Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Universidade de São Paulo

TESE

**Impacto da altura de edifícios nas
condições de ventilação natural do meio
urbano.**

ALESSANDRA RODRIGUES PRATA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Anésia Barros Frota

São Paulo

2005

Alessandra Rodrigues PRATA

Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural em meio urbano.
Tese de Doutorado, FAUUSP, São Paulo, 2005.

ALESSANDRA RODRIGUES PRATA

Impacto da Altura de Edifícios nas condições de Ventilação Natural do Meio Urbano.

Tese apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo na área de concentração Estruturas Ambientais Urbanas.

São Paulo
2005

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E
PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

ASSINATURA:

EMAIL: arprata@terra.com.br

Prata, Alessandra Rodrigues
P912i Impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação
natural do meio urbano / Alessandra Rodrigues Prata. --São Paulo,
2005.
243 p. : il.

Tese (Doutorado – Área de Concentração: Estruturas
Ambientais Urbanas) - FAUUSP.

Orientadora: Anésia Barros Frota

1.Ventilação natural 2.Impactos ambientais 3.Softwares
I.Título

CDU 697.921.2

Serviço de Biblioteca e Informação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da
USP

Alessandra Rodrigues PRATA

Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural em meio urbano.
Tese de Doutorado, FAUUSP, São Paulo, 2005.

FOLHA DE APROVAÇÃO

PRATA, Alessandra Rodrigues. *Impacto da Altura de Edifícios nas condições de Ventilação Natural do Meio Urbano.* Tese apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor.

Área de concentração: Estruturas Ambientais Urbanas.

Aprovado em / /

Banca Examinadora

1. Prof (ª.) Dr (ª.): **Anésia Barros Frota**

Titulação: **Professora Doutora - Orientadora**

Instituição: **FAUUSP**

Assinatura:

2. Prof (ª.) Dr (ª.): _____

Titulação: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

3. Prof (ª.) Dr (ª.): _____

Titulação: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

4. Prof (ª.) Dr (ª.): _____

Titulação: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

5. Prof (ª.) Dr (ª.): _____

Titulação: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

*“Espero que esta pequena semente possa ser transportada pelo vento
e que gere novos frutos!!!”*

Alessandra Rodrigues PRATA

Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural em meio urbano.
Tese de Doutorado, FAUUSP, São Paulo, 2005.

DEDICATÓRIA

Aos meus Pais, minha irmã e ao Celso
pela paciência, carinho e compreensão em todos os momentos
deste meu caminho!

AGRADECIMENTOS

A todos que até este momento me fizeram crescer e acreditar na vida profissional

Ao Prof. Dr. Marcelo de Andrade Romero, primeiro orientador, por ter me recebido na FAUUSP

À Profa. Dra. Anésia Barros Frota, Minha Orientadora, por ter junto comigo, acreditado no *vento* e assim, me acompanhado nesta jornada experimental

À Prof^a. Dr^a. Márcia Peinado Alucci (Coordenadora do LABAUT - Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética/FAUUSP) que me recebeu neste laboratório, e confiou em meu trabalho, pela compreensão e apoio nos momentos solicitados

Ao Prof. Dr. Jorge A. Gil Saraiva do Laboratório Nacional de Engenharia Civil LNEC/Portugal, a quem agradeço pela atenção dispensada no estágio realizado no LNEC e pelo atendimento à muitas dúvidas desta pupila em treinamento

Aos funcionários do LNEC: Cristina Garção (Documentação), Sr. Armênio e Sr. Cláudio (Marcenaria - confecção do material em madeira: blocos, prancha e o arruamento e, pelo capricho, paciência e atenção a que me foram prestados), Sra. Margarida e todas as suas colegas de trabalho (material/Fotocópias), Engenheiro Fernando Marques da Silva e Engenheiro Alexandre Santos pelo apoio e dedicação aos ensaios no túnel, pelas dicas e histórias sobre a bela Lisboa e Portugal e, que na Avenida do Brasil, fizeram-me sentir em casa

Ao Prof. Dr. Marcos Tadeu Pereira, Engenheiro Mecânico, Chefe do Laboratório de Vazão do Agrupamento de Vazão do Instituto de Pesquisas Tecnológicas S.A.- IPT, ao Gilder Nader (pela atenção e recomendações direcionadas no Exame de Qualificação) e ao Paulo Jabardo (pelas horas de dúvidas e ensaios)

Aos colegas de pós-graduação, bolsistas de iniciação científica e professores membros do LABAUT que auxiliaram nos ensaios no IPT, na pesquisa de campo e pelo apoio nas horas certas e incertas

Alessandra Rodrigues PRATA

À Prof^a. Dr^a. Eleonora Sad de Assis, Universidade Federal de Minas Gerais, pelas considerações destinadas na ocasião do Exame de Qualificação

À Arq^a. Fernanda Faria Meneghello, Coordenadora de Planejamento Urbano, Secretaria Municipal de Planejamento e a Arq^a. Ana Licia Costa Pires - Seção de Cadastro (SECADAS)/Secretaria de Obras e Serviço - Prefeitura de Santos pelas informações e mapas - SANTOS DIGITAL

À secretária do Meio Ambiente Débora Blanco Bastos Dias (Secretaria do Meio Ambiente da cidade de Santos) pela autorização para a elaboração da pesquisa de campo (medidas *in loco*), bem como a Mauro Agostinho Sposaro e funcionários do POSTO 3/Santos, e ao Engenheiro Carlos Ieso pelo apoio às medidas na orla da praia da cidade de Santos em abril de 2005

Ao Instituto Astronômico e Geofísico da USP, Laboratório Master pela aquisição dos dados de clima da cidade de Santos

Prof. Dr. Leonardo Bittencourt - Universidade Federal de Alagoas e Prof^a. Dr^a. Virgínia Dantas de Araújo - (Universidade Federal do Rio Grande do Norte) pelas informações via email das dúvidas surgidas no decorrer do processo

Engenheiro Mecânico Marcelo Kruger da ESSS - *Engineering Simulation and Scientific Software* Ltda, pela atenção destinada sobre as dúvidas surgidas no desenvolvimento do modelo e simulação no *software ICEM CFX5.7*

Klaus Bode e Alan Harries (Escritório BDSP/Londres) pelo apoio nas simulações e dicas do CFX

À FAPESP - Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, pela confiança no projeto e apoio financeiro

David Marcel Levy e Gustavo Brunelli pelo apoio e auxílio na adaptação do modelo para o túnel de vento do IPT bem como, pela paciência e dedicação de suas horas livres a esta amiga

Carinho especial aos colegas de trabalho, pelo apoio nas horas solicitadas no decorrer deste trabalho. Dê, Mônica, Ceci, Bruna, Rafa, Kica, Leo e Daniel, valeu a força!

