96 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Tabela 4.24 – Velocidade do vento nos pontos de registro (m/s) _ modelo M4-2

P01	3,89	P11	2,39	P21	0,64	P31	0,31	P41	0,84	P51	1,69	P61	0,94	P71	1,53	P81	1,77
P02	3,32	P12	0,77	P22	0,62	P32	0,28	P42	0,77	P52	1,21	P62	1,43	P72	1,53	P82	2,02
P03	2,27	P13	0,67	P23	0,41	P33	0,75	P43	0,64	P53	1,12	P63	0,89	P73	3,42	P83	0,61
P04	2,00	P14	0,76	P24	0,68	P34	0,32	P44	0,97	P54	1,06	P64	1,03	P74	3,62		
P05	1,32	P15	0,76	P25	0,90	P35	0,34	P45	1,61	P55	1,04	P65	1,21	P75	3,52		
P06	4,06	P16	0,74	P26	0,88	P36	0,35	P46	1,37	P56	0,89	P66	1,13	P76	1,21		
P07	3,22	P17	0,84	P27	0,88	P37	0,29	P47	1,21	P57	1,10	P67	1,74	P77	1,26		
P08	3,62	P18	0,97	P28	0,96	P38	0,22	P48	1,14	P58	0,83	P68	2,01	P78	1,80		
P09	3,39	P19	0,77	P29	1,10	P39	0,25	P49	1,06	P59	0,81	P69	1,89	P79	3,17		
P10	2,85	P20	0,69	P30	0,63	P40	1,14	P50	0,89	P60	0,82	P70	1,73	P80	2,43		

< 0,60 m/s
 > 2,00 m/s

4.1.4.3– Resultados para o Modelo M4-3

Para a análise desse modelo, foi considerado o vento predominante para o período das 14h às 18h, que corresponde ao vento no azimute 160° , com velocidade de 5,03 m/s, segundo os dados medidos na estação meteorológica.

As trajetórias dos fluxos deste modelo foram similares as trajetórias dos modelos anteriores M4-1 e M4-2. O fluxo de ar entra no escritório através das aberturas da fachada NNW, percorre os espaços de trabalho e sai pelas aberturas nas fachadas adjacentes (figuras 4.98 e 4.100).

Este modelo apresentou, nos ambientes intermediários, baixas taxas de ventilação e aumento de zonas com formação de vórtices. Entretanto, nos ambientes com aberturas voltadas para as fachadas ENE e WSW, as condições de ventilação são melhores (figuras 4.97 e 4.99).

Do mesmo modo que os outros modelos, os quais o fluxo de ar penetra pelas aberturas a sota-vento, foram observadas velocidades do ar abaixo de 0,6 m/s na maioria dos pontos de registro; em apenas dez postos de trabalho os valores de velocidade estão na faixa ideal (tabela 4.25).

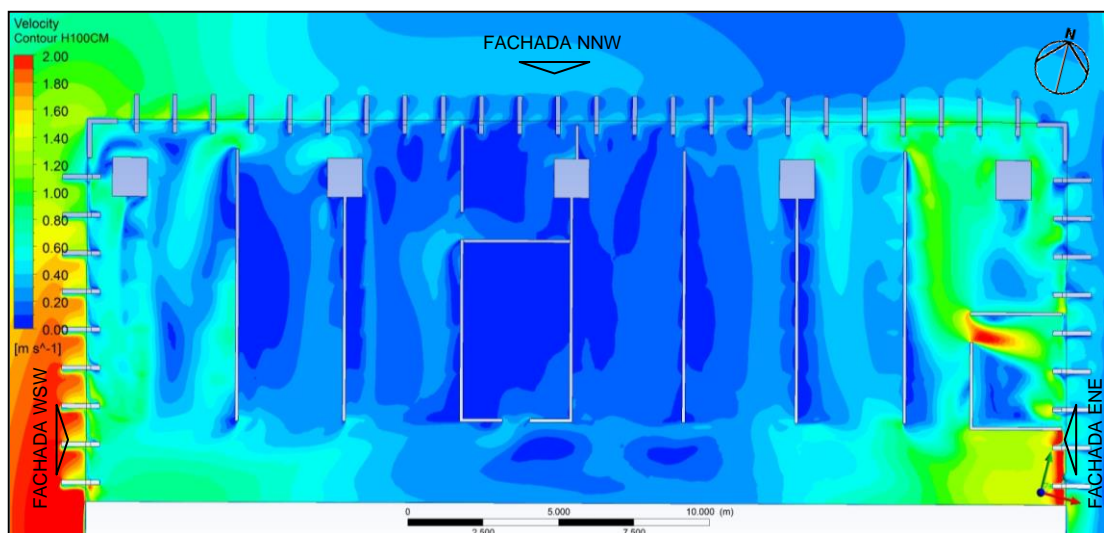


FIGURA 4.97 – Isovels no plano PH1. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

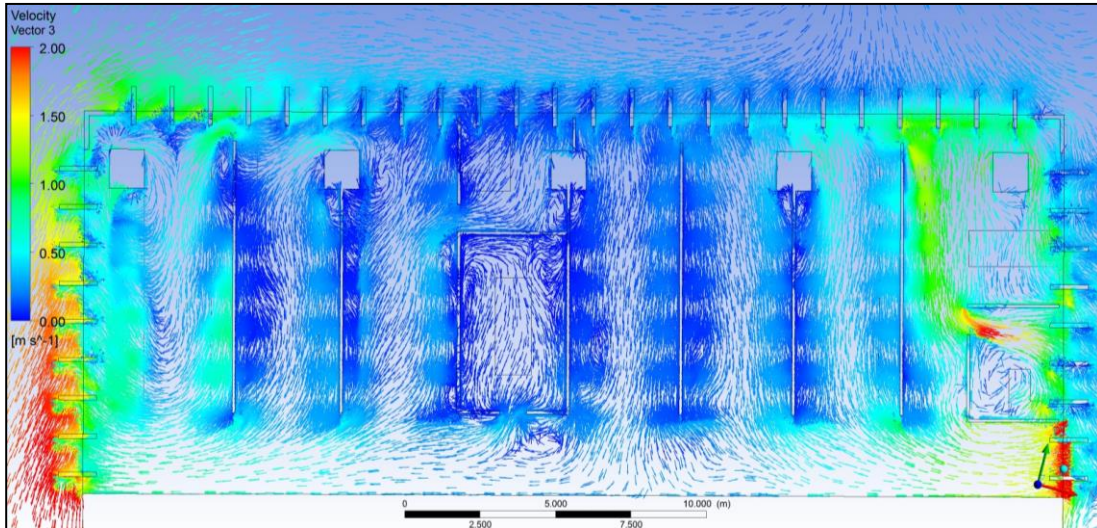


FIGURA 4.98 – Vetores de velocidade no PH2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

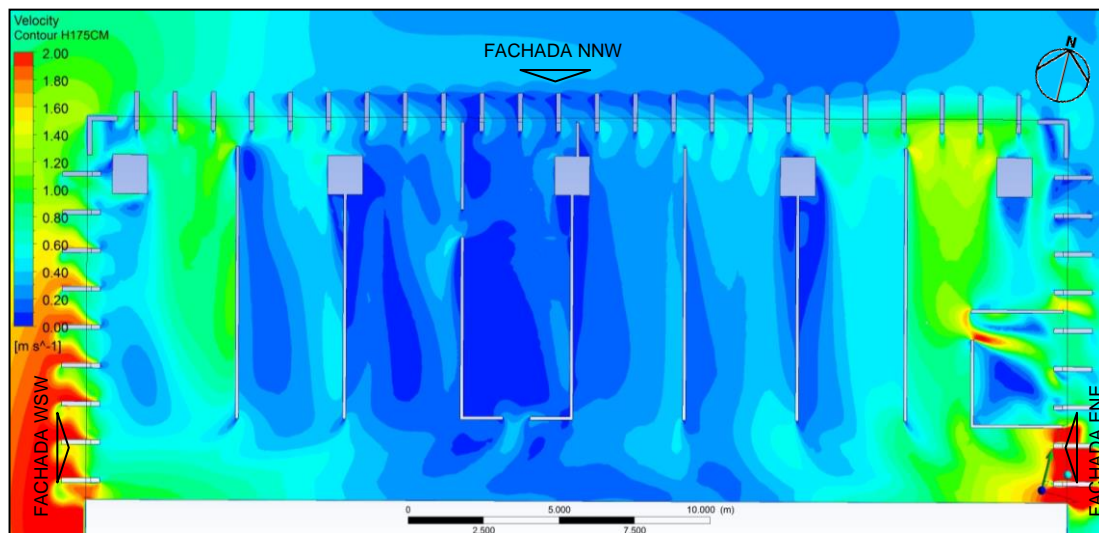


FIGURA 4.99 – Isovels no plano PH5. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