Ao carinho, paciência e atenção de minha família em todos os momentos

À minha irmã Elaine pelo companherismo e horas descontraídas em Lisboa, e que me ajudaram a armazenar energia para o desafio realizado

Ao Celso, fiel companheiro em todas as horas, pelo carinho e amor a mim entregues

Aos amigos!

A todas as pessoas que me apoiaram, e que como o vento, trouxeram uma sementinha que está contida nesta pesquisa

Obrigada!

Alessandra Rodrigues PRATA

Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural em meio urbano.
Tese de Doutorado, FAUUSP, São Paulo, 2005.

RESUMO

PRATA, Alessandra Rodrigues. *Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural no meio urbano*. 2005. 243f. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2005.

Esta pesquisa teve como objetivo verificar a alteração do campo de vento na área de estudo, decorrente da alteração de gabarito quanto à ventilação natural, e avaliar o impacto nas condições de conforto dos pedestres. A verificação das condições de ventilação natural nas cidades, com estudos em modelos, auxilia na elaboração de projetos arquitetônicos, ou de planejamento, possibilitando uma análise da influência do efeito do vento em determinados locais da área em análise.

O objeto de estudo da tese é a relação entre a alteração de gabarito (altura dos edifícios) e as mudanças ocasionadas na ventilação natural em espaços urbanos na área entre o Canal 1 e 2 (Bairro Pompéia) na cidade de Santos/SP. Partiu-se da hipótese que a ventilação natural em áreas urbanas depende da altura dos edifícios, da direção e velocidade dos ventos.

Foi utilizado método experimental com simulação da configuração urbana em túnel de vento, medidas *in loco* para a verificação das condições climáticas, simulação com software CFD (*Computer Fluids Dynamics*) e a aplicação de um índice de neutralidade térmica.

Trata-se de uma tese de caráter experimental e exploratório, onde os métodos utilizados demonstraram ser aplicáveis para o entendimento das condições de ventilação natural em meio urbano.

Palavras-chave: ventilação natural, meio urbano, medidas *in loco*, simulação em túnel de vento, técnica figuras de erosão, *software CFX*, *software Wa^sp*, cidade de Santos, índice de neutralidade térmica.

ABSTRACT

PRATA, Alessandra Rodrigues. *Impact of building height on the natural ventilation conditions in the urban environment*. 2005 243f. Doctorate Thesis, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2005.

The objective of this research is to verify alterations of the wind pattern in the study area, stemming from changes to the grid's natural ventilation, and evaluate the impact to the pedestrians' comfort conditions. The verification of natural ventilation conditions in cities, with the study of models, aids in the creation of architectural - or planning - designs, enabling an analysis of the influence of the effects of wind in certain points of the area in study.

This thesis' object of study is the relation between changes to the framework (building height) and changes to the natural ventilation in urban environments in the area between Canal 1 and 2 (Bairro Pompéia), in the city of Santos/SP. The hypothesis is that natural ventilation in urban areas depends on the height of buildings, direction and velocity of winds.

The study involved an experimental method, with wind-tunnel simulation of the urban grid, *in loco* measurements of the climate conditions, simulation with CFD software and application of a thermal neutrality index.

This thesis is experimental and exploratory in its character, and the methods used proved applicable to the understanding of the natural ventilation conditions in an urban environment.

Key-words: natural ventilation, urban environment, *in loco* measurements, wind-tunnel simulation, erosion technique, CFX software, *Wa^sp* software, city of Santos, thermal neutrality index.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1.	Ventilação Natural em Meio Urbano	3
2.1.1.	Vento	4
2.1.2.	Camada Limite Atmosférica (CLA) - Caracterização.....	9
2.1.2.1.	Conceito, Definição e Estrutura.....	10
2.1.2.2.	Estrutura da Camada sobre a Cidade.....	12
2.1.3.	Perfil de Vento e Cidade	13
2.1.3.1.	Parâmetros aerodinâmicos.....	15
2.1.3.2.	Classes de Rugosidades.....	19
2.1.4.	Efeito do Vento no Entorno de Edifícios.....	23
2.1.5.	Ventilação Natural e Conforto dos Usuários	30
2.2.	Metodologias para Análise do Vento no Meio Urbano.....	39
2.2.1.	Simulação em Túnel de Vento	40
2.2.1.1.	Técnica de Figuras de Erosão.....	42
2.2.1.2.	Medições de CLA - Camada Limite Atmosférica.....	45
2.2.2.	Simulação Computacional	47
3.	UNIVERSO DA ANÁLISE - CIDADE DE SANTOS	49
3.1.	Delimitação do Universo da Análise.....	49
3.2.	Uso e Ocupação do Solo	51
3.3.	Delimitação da Área de Estudo	52
4.	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA CIDADE DE SANTOS	59
4.1.	Dados Climáticos - Estação Meteorológica	60
4.2.	Medições In Loco -Universo da Análise	68
4.2.1.	Materiais para a pesquisa de campo	69
4.2.1.1.	Levantamento Fotográfico e Planialtimétrico.....	69
4.2.1.2.	Descrição dos pontos para as medidas in loco	72
4.2.1.3.	Equipe e Equipamentos.....	72
4.2.2.	Planejamento e Desenvolvimento das Medidas de Campo.....	75

4.2.2.1.	Pesquisa Exploratória	75
4.2.2.2.	Desenvolvimento da Pesquisa de Campo.....	77
4.2.3.	Tratamento dos Dados Climáticos - in loco.....	78
4.3.	Software Wa^sp	92
4.3.1.	Digitalização da Área de Estudo	95
4.3.2.	Utilização do Software Wa ^s p.....	97
4.4.	Resultados Comparativos dos Dados Climáticos: Estação Meteorológica, Dados In Loco e Software Wa^sp	101
5.	ENSAIOS EM TÚNEL DE VENTO	107
5.1.	Área de Estudo.....	107
5.1.1.	Definição das Quadras	107
5.1.2.	Definição das Simulações	112
5.2.	Túnel de Vento: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil/Lisboa-Portugal	112
5.2.1.	O Modelo	114
5.2.1.1.	Confecção do Modelo	114
5.2.1.2.	Montagem do Modelo	115
5.2.2.	Equipamentos.....	118
5.2.3.	Ensaio Realizados - Erosão	119
5.2.3.1.	Ensaio Situação Atual.....	119
5.2.3.2.	Ensaio com Alterações	124
5.2.4.	Ensaio Realizados - CL (Camada Limite).....	127
5.2.4.1.	Ensaio Realizados - Anemômetro Fio Quente	127
5.2.4.2.	Ensaio Realizados - Tubo de Pitot	131
5.3.	Túnel de Vento IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas/SP	136
5.3.1.	O Modelo	138
5.3.1.1.	Confecção do Modelo	138
5.3.1.2.	Montagem do Modelo	139
5.3.2.	Equipamentos.....	141
5.3.3.	Ensaio Realizados - Erosão	142
5.3.3.1.	Ensaio Situação Atual.....	142
5.3.3.2.	Ensaio Alterações	147
5.3.4.	Ensaio Realizados - CL (Camada Limite).....	150
5.3.4.1.	Ensaio Realizados - Anemômetro Fio Quente	150
5.3.4.2.	Ensaio Realizados - Tubo de Pitot	156
5.4.	Discussão dos Resultados	157
6.	SOFTWARE CFD - COMPUTER FLUIDS DYNAMICS.....	159
6.1.1.	Simulação como o Software ICEM.....	159
6.1.1.1.	Modelagem 3D da Área de Estudo.....	159
6.1.1.2.	Geração da Malha - Mesh.....	163
6.1.2.	Simulação com o Software CFX	165

6.1.2.1.	Módulo CFX Pre	165
6.1.2.2.	Módulo CFX Solver Manager	167
6.1.2.3.	Módulo CFX Post	168
6.1.2.4.	Definição dos Pontos para Análise da Área de Estudo.....	169
6.2.	Resultados da Aplicação do Software CFX	170
7.	AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO DOS USUÁRIOS - PEDESTRES.....	177
7.1.	Modelo para Cálculo de Neutralidade para a Área de Estudo e Parâmetros a serem Adotados	178
7.1.1.	Cálculo do Calor Metabólico: M.....	180
7.1.2.	Cálculo do Balanço de Radiação.....	180
7.1.2.1.	Troca Térmica por Onda Longa (L) e Troca Térmica por Onda Curta (R).....	181
7.1.2.2.	Cálculo de Troca Térmica por Onda Curta: R	186
7.1.2.3.	Cálculo da Troca Térmica por Convecção: C	188
7.1.2.4.	Cálculo da Perda de Calor por Evaporação: E	188
7.1.2.5.	Cálculo da Perda de Calor pela Respiração: R _{es}	189
7.2.	Índice HL	190
7.3.	Resultados da Aplicação do Índice HL	191
8.	CONCLUSÕES	193
9.	BIBLIOGRAFIA.....	197
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	209
	APÊNDICES	219
A.	Curva de Calibração: Anemômetro da Estação Meteorológica	219
B.	Tabela dos Dados Medidos: Estação Oregon (orla/10m) e Base Aérea de Santos (10m)	220
C.	Tabela dos Dados Medidos: Pontos P0 (orla da praia) a 10m e a 1m5	223
D.	Tabela dos Dados Medidos: Pontos P0 (orla da praia), P1 (edifícios), P2 (praça central) e P3 (avenida) a 1m5	226
E.	Ensaio em Túnel de Vento/LNEC: outras orientações.....	230

F. Software <i>ECOTECT</i>	239
----------------------------------	-----

LISTA DE SÍMBOLOS

z_g : altura gradiente (m)

v_g : velocidade gradiente (m/s)

$\partial \bar{u} / \partial z$: gradiente vertical da velocidade média do vento

δ : espessura da camada logarítmica

$\overline{U_{(z)}}$: a velocidade média à cota z (m/s)

u_{*} : velocidade de atrito(m/s)

k : constante de Von Kármán (0,40) adimensional

z : altura da cota (m)

z_0 : comprimento característico da rugosidade do solo (m)

z_{ref} : cota de referência (m)

k : parâmetro de forma (adimensional)

A : parâmetro de escala (adimensional)

h : altura média dos edifícios considerados

S : seção exposta

A_H : área disponível de cada elemento

t : temperatura do ar (°C)

v : velocidade do vento (m/s)

U : velocidade de escoamento exterior (m/s)

$u_{\tau 0}$: velocidade de atrito característica da superfície plana no escoamento não perturbado(m/s)

u_{τ} : velocidade de atrito local (m/s)

P_t: pressão total (Pa)

P_s: pressão estática (Pa)

P_d: pressão dinâmica (Pa)

V: velocidade do fluxo (m/s)

ρ: massa volumétrica do ar (kg/m³)

P_{atm}: Pressão atmosférica (Pa)

T_{bs}: temperatura de bulbo seco (°C)

T_{bu}: temperatura de bulbo úmido (°C)

S: calor acumulado no corpo (W/m²)

M: calor metabólico produzido pelo corpo, função da atividade (W/m²)

Q: balanço de radiação solar com o corpo (W/m²)

L: troca por onda longa (W/m²)

R: ganho por onda curta (W/m²)

C: troca de calor por convecção (W/m²)

E: perda de calor por evaporação (W/m²)

R_{es}: perda de calor pela respiração (W/m²)

Q_{orla}: troca resultante da radiação de onda longa e curta (W/m²)

ε_{pele}: emissividade da pele (0,97) (adimensional)

σ: Constante de Boltzman (5,67*10⁻⁸) (adimensional)