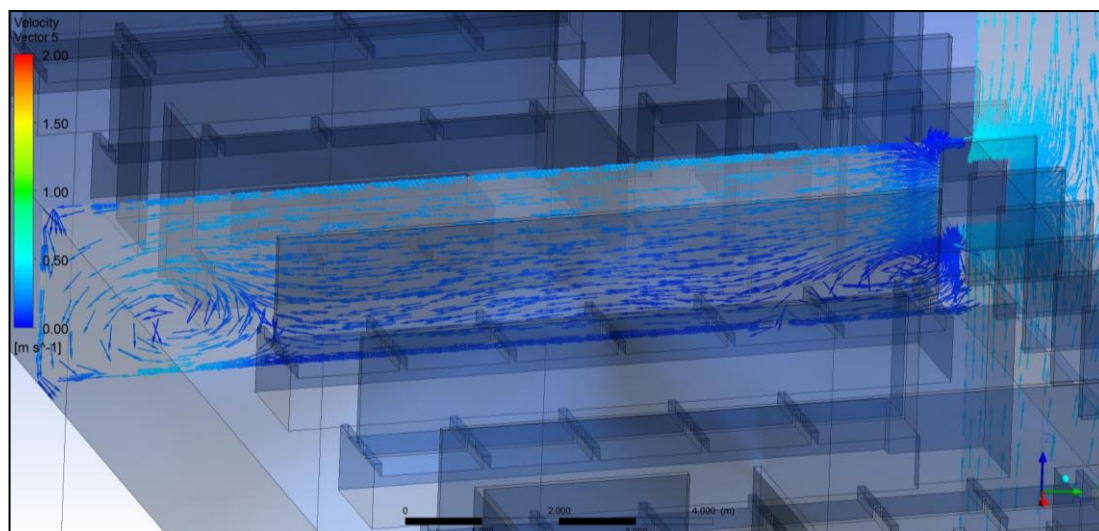


FIGURA 4.100 – Vetores de velocidade no plano PV2. Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

P01	0,30	P11	0,44	P21	0,22	P31	0,17	P41	0,13	P51	0,22	P61	0,27	P71	0,33	P81	0,73
P02	0,36	P12	0,21	P22	0,25	P32	0,19	P42	0,12	P52	0,16	P62	0,52	P72	0,41	P82	0,43
P03	0,22	P13	0,12	P23	0,10	P33	0,05	P43	0,13	P53	0,14	P63	0,44	P73	0,97	P83	0,87
P04	0,28	P14	0,07	P24	0,14	P34	0,05	P44	0,16	P54	0,14	P64	0,37	P74	1,00		
P05	0,29	P15	0,05	P25	0,16	P35	0,05	P45	0,11	P55	0,15	P65	0,33	P75	1,01		
P06	0,67	P16	0,11	P26	0,17	P36	0,05	P46	0,11	P56	0,17	P66	0,26	P76	1,05		
P07	0,50	P17	0,23	P27	0,18	P37	0,01	P47	0,13	P57	0,30	P67	0,30	P77	0,62		
P08	0,32	P18	0,19	P28	0,18	P38	0,12	P48	0,14	P58	0,24	P68	0,34	P78	0,56		
P09	0,32	P19	0,17	P29	0,30	P39	0,13	P49	0,16	P59	0,23	P69	0,32	P79	0,59		
P10	0,39	P20	0,20	P30	0,21	P40	0,13	P50	0,16	P60	0,25	P70	0,30	P80	0,35		

 < 0,60 m/s  > 2,00 m/s

4.1.4.4– Considerações sobre o Modelo 4

De acordo com os resultados apresentados no Modelo 4, para as direções do vento com ângulo de incidência de 0° e 10°, as condições de ventilação estão adequadas na maioria dos pontos de maior permanência dos usuários.

Na sala de reuniões, a velocidade do ar poderia ser incrementada através do direcionamento do fluxo por meio de palhetas instaladas na abertura de entrada, e com o aumento da área da abertura para exaustão do ar. Na fachada a barlavento as janelas pivotantes podem ter as suas folhas ajustadas, em ângulos que direcionem os jatos de ar para os locais de maior permanência, em que ocorram baixas velocidades de circulação do ar. Em locais de trabalho, onde as velocidades do ar são altas, acima de 2 m/s, há a possibilidade dos usuários ajustarem as janelas conforme as suas necessidades.

4.2– Simulação com o programa AEOLUZ MZ

A estimativa sobre a qualidade do ar interior no escritório, sob as condições existentes será a seguir tratada. Objetiva-se verificar se na condição atual de funcionamento, este apresenta condições satisfatórias de ar respirável. Para tanto, é utilizado o programa computacional AEOLUS-MZ, e requer do prédio: dados de sua arquitetura e de implantação, além das características do sítio e das condições dos ventos. Assim, são utilizadas as informações já obtidas com a simulação realizada com o software CFX para o caso do modelo M1, para as três direções principais dos ventos. O fluxo de ar penetrou no ambiente pelas aberturas localizadas na fachada 1 (NNW) e saiu pelas aberturas localizadas nas fachadas 2 (ENE) e 4 (WSW),

conforme ilustrado na figura 4.101. Os resultados desse modelo também apresentaram as trajetórias dos fluxos no interior do ambiente.

A partir dessas informações, juntamente com outros dados de entrada, foi realizada a simulação de um modelo de escritório com as características arquitetônicas um pouco mais simplificadas que aquela da DOCM, objetivando analisar o seu nível de qualidade do ar interno. As simplificações consideradas foram as seguintes: as divisórias agora consideradas são do tipo piso-teto, e não foi incluído o mobiliário. Em relação às esquadrias da fachada, como estas são compostas de painéis fixos alternados com janelas projetantes, adotou-se apenas um vão para cada parede dos compartimentos, já descontadas as larguras dos painéis fixos (tabela 4.27).

O escritório foi dividido em oito zonas, e cada ambiente corresponde a uma zona. No entanto, as duas salas de reuniões (zonas 7 e 8), não serão consideradas no cálculo, visto que esses ambientes só possuem uma abertura, resultando em estagnação do ar e baixa qualidade do ar (figura 4.101). A figura 4.102 e as tabelas 4.26 e 4.28 apresentam os dados de entrada adotados na simulação.

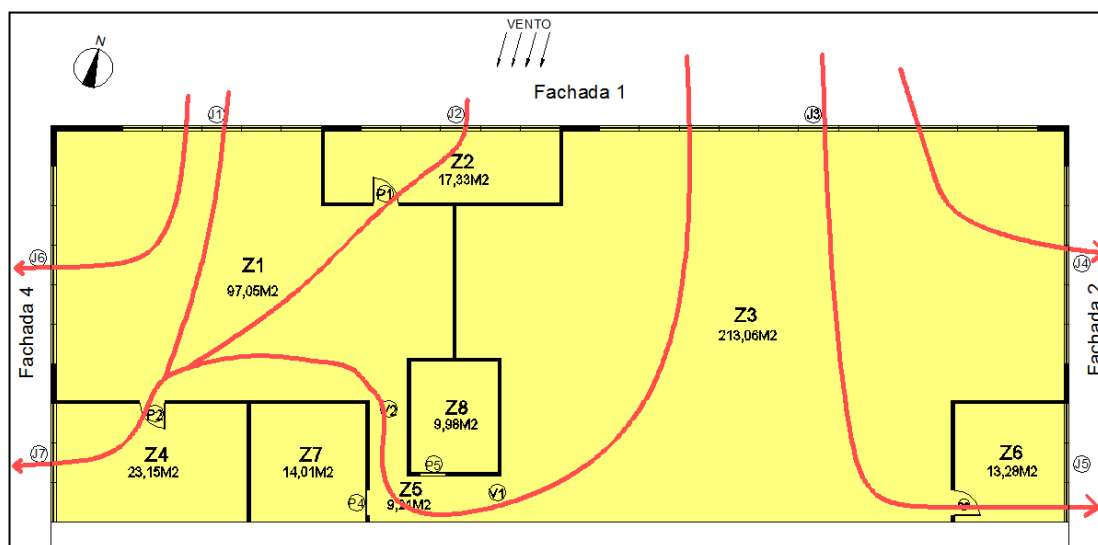


FIGURA 4.101 – Trajetórias dos fluxos de ar no escritório. Fonte: Autor.

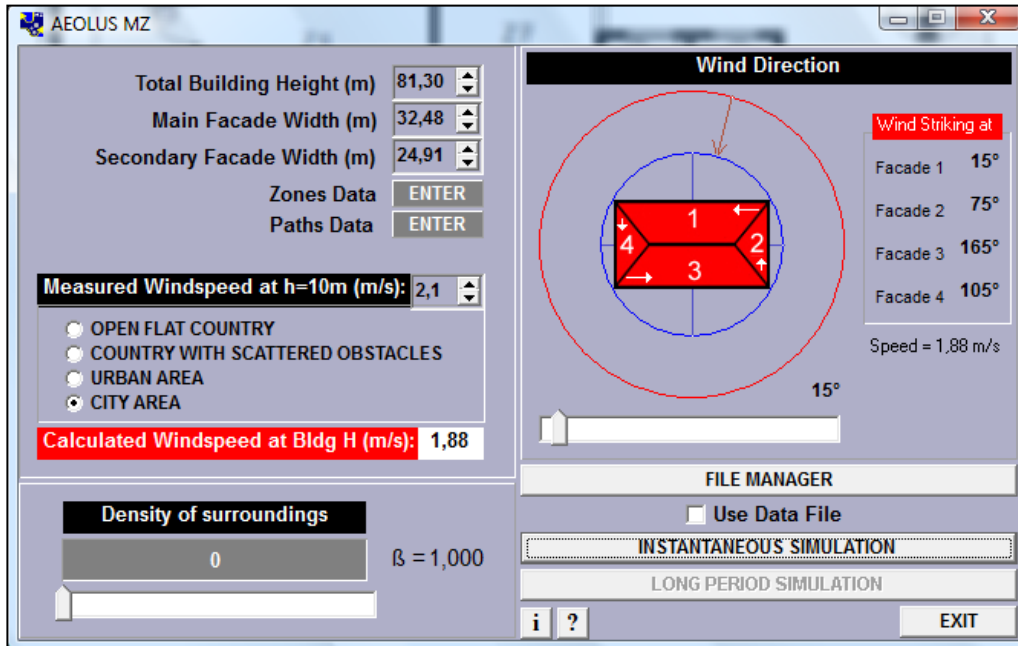


FIGURA 4.102 – Ilustração sobre dados de entrada relativos ao EBL.

Fonte: AEOLUZ MZ, 2014.

Tabela 4.26 - Dados de entrada relativos às características físicas e de ocupação dos ambientes. Fonte: AEOLUZ MZ, 2014.

Zone #	Volume	Surface	Elevation	Temperat	N-People	%-Smok	Amb-type	Activity
<input checked="" type="checkbox"/> 0			55,00	30,00				
<input checked="" type="checkbox"/> 1	233,89	97,05	55,00	26,00	18	0	1	3
<input checked="" type="checkbox"/> 2	41,77	17,33	55,00	26,00	1	0	1	3
<input checked="" type="checkbox"/> 3	513,47	213,06	55,00	26,00	43	0	1	3
<input checked="" type="checkbox"/> 4	55,79	23,15	55,00	26,00	6	0	1	3
<input checked="" type="checkbox"/> 5	22,20	9,21	55,00	26,00	0	0	1	3
<input checked="" type="checkbox"/> 6	32,00	13,28	55,00	26,00	1	0	1	3
<input type="checkbox"/> 7								
<input type="checkbox"/> 8								
<input type="checkbox"/> 9								
<input type="checkbox"/> 10								

Type of ambient of the zone	Type of activity inside the zone
Type 1 = NORMAL POLLUTING AMBIENT Type 2 = SPECIAL NO POLLUTING AMBIENT	Type 1 = PEOPLE RESTING Type 2 = PEOPLE WORKING ACTIVELY Type 3 = PEOPLE WORKING SEATED, AT OFFICES Type 4 = PEOPLE WORKING HARD, GYMNASTICS

Tabela 4.27 – Características dos vãos e das esquadrias

	Nomenclatura	Tipologia	Abertura (%)	Altura (Win H)	Largura total	Largura efetiva	Peitoril	Dist y	Dist x
Vão	V1	-	100	2,41	1,49	1,49	-	53,34	12,99
	V2	-	100	2,41	1,22	1,22	-	53,34	21,73
Janela	J1	Projetante	60	1,51	6,35	3,81	0,9	53,79	27,04
	J2	Projetante	60	1,51	6,35	3,81	0,9	53,79	19,42
	J3	Projetante	55	1,51	13,97	7,62	0,9	53,79	7,99
	J4	Projetante	60	1,51	6,35	3,81	0,9	53,79	20,47
	J5	Projetante	67	1,51	3,79	2,53	0,9	53,79	14,15
	J6	Projetante	60	1,51	6,35	3,81	0,9	53,79	4,44
	J7	Projetante	67	1,51	3,79	2,53	0,9	53,79	10,76
Porta	P1	Abrir	100	2,1	0,80	0,8	-	53,19	21,80
	P2	Abrir	100	2,1	0,80	0,8	-	53,19	29,27
	P3	Abrir	100	2,1	0,80	0,8	-	53,19	12,86
	P4	Abrir	100	2,1	0,80	0,8	-	53,19	12,86
	P5	Abrir	100	2,1	0,80	0,8	-	53,19	20,30

Tabela 4.28 - Dados de entrada relativos às trajetórias dos fluxos de ar entre os ambientes. Fonte: AEOLUZ MZ, 2014.

	Path #	Type	f-Zone	t-Zone	Facade	Dist Y	Dist X	Win H	Win W	F Exp	F Coef	P Coef
<input checked="" type="checkbox"/>	1		0	3	1	53,79	7,99	1,51	7,62	0,50	9,0472	0,90
<input checked="" type="checkbox"/>	2		3	6	0	53,19	12,86	2,10	0,80	0,50	1,3166	0,00
<input checked="" type="checkbox"/>	3		0	6	2	53,79	14,15	1,51	2,53	0,50	3,0039	-0,35
<input checked="" type="checkbox"/>	4		0	3	2	53,79	20,47	1,51	3,81	0,50	4,5236	-0,90
<input checked="" type="checkbox"/>	5		3	5	0	53,34	12,99	2,41	1,49	0,50	2,8141	0,00
<input checked="" type="checkbox"/>	6		1	5	0	53,34	21,73	2,41	1,22	0,50	2,3042	0,00
<input checked="" type="checkbox"/>	7		1	4	0	53,19	29,27	2,10	0,80	0,50	1,3166	0,00
<input checked="" type="checkbox"/>	8		0	4	4	53,79	10,76	1,51	2,53	0,50	3,0039	-0,67
<input checked="" type="checkbox"/>	9		0	3	1	53,79	7,99	1,51	7,62	0,50	9,0472	0,90
<input checked="" type="checkbox"/>	10		0	3	2	53,79	20,47	1,51	3,81	0,50	4,5236	-0,90
<input checked="" type="checkbox"/>	11		0	2	1	53,79	19,42	1,51	3,81	0,50	4,5236	0,85
<input checked="" type="checkbox"/>	12		1	2	0	53,19	21,80	2,10	0,80	0,50	1,3166	0,00
<input checked="" type="checkbox"/>	13		1	4	0	53,19	29,27	2,10	0,80	0,50	1,3166	0,00
<input checked="" type="checkbox"/>	14		0	4	4	53,79	10,76	1,51	2,53	0,50	3,0039	-0,67
<input checked="" type="checkbox"/>	15		0	1	1	53,79	27,04	1,51	3,81	0,50	4,5236	0,55
<input checked="" type="checkbox"/>	16		0	1	4	53,79	4,44	1,51	3,81	0,50	4,5236	-0,66
<input checked="" type="checkbox"/>	17		0	1	1	53,79	27,04	1,51	3,81	0,50	4,5236	0,55
<input checked="" type="checkbox"/>	18		1	4	0	53,19	29,27	2,10	0,80	0,50	1,3166	0,00
<input checked="" type="checkbox"/>	19		0	4	4	53,79	10,76	1,51	2,53	0,50	3,0039	-0,67
<input type="checkbox"/>	20											