TER_{orla}: temperatura radiante efetiva na orla a céu aberto (K)

f_{ref}: área de radiação efetiva do usuário (adimensional)

f_{cl}: fator de área vestida do corpo (adimensional)

I_{cl}: resistência térmica das roupas (adimensional)

T_{pele}: temperatura absoluta da pele (K)

M_{rt} : temperatura radiante média ($^{\circ}\text{C}$)

t_{ar} : temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)

UR : umidade relativa do ar (%)

v_{ar} : velocidade do ar (m/s)

R_{global} : radiação global (W/m^2)

I_{rc} : coeficiente de redução de transferência do calor devido à roupa (adimensional)

v_{us} : velocidade do usuário (m/s)

TER : temperatura radiante efetiva (K)

$T_{céu}$: temperatura do céu (K)

T_{dp} : temperatura absoluta de ponto de orvalho (K)

RH : umidade relativa (decimal entre 0 e 1)

T_{ar} : temperatura do ar (K)

T_{piso} : temperatura absoluta do piso (K)

f_p : fator de área projetada (adimensional)

$h_{cpessoa}$: coeficiente de troca superficial por convecção (adimensional)

h_e : coeficiente de perda evaporativa (adimensional)

h_e' : coeficiente de perda evaporativa (adimensional)

v_p : pressão de vapor (hPa)

w : taxa de pele coberta por suor (valores entre 0 e 1)

v_{rel} : velocidade relativa do ar (m/s)

I_e : coeficiente de troca convectiva “corrigida”

p_{vs} : pressão de vapor saturante do ar (hPa)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Efeito da Força de Coriolis.....	5
Figura 2: Distribuição dos ventos predominantes na superfície terrestre. ...	6
Figura 3: Espectro do vento atmosférico.	7
Figura 4: Espectro de Van der Hoven.	8
Figura 5: Camada Limite.	9
Figura 6: Imagem de um protótipo /modelo de automóvel em túnel de vento	10
Figura 7: Imagem de um modelo de edifício onde o perfil de camada limite foi simulado em túnel de vento com geração de fumaça.....	10
Figura 8: Estrutura da camada limite atmosférica em condições de estabilidade neutra.	11
Figura 9: Estrutura da camada de ar sobre a cidade.	13
Figura 10: Perfis típicos do vento sobre vários tipos de superfícies.....	14
Figura 11: Perfis típicos do vento em condições de bom tempo sobre a terra.	15
Figura 12: Gradientes de Vento.....	16
Figura 13: Camada Limite Atmosférica.	17
Figura 14: Efeito da Força de Coriolis sobre os ventos.	18
Figura 15: Rugosidades e coeficientes de atrito para vários tipos de terreno.	21
Figura 16: Perfis de velocidade do vento.	21
Figura 17: Representação gráfica de um escoamento em torno de obstáculo: Leonardo da Vinci.	23
Figura 18: Perfis de vento e zonas de fluxo normal a um obstáculo.	23
Figura 19: Representação do campo de escoamento em torno de uma forma prismática.	24
Figura 20: Representação gráfica de edifícios próximos.	26
Figura 21: Efeito de barreira e efeito de venturi.	27
Figura 22: Efeito de diferenças de pressão.	28
Figura 23: Efeito de malha e de pilotis.	28
Figura 24: Efeitos de canalização e esquina.	29
Figura 25: Efeitos de esteira, abrigo e pirâmide.	29
Figura 26: Efeito do <i>WindChill</i>	32
Figura 27: Critérios de Conforto.	36
Figura 28: Exemplo da aplicação da areia sobre o modelo.	42
Figura 29: Exemplo da Figura de Erosão.....	44
Figura 30: Esquema do tubo de <i>Pitot-Prandtl</i> para medição da velocidade do vento em túnel aerodinâmico.	45
Figura 31: Imagem de satélite: região metropolitana de São Paulo e cidade de Santos.	49

Figura 32: Edifícios na área de estudo.	51
Figura 33: Mapa da porção insular do município de Santos e a localização da área de estudo.....	57
Figura 34: Fotos de edifícios altos.	57
Figura 35: Esquema da circulação atmosférica mar/terra x terra/mar.	60
Figura 36: Rosa dos ventos - janeiro a dezembro.	64
Figura 37: Mapa com os pontos para as medidas <i>in loco</i>	68
Figura 38: Fotos dos locais das medidas <i>in loco</i>	70
Figura 39: Mapa com a altura dos edifícios da área de estudo e vista frontal da Av. Presidente Wilson.....	71
Figura 40: Fotos olho de peixe dos pontos P1, P2 e P3 e imagens do sombreamento ocasionado pela configuração urbana para o dia 12 de abril às 9h, 12h e 15h.....	73
Figura 41: Fotos dos equipamentos.....	74
Figura 42: Montagem do mastro de 10m de altura para a estação meteorológica.	76
Figura 43: Montagem dos equipamentos.	76
Figura 44: Foto dos locais das medidas <i>in loco</i> , com os equipamentos.	77
Figura 45: Instalação da estação meteorológica no ponto O - orla da praia.	79
Figura 46: Instalação dos equipamentos nos pontos P0, P1, P2 e P3	79
Figura 47: Perfil da área com os pontos das medidas <i>in loco</i>	79
Figura 48: Classe de rugosidade, características de superfícies e comprimento da rugosidade	93
Figura 49: Representação esquemática do modelo de análise do software <i>Wasp</i>	94
Figura 50: Processo de Digitalização do Mapa da Cidade de Santos.	95
Figura 51: Foto aérea da cidade de Santos.	96
Figura 52: Mapa digitalizado resultante da aplicação do <i>Wasp</i> com a orografia e mapa com a rugosidade adotada.	99
Figura 53: Base Aérea de Santos localizada na cidade vizinha, Guarujá/SP (Dados Climáticos).	100
Figura 54: Atlas de vento para o aeroporto, P0/orla, P1/edifícios-canyon, P2/prça central e P3/avenidas a 50m.	102
Figura 55: Atlas de vento para o aeroporto, P0/orla, P1/edifícios-canyon, P2/prça central e P3/avenidas a 10m.	103
Figura 56: Atlas de vento para o aeroporto, P0/orla, P1/edifícios-canyon, P2/prça central e P3/avenidas a 1,5m.	104
Figura 57 e Figura 58: Vista Externa do túnel.	114
Figura 59 e Figura 60: Vista Interna do túnel.	114
Figura 61: Organização dos blocos de madeira para execução.	115
Figura 62: Construção das quadras/madeira para a colagem dos blocos. .	115
Figura 63: Montagem dos blocos nas quadras	116
Figura 64: Montagem da prancha para colocação no túnel de vento.	117
Figura 65: Modelo no túnel de vento.	117