Set ASHRAE Cp, C, N EXIT

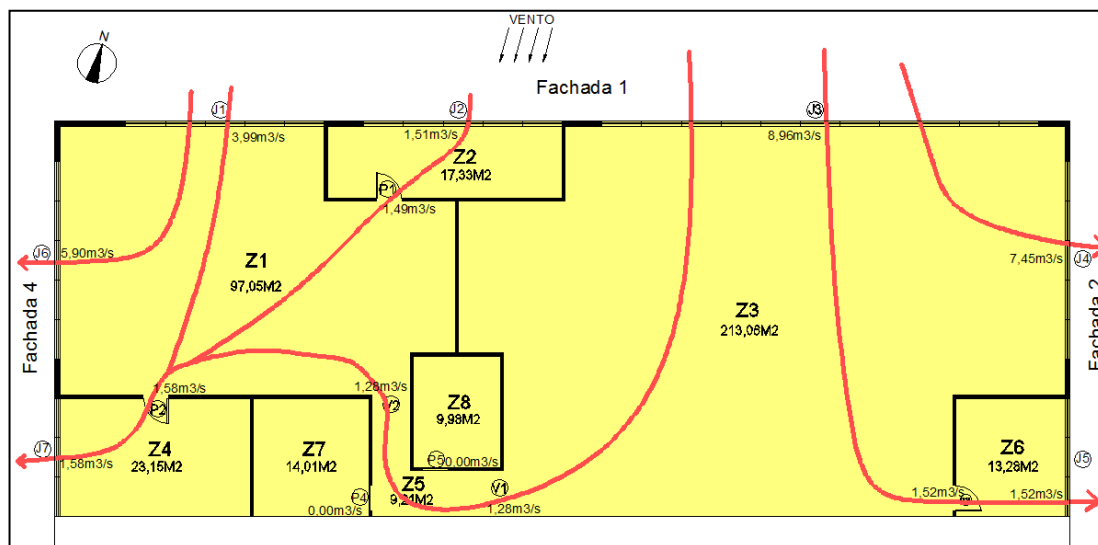


FIGURA 4.103 – Taxa de vazão do ar entre os ambientes. Fonte: Autor.

Tabela 4.29 – Resultados da simulação

Zona	Vazão total (m ³ /s)	Nº de renovações/h	Decipol	PPI (%)
Z1	10,75	165,53	0,07	0,74
Z2	1,51	130,21	0,05	0,44
Z3	17,92	125,66	0,07	0,73
Z4	4,75	306,36	0,10	1,29
Z5	1,28	207,50	0,10	1,22
Z6	1,52	170,60	0,11	1,45

Comparando os valores apresentados na tabela 4.29 com aqueles prescritos na tabela 1.9 do capítulo 1, verifica-se que as seis zonas analisadas neste modelo apresentaram níveis de qualidade de ar em ambiente interno, classificados como altos. Esta classificação também se aplica aos outros modelos propostos nas simulações do item 4.1, visto que o número de renovações /hora, devido à ventilação natural naqueles modelos, foi superior.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

A avaliação dos efeitos dos ventos para a ventilação de uma edificação é um assunto que requer conhecimentos específicos de várias áreas do conhecimento além da arquitetura. Pois, são necessários para um estudo teórico: as características do prédio e do andar objeto de análise com detalhes de *layout* e fenestrações; forma e perfil de ocupação; dados meteorológicos e do sítio de implantação; habilidade na utilização de programas computacionais (maquetes e simulações); conhecimentos de mecânica dos fluidos e turbulência. Assim, na presente pesquisa de mestrado procurou-se ao longo do tempo desenvolver um estudo que fosse objetivamente dirigido a um prédio e mais detidamente a um andar deste, ocupado por escritório e que na situação atual utiliza um sistema mecânico de condicionamento do ar. Procurou-se verificar a possibilidade de ser utilizada a ventilação natural neste escritório para uma situação de verão no Rio de Janeiro. Para tanto, foram realizadas muitas simulações sobre as condições de escoamento do ar com o software CFX para alguns modelos, considerando-se o caso base atual e implementações em termos de *layout* e fenestrações. A qualidade do ar interior no escritório foi também avaliada pela teoria de Fanger, através do software AEOLUS-MZ.

Os resultados indicaram que não há condições adequadas de ventilação natural, para trazer benefícios ao conforto higrotérmico dos usuários, no modelo do escritório existente (Modelo 1). Por outro lado, os resultados indicaram ser a situação atual do escritório adequada em termos da qualidade do ar interior.

No intuito de melhorar o aproveitamento da ventilação natural, foram propostas modificações em três dispositivos arquitetônicos: janelas, painéis divisórios e mobiliário.

Os resultados apontaram que a tipologia da janela influenciou significativamente a distribuição e a velocidade dos fluxos de ar no ambiente interno. Entre as tipologias analisadas, a janela pivotante vertical apresentou o melhor desempenho, pois possui maior área efetiva de abertura e maior possibilidade de ajuste das correntes de ar internas. Na fachada a barlavento, notou-se a presença de correntes de ar com direções variadas, por influência dos campos de pressão, assim, dependendo da localização das aberturas, o sentido do fluxo de ar não será normal à

janela, no entanto, as janelas pivotantes podem influenciar essas zonas de pressão e induzir o fluxo perpendicularmente para o interior do ambiente. Cabe destacar, que essa tipologia exerce maior influência no escoamento horizontal, assim, como sugestão para futuros estudos, poderia ser testada a combinação dessa tipologia com brises horizontais móveis, dessa forma, haveria possibilidades de direcionamento do fluxo, tanto para a parte superior ou inferior do ambiente, quanto para as partes laterais.

As divisórias demonstraram exercer papel fundamental na ventilação natural, através da sua localização e dimensões. No Modelo 1 (caso base), a localização desfavorável desses elementos relacionada com a ventilação contribuiu para má distribuição e baixas velocidades do ar. No modelo 3, o qual utilizou a mesma planta de layout constante no Modelo 1 e janela pivotante vertical, o uso de divisórias baixas (90 cm) contribuiu para que o fluxo de ar atingisse os usuários em algumas estações de trabalho, por outro lado, não possibilitou o direcionamento do fluxo nos postos de trabalho localizados na região central do escritório, onde ocorre baixa circulação do ar devido a localização destes em relação às aberturas. Enquanto, no Modelo 4, que foi proposto novo layout e o uso da janela pivotante vertical, a reconfiguração dos espaços de trabalho, o qual buscou conciliar o uso da ventilação natural com as outras necessidades, atingiu-se boas condições de ventilação com o uso combinado de divisórias piso-teto e divisórias baixas.

Os resultados demonstraram que a geometria das estações de trabalho influenciou os fluxos de ar ao nível do usuário. Mesas em formato 'L' podem barrar as correntes de ar e criar vórtices, nas regiões onde estão localizados os usuários, enquanto as mesas lineares permitiram que as correntes de ar atingissem os usuários.

Além desses elementos arquitetônicos, o pilar, que é um elemento estrutural, exerceu significativa influência na distribuição das correntes de ar. Em edifícios novos ou em reabilitações, para uma utilização da ventilação natural como estratégia de conforto, seria importante incluir como solução de projeto, seções de pilares com formato aerodinâmico.

As simulações indicaram o potencial no uso da ventilação natural como estratégia bioclimática para o Modelo 4, dentro do período de ocupação do escritório, das 7 às 14 horas, após esse horário, os ventos predominantes passam a incidir na

empena do edifício, resultando baixas velocidades do ar no interior do escritório. Porém, em condições climáticas que favoreçam o conforto, velocidades de ar baixas podem ser suficientes para dissipar o calor gerado no interior do ambiente, por equipamentos, usuários e luminárias, e também pode melhorar a qualidade do ar. Por outro lado, segundo as escalas de sensações térmicas da tabela 2.1, nos meses mais quentes (janeiro, fevereiro e março) o uso da ventilação natural pode limitar-se a um período menor, como das 7 às 11 horas.

Para resultados mais conclusivos, sobre o conforto higrotérmico do usuário nesse tipo de ambiente, devem ser feitos estudos que envolvam simulações concomitantes de carga térmica e de ventilação natural.