Figura 66: Barômetro e Termômetro, Micromanômetro e Tubo de <i>Pitot-Prandtl</i> .	118
Figura 67: Termômetro interno no túnel e equipamento para registrar a temperatura.	119
Figura 68: Resultado da simulação - LNEC direção sul/configuração atual.	121
Figura 69: Imagens registradas no término do ensaio - LNEC direção sul/configuração atual.	122
Figura 70: Resultado da simulação - LNEC direção sudeste/configuração atual.	123
Figura 71: Imagens registradas no término do ensaio - LNEC direção sul/configuração atual.	124
Figura 72: Resultado da simulação - LNEC direção sudeste/alterações.	125
Figura 73: Imagens registradas no término do ensaio.	126
Figura 74: Situação atual e alterações na configuração.	127
Figura 75: Ajuste do posicionamento do anemômetro de fio quente.	127
Figura 76: Definição dos pontos para as medidas - anemômetro fio quente e tubo de <i>Pitot</i> .	128
Figura 77: Corte dos locais onde foram feitos os ensaios - situação atual.	130
Figura 78: Tubo de <i>Pitot/Prandtl</i> de 3mm.	131
Figura 79: Coordenômetro.	131
Figura 80: Pontos onde foram realizadas as medidas com tubo de <i>Pitot</i> para a direção do vento - sul.	132
Figura 81: Imagens registradas no término do ensaio - quadra 17.	134
Figura 82: Mancha originária das medidas em altura com o tubo de <i>Pitot</i> .	135
Figura 83: Túnel - vista externa.	136
Figura 84: Seção de Testes	137
Figura 85: “Prancha/bolacha” para fixação do modelo.	139
Figura 86: Fixação do modelo no túnel.	139
Figura 87: Acabamento do modelo para a inserção das quadras.	140
Figura 88: Colocação das quadras para o ensaio.	140
Figura 89: Modelo no túnel de vento.	140
Figura 90: Suporte para fixação da máquina digital.	141
Figura 91: Equipamento para calibração da sonda de fio quente.	141
Figura 92: Tubo de <i>Pitot</i> de referência, para o ensaio no modelo e termômetro interno.	142
Figura 93: Imagens da aplicação da areia na área de teste.	143
Figura 94: Resultado da simulação - IPT direção sul/configuração atual.	144
Figura 95: Imagens registradas no término do ensaio.	145
Figura 96: Resultado da simulação - IPT direção sudeste/configuração atual.	146
Figura 97: Resultado da simulação - IPT direção sul/alterações.	147
Figura 98: Imagens registradas no término do ensaio.	148
Figura 99: Resultado da simulação - IPT direção sudeste/alterações.	149

Figura 100: Fixação da sonda de fio quente.....	151
Figura 101: Posicionamento das medidas de fio quente próximas ao edifício.	154
Figura 102: Piso do túnel de vento e geradores.	156
Figura 103: Fixação e posicionamento do Tubo de <i>Pitot</i> para ensaio de camada limite.	156
Figura 104: Dialog Box com os comandos utilizados para a modelagem/ <i>geometry</i> e malha/ <i>mesh</i>	160
Figura 105: Tela do ICEM - alteração da modelagem.	161
Figura 106: Modelo 3D da área de estudo.	162
Figura 107: <i>Mesh</i> aplicada ao modelo 3D da área de estudo.	164
Figura 108: Comandos para definição de parâmetros físicos.	165
Figura 109: Tela módulo PRE - definição de parâmetros de simulação. ...	167
Figura 110: Modelo de tela para acompanhamento da simulação.	167
Figura 111: Tela módulo POST - visualização da simulação.....	168
Figura 112: Imagem - utilização do <i>Post</i>	169
Figura 113: Arquivos do software.	169
Figura 114: Resultados CFX - 50m (atual).	170
Figura 115: Resultados CFX - 50m (alteração).	171
Figura 116: Resultados CFX - 10m (atual).	172
Figura 117: Resultados CFX - 10m (alteração).	173
Figura 118: Resultados CFX - 1m5 (atual).	174
Figura 119: Resultados CFX - 1m5 (alterações).	174
Figura 120: Resultados CFX - 1m5 e a 10m: planta dos pontos das medições.	175
Figura 121: Balanço térmico entre o usuário e o meio ambiente.	179
Figura 122: Ábaco para determinação do fator de área projetada (f_p) com usuário em pé.....	186
Figura 123: Ábaco para determinação do fator de área projetada (f_p) com usuário sentado.....	186
Figura 124: Resultado da simulação.	231
Figura 125: Imagem registrada no término do ensaio. Pode-se observar o acumulo de areia em determinados pontos e os contornos ocasionados pelo arrasto dos grãos.	232
Figura 126: Resultado da simulação.	234
Figura 127: Imagens registradas no término do ensaio. Pode-se observar o acumulo de areia em determinados pontos e os contornos ocasionados pelo arrasto dos grãos.	235
Figura 128: Resultado da simulação.	237
Figura 129: Imagens registradas no término do ensaio. Pode-se observar o acumulo de areia em determinados pontos e os contornos ocasionados pelo arrasto dos grãos.	237
Figura 130: Resultado da simulação.	238

Figura 131: Imagem registrada no término do ensaio. Pode-se observar o acúmulo de areia em determinados pontos e os contornos ocasionados pelo arrasto dos grãos.	238
Figura 132: Imagem - Máscaras (situação atual)	240
Figura 133: Imagem - Insolação (situação atual).....	241
Figura 134: Imagem - Máscaras (alterações).....	242
Figura 135: Imagem - Insolação (alterações)	243

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coeficientes de terreno para a equação do gradiente de vento.	22
Tabela 2: Quadro com os efeitos aerodinâmicos de vento sobre conjuntos de edificações.	25
Tabela 3: Velocidade do vento x temperatura	33
Tabela 4: Escala de Beaufort.	34
Tabela 5: Critérios de Conforto.	35
Tabela 6: HL (<i>Heating Load</i>)	37
Tabela 7: P_{hs} (<i>Physiological Strain</i>)	38
Tabela 8: Instrumentos Legais de Ordenamento Territorial.	53
Tabela 9: Índices de Ocupação e Aproveitamento.	54
Tabela 10: Zoneamento - porção Insular do município.	56
Tabela 11: Exemplo de tabela das Médias das velocidades mês a mês do ano de 2001.	62
Tabela 12: Número de dados e porcentagem por direção.	63
Tabela 13: Dados de direção do vento mês/Janeiro 2001.	65
Tabela 14: Intervalos em graus das direções do vento mês/Janeiro 2001.	66
Tabela 15: Velocidade média x cálculo de Weibull	67
Tabela 16: Rugosidades utilizadas no software Wap .	97
Tabela 17: Exemplo de matriz da utilização do software Wap onde é possível verificar as direções, a frequência de ocorrência em cada direção, bem como A e k .	98
Tabela 18: Configurações urbanas simuladas.	111
Tabela 19: Ensaios realizados no LNEC.	112
Tabela 20: Velocidade estimada (m/s) - <i>vtúnel</i>	120
Tabela 21: Registros das velocidades e tempo de amostragem.	128
Tabela 22: Planilha com os valores medidos com tubo de <i>Pitot</i> na orla da praia e praça central.	133
Tabela 23: Valores de metabolismo e eficiência mecânica (ISO 8996)	180
Tabela 24: Exemplo de valores de resistência térmica das roupas (ISO 8996, 1990)	182
Tabela 25: Valores de Radiação para o plano horizontal.	183
Tabela 26: Valores de altura do sol, referentes aos dias 13/04/2005 - medidas <i>in loco</i> .	187
Tabela 27: Valores médios para os 3 horários das medidas <i>in loco</i> , a 10m, para o P0 (orla da praia), para os 12, 13 e 14 de abril/2005.	191
Tabela 28: Valores mais altos e mais baixos de temperatura e velocidade do ar das medidas <i>in loco</i> , a 10m, para o P0 (orla da praia) - dias 12, 13 e 14 de abril/2005.	192
Tabela 29: Tabela com os dados de velocidade do ar medidos no P0 - orla da praia e na estação meteorológica (Base Aérea de Santos) a 10m nos dias 12, 13 e 14 de abril.	220

Tabela 30: Tabela com os dados de temperatura do ar medidos no P0 - orla da praia e na estação meteorológica (Base Aérea de Santos) a 10m nos dias 12, 13 e 14 de abril.....	221
Tabela 31: Tabela com os dados de umidade do ar medidos no P0 - orla da praia e na estação meteorológica (Base Aérea de Santos) a 10m nos dias 12, 13 e 14 de abril	222
Tabela 32: Tabelas com os dados de velocidade do ar medidos no P0 - orla da praia: valores a 10m e 1m5 medidos nos dias 12, 13 e 14 de abril.....	223
Tabela 33: Tabelas com os dados de temperatura do ar medidos no P0 - orla da praia: valores a 10m e 1m5 medidos nos dias 12, 13 e 14 de abril.....	224
Tabela 34: Tabelas com os dados de umidade relativa do ar medidos no P0 - orla da praia: valores a 10m e 1m5 medidos nos dias 12, 13 e 14 de abril	225
Tabela 35: Tabela com os valores de velocidade do ar medidos nos pontos P0 (vel. orla), P1, P2 e P3 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso	226
Tabela 36: Tabela com os valores de temperatura do ar medidos nos pontos P0 (vel. orla), P1, P2 e P3 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso	227
Tabela 37: Tabela com os valores de umidade relativa do ar medidos nos pontos P0 (vel. orla), P1, P2 e P3 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso	228
Tabela 38: Tabelas com os valores médios de velocidade, temperatura e umidade relativa do ar medidos nos pontos P0, P1, P2 e P3 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso.....	229
Tabela 39: Betz (Pa) x Velocidade estimada (m/s) - direção Leste	230
Tabela 40: Betz (Pa) x Velocidade estimada (m/s) - direção Norte	233
Tabela 41: Betz (Pa) x Velocidade estimada (m/s) - direção Noroeste	236

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Exemplo - hora e velocidade do vento: mês de janeiro.....	61
Gráfico 2: Gráficos com os dados de velocidade do ar medidos no P0 - orla da praia e na estação meteorológica (Base Aérea de Santos) a 10m nos dias 12, 13 e 14 de abril	81
Gráfico 3: Gráficos com os dados de temperatura do ar medidos no P0 - orla da praia e na estação meteorológica (Base Aérea de Santos) a 10m nos dias 12, 13 e 14 de abril	82
Gráfico 4: Gráfico com os dados de umidade relativa do ar medidos no P0 - orla da praia e na estação meteorológica (Base Aérea de Santos) a 10m nos dias 12, 13 e 14 de abril	83
Gráfico 5: Gráficos com os dados de velocidade do ar medidos no P0 - orla da praia: valores a 10m e 1m5 medidos nos dias 12, 13 e 14 de abril	84
Gráfico 6: Gráficos com os dados de temperatura do ar medidos no P0 - orla da praia: valores a 10m e 1m5 medidos nos dias 12, 13 e 14 de abril	85
Gráfico 7: Gráficos com os dados de umidade relativa do ar medidos no P0 - orla da praia: valores a 10m e 1m5 medidos nos dias 12, 13 e 14 de abril..	86
Gráfico 8: Gráfico com os valores de velocidade do ar medidos nos pontos P0 e P1 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso.....	87
Gráfico 9: Gráfico com os valores de velocidade do ar medidos nos pontos P0 e P2 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso.....	87
Gráfico 10: Gráfico com os valores de velocidade do ar medidos nos pontos P0 e P3 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso.....	88
Gráfico 11: Gráfico com os valores de temperatura do ar medidos nos pontos P0 e P1 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso.....	89
Gráfico 12: Gráfico com os valores de temperatura do ar medidos nos pontos P0 e P2 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso.....	89
Gráfico 13: Gráfico com os valores de temperatura do ar medidos nos pontos P0 e P3 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso.....	90
Gráfico 14: Gráfico com os valores de umidade relativa do ar medidos nos pontos P0 e P1 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso.....	90
Gráfico 15: Gráfico com os valores de umidade relativa do ar medidos nos pontos P0 e P2 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso.....	91
Gráfico 16: Gráfico com os valores de umidade relativa do ar medidos nos pontos P0 e P3 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso.....	91
Gráfico 17: <i>Atlas do Vento</i> : Rosa de ventos e distribuição de <i>Weibull</i> A: 2.8 m/s e k: 1.86 (histograma de frequências) produzidas pelo software, referente ao período de 1 ano.	101
Gráfico 18: Intensidade de turbulência (m/s)/configuração urbana atual e vento sul.....	130
Gráfico 19: Intensidade de turbulência (m/s) - alteração na configuração urbana e vento sul.	130