O presente estudo limitou-se às condições propostas nos modelos, que incluem algumas simplificações e dados de entrada fixos. Os resultados obtidos nessas condições são valores médios em termos temporais e podem não coincidir com medidas instantâneas medidos *in loco*, no entanto, podem servir de orientação em futuros estudos ou projetos sobre o comportamento dos fluxos de ar neste ambiente de escritório.

Os resultados relacionados com a qualidade do ar interior, objeto de análise, indicaram que a densidade ocupacional de 1pessoa/3,5m², prevista na norma DGMM-0600 (MB, 2002) é adequada para obter nível adequado de qualidade do ar (salubridade).

Como sugestão para estudos posteriores:

- Pesquisas que envolvam medições *in loco* a fim de confrontá-las com os resultados obtidos com modelos numéricos desta dissertação, objetivando verificar a adequabilidade das simplificações geométricas adotadas;
- Estudo do comportamento do escoamento do ar nos escritórios em regime transiente, por meio do programa CFX, no qual poderia incluir, por exemplo, dados de entrada relativos às variações horárias da radiação solar, às cargas térmicas geradas no interior do ambiente e a inércia térmica dos materiais;
- O potencial do uso da ventilação noturna, como estratégia para a economia de energia, em escritórios localizados na cidade do Rio de Janeiro-RJ.

BIBLIOGRAFIA

ABNT, Rio de Janeiro. *NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*. Rio de Janeiro, 2005.

_____. *NBR 9077: Saídas de emergência em edifícios*. Rio de Janeiro, 2001.

ALLARD, FRANCIS. *Natural ventilation in buildings: a design handbook*. London: James & James Science Publishers, 1998.

ASHARE 55-2004. *Thermal environmental Conditions for human occupancy*. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2004.

ASHARE. *Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2004.

AYNSLEY, R. *Estimating summer wind driven natural ventilation potential for indoor thermal comfort*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, v.83, p. 515-525, 1999.

BASTOS, LEOPOLDO E. G. *Notas de aula da disciplina ventilação natural e qualidade do ar interior*. PROARQ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

BITTENCOURT, L.S; CÂNDIDO, C. *Ventilação natural em edificações*. Rio de Janeiro, 2010.

BLOCKEN B, STATHOPOULOS T, CARMELIET J. *CFD simulation of the atmospheric boundary layer: wall function problems*. Atmospheric Environment 41(2): 238-252. Elsevier 2007.

BRANDÃO, R. S. *As Iterações espaciais urbanas e o clima*. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo - Tecnologia da Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. *Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura*. Tradução: Alexandre Ferreira da Silva Salvaterra. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

CASTRO, E. B. P. *Método de auxílio à concepção arquitetônica baseado na análise multicritério e em dados simulados dos comportamentos da edificação*. Tese de doutorado. PEM-COPPE/UFRJ – INSA de Lyon, 2005.

COOK, J. *The state of passive cooling research*. Chapter 7 of passive cooling. Massachusetts: MIT Press, 1989.

CORBELLA, OSCAR; YANNAS, SIMOS. *Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos*. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

COST. *action 14: Recommendations on the use of CFD in predicting pedestrian wind environment*. Bruxelas: COST, 2004.

COST. *Best practice guideline for the CFD simulation of flows in the urban environment*. Hamburg, 2007.

COSTA, LUCIANA CORREA DO NASCIMENTO. *Aproveitamento da ventilação natural nas habitações: um estudo de caso na cidade de Aracajú-SE*. São Paulo: 2009, 272 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CÓSTOLA, DANIEL. *Ventilação por ação do vento no edifício: procedimentos para quantificação*. São Paulo: 2006, 214 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CÓSTOLA, D.; ALLUCI, M. P. *Aplicação de CFD para o cálculo de coeficientes de pressão externos nas aberturas de um edifício*. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 145-158, jan./mar. 2011.

CUNHA, LEONARDO JORGE BRASIL DE FREITAS. *Análise de métodos para aplicação de ventilação natural para projeto de Edificações em Natal-RN*.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

DIFRIENT, N., TILLEY, A., BARDAGJY, J. *Humanscale 1/2/3/4/5/6/7/8/9*. USA: The MIT Press, New York, 1981.

DUFFY, FRANCIS. *Planning Office Space*. New York: The Architectural Press, 1976.

ESSS (Engineering Simulation and Scientific Software). *Introdução à simulação Fluidodinâmica – Teoria de CFD e aplicações com NNSYS CFX*. Material didático utilizado no treinamento de modelagem e análise fluidodinâmica. Rio de Janeiro, 2013.

FANGER, P.O. *Thermal comfort, analysis and applications in environmental engineering*. Danish technical Press, Copenhagen, 1970.

FANGER, P. O. *Projetando boa qualidade de ar em edifícios com ar-condicionado*. In: ABRAVA, n° 128, Ano 16, p. 56-64, 1992.

FANGER, P. O., TOFTUM, J. *Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates*. Energy and Buildings, 2002. vol.34, pp.533-536.

FIGUEIREDO, CÍNTIA MARA DE. *Ventilação natural em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo: limites e possibilidades do ponto de vista do conforto térmico*. São Paulo: 2007, 221 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FONTENELLE, M. R.; BASTOS, L.E.G.; CASTRO, E. B. *Análise comparativa da ventilação natural e qualidade do ar em apartamentos de um edifício residencial multifamiliar no rio de janeiro*. ENCAC. Búzios, 2011.

FRAMPTON, KENNETH. *História crítica da arquitetura moderna*. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. *Manual de conforto térmico*. São Paulo: Studio Nobel, 2005.

GAUZIN-MÜLLER, DOMINIQUE. *Arquitetura Ecológica*. São Paulo: SENAC, 2011.

GIVONI, B. *Man, climate and architecture*. London: Applied Science Publishers, 1976.

GOULART,S., LAMBERTS,R., FIRMINO,S. *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*. UFSC, Florianópolis, SC, 1998.

HERTZ, J. B. *Ecotécnicas em Arquitetura*. Ed. Pioneira, São Paulo, 1988.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL-INMETRO. *Portaria n.º 163/2009: Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)*. Rio de Janeiro, 2009.

_____. *Portaria n.º 185/2009: Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética para Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C)*. Rio de Janeiro, 2009.

_____. *Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C*. Rio de Janeiro, 2009.

ISO 7730. *Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*. Geneve, Switzerland, 1994.

JORGE, LUÍS ANTÔNIO. *O desenho da janela*. São Paulo: Annablume, 1995.

KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, ALAN; SZOKOLAY, S. V. *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Madrid; Paraninfo, 1997.

LAMBERTS, R; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. *Eficiência energética na arquitetura*. São Paulo: PW, 1997.

LAPA, R. C. C.; BASTOS, L. E. G.; SALGADO, M. S. *A qualidade do ar de interiores: estudo de caso em edifício de laboratórios de pesquisa biológica da FIOCRUZ*. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal-RN. Anais dos X ENCAC e VI ELAC. Natal-RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009.

LEITE, CAROLINA GASPAS. *Alterações na ventilação urbana frente ao processo de verticalização de avenidas litorâneas: o caso da avenida litorânea de São Luís/MA*. São Paulo: 2008, 227 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

LÔBO, D.; BITTENCOURT, L. S. *A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos*. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3451/1870>>. Acesso em: 11 março de 2014.

MARCONDES, M.; UMAKOSHI, E. *Ferramentas computacionais para avaliação ambiental de áreas urbanas: estudo de caso em São Paulo*. In: Encontro nacional de conforto no ambiente construído, 9, Encontro latino – americano de conforto no ambiente construído, 2007, Ouro Preto. anais... Ouro Preto: ANTAC, 2007.

MARINHA DO BRASIL, *DGMM-0600 - Normas e Procedimentos Técnico-Administrativos para o Processo de Obtenção de Instalações Terrestres através da Execução de Obras Civis*, 2002.

MARTINS, T.A.L.; BASTOS, L.E.G.; BARROSO-KRAUSE, C. ; BITTENCOURT, L.S.; PASSOS, I. *O uso de torres de vento em edificações residenciais geminadas de meia-morada*. ENCAC. Natal, 2009.

MASCARÓ, LÚCIA R. DE. *Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo*. São Paulo: Projeto, 1991.

- MEEL, J. V.; MARTENS, Y.; REE, H.J. *Como Planejar os Espaços de Escritórios - Guia prático para gestores e designers*. Barcelona: Gustavo Gili, 2012.
- MOURA, MARIANGELA DE. *Iluminação artificial de escritórios: estudo de caso da Sede do IBGE*. Dissertação de mestrado, PROARQ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
- OLGYAY, V. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.
- PERÉN, J. I. *Ventilação e iluminação naturais na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: estudo dos hospitais da rede Sarah Kubitschek Fortaleza e Rio de Janeiro*. Dissertação em Arquitetura e Urbanismo. Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo – Escola de Engenharia de São Carlos, 2006.
- PRATA, ALESSANDRA RODRIGUES. *Impactada altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano*. São Paulo: 2005, 243 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- RIVERO, ROBERTO. *Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural*. Porto Alegre: D.C. Luzzato Editores, 1986.
- RODRIGUES, MARIANA ROCHA. *O conforto acústico no ambiente de trabalho e a percepção dos usuários de escritórios corporativos*. Dissertação de mestrado, PROARQ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- SILVA, FRANCISCO DE ASSIS G. *O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído: uma aplicação ao nordeste do Brasil*. São Paulo: FAU/USP, Tese (Doutorado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- SOUZA, A.A.; POLASTRO, F. A.. *Garantia de maior robustez numérica com o novo gerador de malha do Workbench*. ESSS (Engineering Simulation and Scientific Software), 2010. Disponível em: <<http://www.esss.com.br/blog/pt/category/artigos-tecnicos/tecnologia-de-simulacao/>>. Acesso em: março de 2014.

STRAMANDINOLI, CRISTINA MALAFAIA CAETANO. *Avaliação da qualidade ambiental em espaços urbanos de clima tropical úmido: uma proposta metodológica para espaços residuais*. Rio de Janeiro: FAU/UFRJ, Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

TEIXEIRA, G. M., KESSLER, M. P., MALISKA, C. R. *Fontes de erro: identificar, quantificar e reduzir a intervalos aceitáveis*. ESSS (Engineering Simulation and Scientific Software), 2009. Disponível em: <<http://www.esss.com.br/blog/pt/category/artigos-tecnicos/tecnologia-de-simulacao/cfd/>>. Acesso em: março de 2014.

VERSAGE, ROGÉRIO DE SOUZA. *Ventilação natural e desempenho térmico de edifícios verticais multifamiliares em Campo Grande, MS*. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

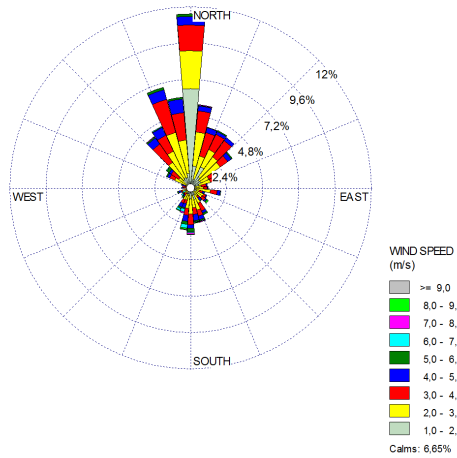
VITRUVIUS POLLIO. *Tratado de arquitetura/Vitrúvio*. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

ZAMBRANO, L. M. DE A.; BASTOS, L. E. G.; FERNANDEZ, P. *Procedimentos e instrumentos para integração dos princípios do desenvolvimento sustentável ao Projeto de arquitetura*. In: V Encontro Nacional e III Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2009, Recife-Pe. Anais do ELECS 2009. Recife: Universidade Federal de Pernambuco.

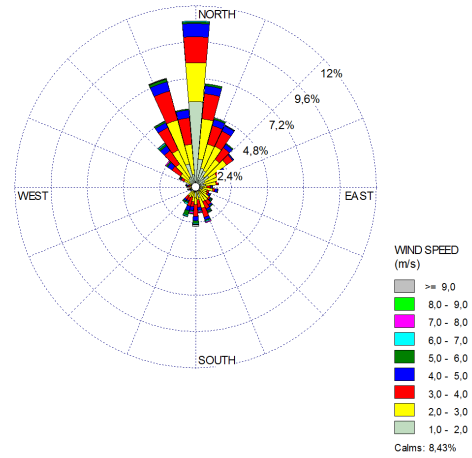
ANEXO 1

Rosas do vento para o período das 7-18h, dados coletados na Estação Meteorológica de Superfície do Aeroporto Santos Dumont (83755) em 01/01/2003 a 31/12/2012.

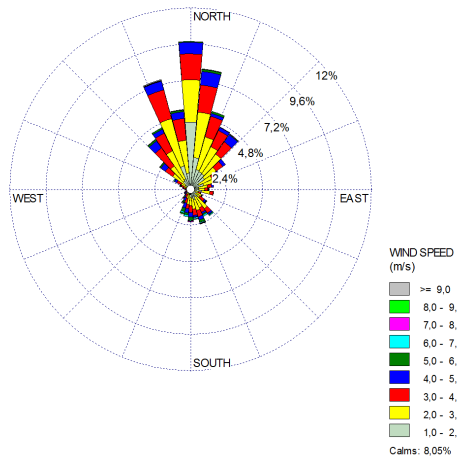
Fonte: <http://bancodedados.cptec.inpe.br>.