Gráfico 20: Perfil de velocidades na “orla da praia” e P2 “praça central”.	133
Gráfico 21: Gráfico 300rpm - perfil de turbulência em escala logarítma.	152
Gráfico 22: Gráfico 300rpm - perfil de turbulência em escala logarítma no Ponto 1 (edifícios).	152
Gráfico 23: Gráfico 300rpm - perfil de turbulência em escala logarítma no Ponto 2 (praça central).	153
Gráfico 24: Gráfico 300rpm - perfil de turbulência em escala logarítma no Ponto 3 (avenidas).	153
Gráfico 25: Gráfico 300rpm - perfil de turbulência em escala logarítma na parte da frente do edifício.	155
Gráfico 26: Gráfico 300rpm - perfil de turbulência em escala logarítma na parte posterior do edifício.	155
Gráfico 27: Curva de calibração do anemômetro.	219

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa tem como foco a ventilação natural urbana estudada por meio de ensaios em túnel de vento. Alterações de urbanização existente, implementação de novos edifícios ou novos bairros, envolvem questões relacionadas ao conforto do usuário que devem ser verificadas. Neste caso, a ventilação natural urbana está relacionada ao conforto urbano dos usuários das cidades e a sua utilização nos projetos arquitetônicos.

A verificação das condições de ventilação natural nas cidades com estudos em modelos auxilia na elaboração de projetos arquitetônicos ou de planejamento, possibilitando uma análise da influência do efeito do vento em determinados locais da área em análise.

O objetivo da pesquisa é a verificação da alteração do campo de vento na área de estudo, decorrente da alteração de gabarito da área urbana, quanto à ventilação natural, e a avaliação do impacto nas condições de conforto dos pedestres.

O objeto de estudo da tese é a relação entre a alteração de gabarito (altura dos edifícios) e as mudanças ocasionadas na ventilação natural em espaços urbanos na área entre o Canal 1 e 2 (Bairro Pompéia) na cidade de Santos/SP.

A tese parte da hipótese que a ventilação natural em áreas urbanas depende da altura dos edifícios, da direção e velocidade dos ventos. Alterações em gabaritos urbanos, sem estudos prévios, podem contribuir negativa ou positivamente para as condições de ventilação do meio urbano. Para a verificação de tal hipótese esta tese analisa as condições de ventilação natural na cidade de Santos, por meio de ensaios no túnel de vento de camada limite atmosférica do IPT¹ - Instituto de Pesquisas Tecnológicas e no Túnel de Vento do LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa/Portugal.

¹ O túnel de vento foi construído com o apoio da FAPESP processo nº 98/15402-5 e contou com o apoio do Prof. Dr. Jorge Gil Saraiva do Laboratório Nacional de Engenharia Civil/LNEC, Lisboa, Portugal.

Para esta pesquisa foi utilizado método experimental com utilização de maquetes modelo volumétrico para ensaio em túnel de vento, medidas de campo e aplicação de software CFD (*Computer Fluids Dynamics*).

Esta tese está organizada em 10 capítulos mais o Apêndice. No capítulo 1 esta descrita a introdução da tese e a organização da mesma. No capítulo 2 encontra-se a Fundamentação Teórica apresentando os conceitos abordados e pesquisados para a elaboração da tese.

No capítulo 3 encontra-se uma descrição do objeto de estudo - cidade de Santos/Bairro Pompéia. No capítulo 4, apresentam-se as características climáticas da cidade de Santos.

No capítulo 5 estão descritos os ensaios em túnel de vento elaborados no LNEC e no IPT, a confecção do modelo, os equipamentos e os resultados. No capítulo 6 pode-se conhecer um aplicativo CFD (*Computer Fluids Dynamics*) e sua utilização para a área em estudo.

No capítulo 7 está descrito um modelo e sua aplicação para a avaliação das condições de neutralidade térmica de um usuário a céu aberto. Nos capítulos 8, 9 e 10 encontram-se as conclusões, a bibliografia adotada e as referências bibliográficas. Nos apêndices são apresentados a curva de calibração da estação meteorológica, utilizada nas medidas de campo, ensaios em túnel de vento realizados no LNEC para outras direções (leste, norte, noroeste e oeste), bem como as tabelas dos dados medidos *in loco*.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. VENTILAÇÃO NATURAL EM MEIO URBANO

A atividade projetual do profissional da área de arquitetura e urbanismo necessita contribuir para a qualidade de vida urbana e o conforto dos usuários de edificações, Prata (1998). O controle do ambiente climático urbano e edificado torna-se possível através de disposição adequada de atributos climatizantes (ex: direção e velocidade do vento) ao projeto arquitetônico e/ou ao planejamento urbano.

Alterações na configuração urbana atual, projetos de novos edifícios, de bairros novos ou áreas públicas, envolvem questões relacionadas com o usuário no que tangem o seu conforto (seja térmico, acústico e luminoso), segurança quanto à ação dos ventos, qualidade do ar e, que deveriam ser estudadas e analisadas para a sua implantação. Segundo Saraiva (1994) é crescente a busca aos recursos de equipes especializadas interdisciplinares, para a avaliação dos ambientes urbanos e/ou edifícios quanto aos efeitos do vento sobre estes.