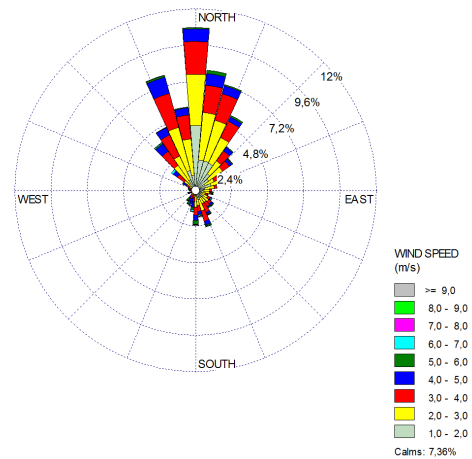
Rosa dos ventos – 7:00h



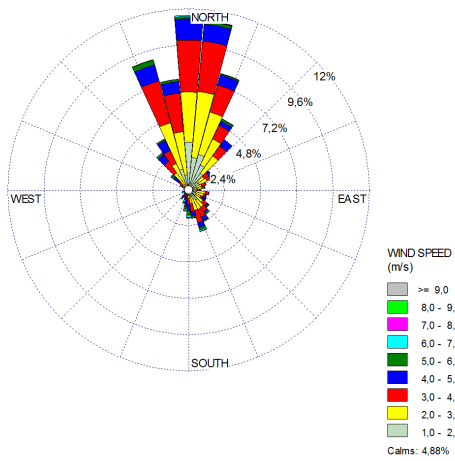
Rosa dos ventos – 8:00h



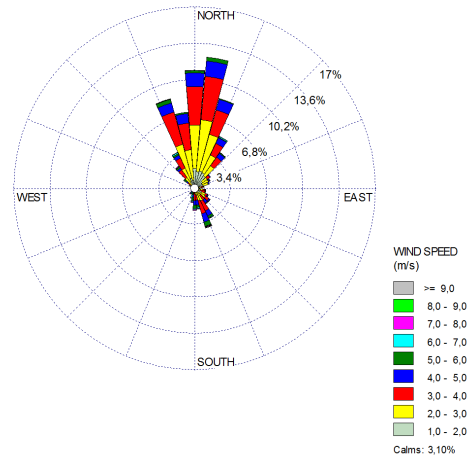
Rosa dos ventos – 9:00h



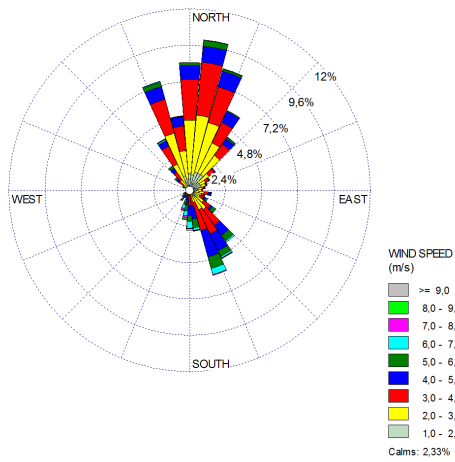
Rosa dos ventos – 10:00h



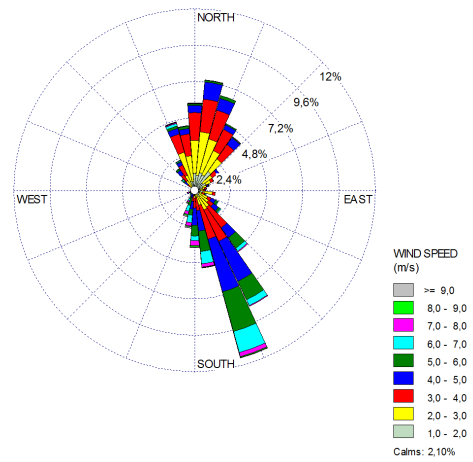
Rosa dos ventos – 11:00h



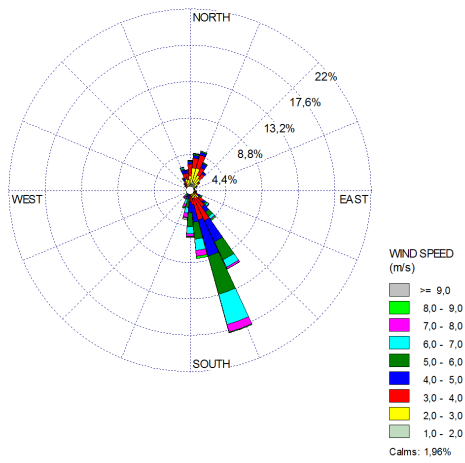
Rosa dos ventos – 12:00h



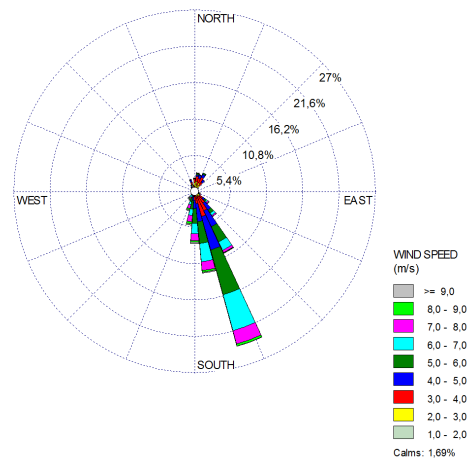
Rosa dos ventos – 13:00h



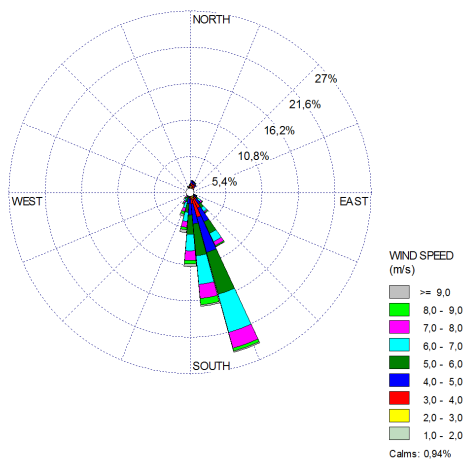
Rosa dos ventos – 14:00h



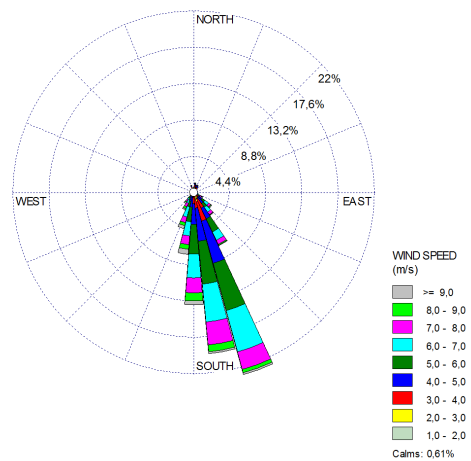
Rosa dos ventos – 15:00h



Rosa dos ventos – 16:00h



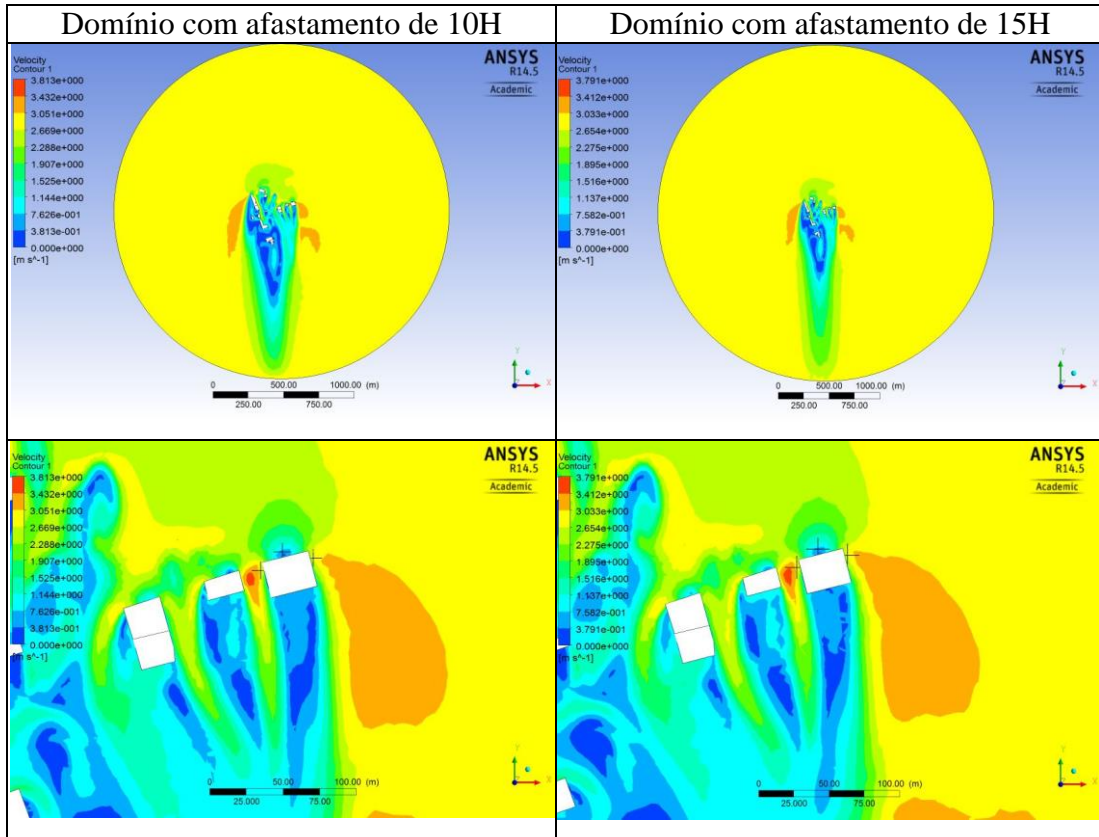
Rosa dos ventos – 17:00h



Rosa dos ventos – 18:00h

ANEXO 2

Teste comparativo entre dois domínios com afastamentos diferentes



ANEXO 3

Altura do primeiro elemento da camada de prismas (Y+)

Os valores do y^+ no escritório variaram entre 0,1 e 369,2, segundo ESSS (2013) e Blocken et al. (2007), o valor mínimo para o modelo de turbulência *standard k- ϵ* ficou abaixo do limite mínimo (30), provavelmente pela baixa velocidade do ar observada em algumas regiões e por refinamentos excessivos. Os valores do y^+ para o EBL variaram entre 2,5 e 1524,0, o que representa valores fora dos limites recomendados por essas fontes bibliográficas, porém justificado pelo emprego de menor refinamento nas superfícies conforme menor proximidade ao objeto de análise. Para os edifícios do entorno e o piso do domínio, os valores de y^+ variaram entre 12,9 e 5291,6, assim o valor máximo ficou muito acima dos valores indicados pela bibliografia, entretanto, essas superfícies são as mais afastadas do escritório (tabela 1).

As figuras 1, 2 e 3 ilustram a distribuição do valor y^+ ao longo das superfícies do modelo M1-1.

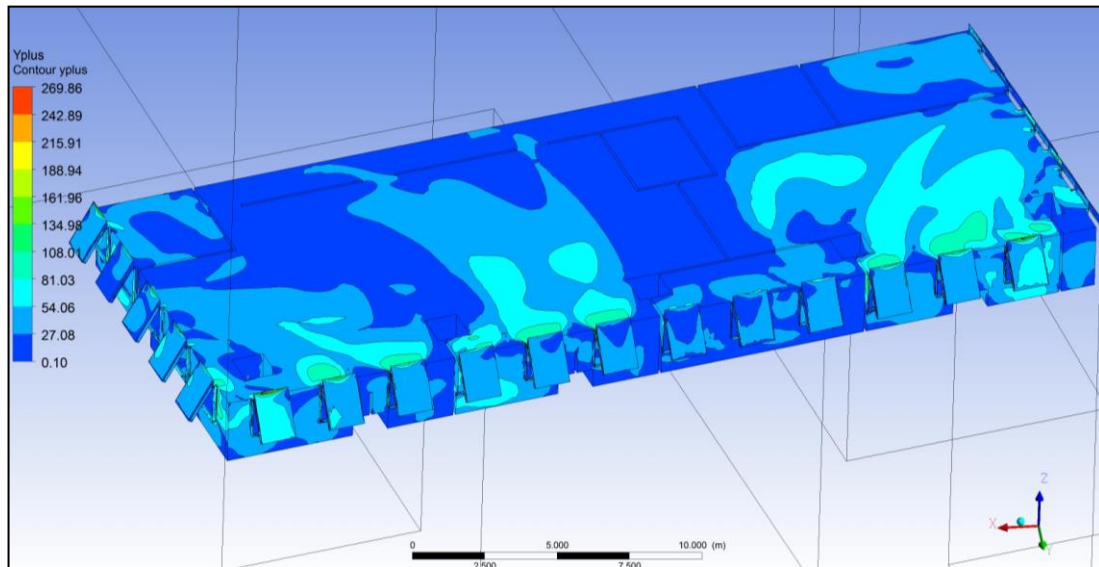


FIGURA 1 – Curvas de y^+ nas superfícies do escritório.

Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

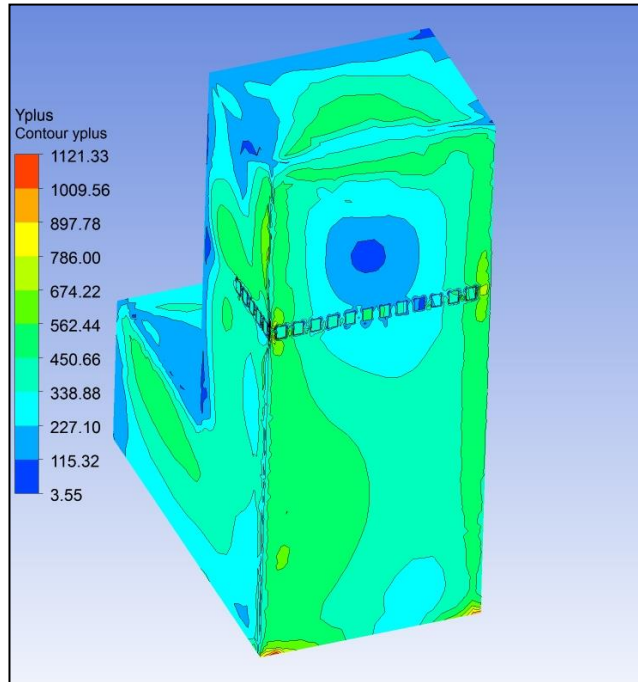


FIGURA 2 – Curvas de y^+ nas superfícies do EBL.

Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

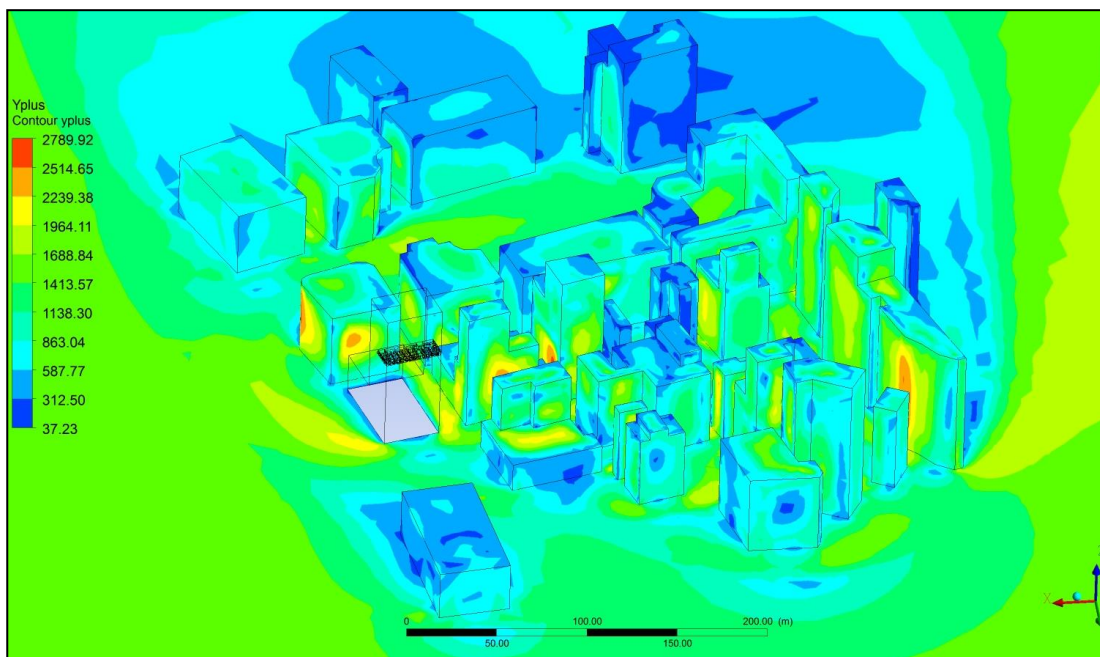


FIGURA 3 – Curvas de y^+ nas superfícies do entorno.

Fonte: ANSYS CFX-Post, 2013.

Tabela 1 – Síntese das faixas dos valores do yplus nas superfícies dos modelos

Modelo	Dir. vento	Vel. vento	DOCM	EBL	Entorno
M1-1	0°	2,12 m/s	0,1-269,9	3,6-1121,3	37,2-2789,9
M1-2	10°	2,78 m/s	0,2-301,4	8,8-1471,8	62,2-3742,8
M1-3	160°	5,03 m/s	0,1-311,7	2,5-1537,8	41,8-5194,4
M2-1	0°	2,12 m/s	1,3-172,4	9,9-1081,1	27,0-2801,7
M2-2	10°	2,78 m/s	3,0-236,8	11,2-1366,0	54,0-3746,9
M2-3	160°	5,03 m/s	0,4-175,9	5,9-1510,7	33,0-5236,7
M2-4	0°	2,12 m/s	3,6-249,2	21,7-1060,9	28,2-2792,0
M2-5	10°	2,78 m/s	4,7-296,0	22,7-1320,1	47,9-3627,4
M2-6	160°	5,03 m/s	0,6-194,9	9,9-1504,9	37,7-5238,7
M2-7	0°	2,12 m/s	2,1-275,9	12,4-1073,3	31,4-2789,0
M2-8	10°	2,78 m/s	3,4-367,4	17,0-1345,7	51,7-3749,0
M2-9	160°	5,03 m/s	1,3-483,1	6,8-1530,7	57,0-5237,1
M2-10	0°	2,12 m/s	1,4-228,3	9,4-1101,4	32,3-2780,9
M2-11	10°	2,78 m/s	2,3-369,2	11,9-1421,9	60,9-3611,6
M2-12	160°	5,03 m/s	1,3-176,6	4,8-1490,7	35,1-5204,4
M3-1	0°	2,12 m/s	0,2-245,7	4,4-1061,2	38,7-2795,0
M3-2	10°	2,78 m/s	0,1-232,9	8,3-1048,2	35,3-2879,1
M3-3	160°	5,03 m/s	0,1-188,4	6,2-1524,0	12,9-5291,6
M4-1	0°	2,12 m/s	0,8-230,4	6,2-1069,8	36,9-2781,2
M4-2	10°	2,78 m/s	0,5-313,3	6,7-1389,3	54,5-3730,7
M4-3	160°	5,03 m/s	0,3-219,3	3,8-1477,4	49,9-5190,7