Quanto à ventilação natural, a avaliação do fenômeno para o dimensionamento, orientação e localização das aberturas e barreiras ao vento é baseada em conceitos da teoria da mecânica dos fluidos. Existem vários métodos de cálculo e simulações do fenômeno com o objetivo de averiguar as condições de ventilação natural em recintos internos (DREYFUS, 1960; GIVONI, 1976; BITTENCOURT, 1995; PRATA, 1998). Com a verticalização de áreas urbanas, tornam-se necessários estudos detalhados sobre o impacto destes edifícios na malha urbana, Moreno (2001).

De acordo com Moreno (2001) são poucos os estudos que se detêm na análise dos problemas da qualidade dos espaços abertos sob o ponto de vista técnico-ambiental visando fornecer parâmetros para projetos urbanísticos (SILVA, 1999; MASCARÓ, 1996; ASSIS, 2000 e DUARTE, 2000).

Ainda segundo Moreno (2001), nas cidades, as texturas do conjunto das edificações tendem a frear a velocidade do vento ao passo que determinadas volumetrias ou

disposições aceleram os ventos. As alterações locais de insolação, ventos, umidade e temperatura no tecido urbano propiciam situações climáticas específicas.

Para Olgyay (1998) a orientação dos ventos constitui um aspecto relevante em construções verticais. Para a avaliação das condições de vento local são necessários três tipos de dados: 1. frequência de ocorrência por direção dos ventos em termos de porcentagem de tempo; 2. velocidade em km/h ou m/s e 3. características gerais tais como brisas quentes ou frias.

Bittencourt (1997a) realizou estudos do efeito da verticalização das edificações na ventilação natural do tecido urbano da orla marítima de Maceió, analisando as alterações sobre altura e recuos, bem como a relação entre a taxa de ocupação, o número de pavimentos e a influência na ventilação dos ambientes internos.

Saraiva (1994a) destaca que a questão do conforto ambiental de um indivíduo no meio exterior, quanto à ação do vento, apresenta três componentes distintas: a comodidade e segurança, o conforto térmico e a qualidade do ar ambiente.

Neste capítulo estão reunidas informações que servem como base à compreensão dos conceitos sobre ventilação natural tendo como principal variável, o vento.

2.1.1. Vento

Ventos são movimentos de massas de ar provocados pelas diferenças de pressão ou de temperatura, de várias camadas atmosféricas (LOPES, 2003; SILVA, 2003).

Trata-se de um processo de redistribuição da energia solar através dos movimentos da atmosfera. Para a zona das camadas inferiores da atmosfera (abaixo de 300m), o vento é ditado por um balanço das forças de pressão, das forças de *Coriolis*, das forças de atrito na superfície da Terra, das forças de impulsão térmica associadas a gradientes verticais de temperatura e das forças viscosas internas (SARAIVA, 1994b; MELARAGNO, 1982).

Figura 1: Efeito da Força de Coriolis

Fonte: <http://br.geocities.com/saladefisica>

A força de Coriolis (**Figura 1**) manifesta-se sempre que houver massas de ar em movimento em relação à superfície da Terra. Esta força age perpendicularmente à direção do movimento da partícula de ar em estudo, causando um desvio no movimento das partículas de ar para um observador situado na Terra, Blessmann (1995).

O vento, segundo Blüthgen (1980) apud Silva (1999), tem suas trajetórias

diferenciadas tanto pelas dimensões, quanto pelas causas e efeitos no que se refere à sua geração e ao fluxo. O vento, massa de ar que escoam (velocidades) orientadas (direções) dos centros de altas (anticiclones) para baixas pressões (ciclones), resulta:

- ✓ das diferentes densidades assumidas pelas massas de ar devido ao seu aquecimento heterogêneo pelo contato com superfícies da Terra e em função das características térmicas dessas frentes, devido à variação da distribuição da radiação solar advinda de cada latitude geográfica (gradiente de pressão);
- ✓ do movimento de rotação da Terra, cujo efeito defletor provoca uma derivada da direção do vento forçando redirecionamentos para a direita e para a esquerda (força de *Coriolis*) e,
- ✓ da força centrífuga que força o ar movimentando-se curvilineamente sob o efeito de *Coriolis*.

De acordo com Moreno (2001) a radiação solar aquece a atmosfera de maneira diferente, entre outros fatores, em função da latitude. Como o ar frio é mais denso do que o quente, originam-se diferenças de pressão que, associadas à rotação da Terra, produzem a circulação dos ventos no mundo. De forma geral, existem três tipos de correntes atmosféricas:

- ✓ Ventos Alísios - entre as latitudes 30°N e 30°S que são fracos;
- ✓ Ventos Oestes - entre as latitudes 30° e 60° tanto para latitude Norte como Sul que são rápidos e;
- ✓ Ventos Polares - latitudes de 60° até os pólos Norte e Sul que são tempestuosos.

No Brasil há predominância dos ventos Alísios que são provenientes de sentido sudeste, **Figura 2**.

Figura 2: Distribuição dos ventos predominantes na superfície terrestre.

Fonte: Melaragno (1982) apud Leonardo et al. (2005)

De acordo com Saraiva (1983) em termos de comprimentos característicos dos fenômenos atmosféricos ou equivalentes com duração temporal e baseados na teoria estatística da turbulência, a representação destes denomina-se espectro do vento atmosférico (**Figura 3**). Precisamente, o espectro ou função de densidade espectral pode ser definido em termos simplificados, como uma descrição de sinal (velocidade do vento) no domínio das frequências ao invés do domínio do tempo e

cujas observações podem ser descritas por três escalas diferentes de movimento (SILVA, 1999; SARAIVA, 1983; LOPES, 2003; SILVA, 2003):

- ✓ escala macro-meteorológica ou sinótica: dimensões superiores a 500km ou intervalo de tempo superior a dois dias e resulta da circulação atmosférica geral;
- ✓ escala meso-meteorológica: separada da micro-meteorológica pelo vazio espectral, intervalo temporal de quatro horas, tem seu campo influenciado tanto pelo efeito dinâmico da corrente através de obstáculos, da orografia e da rugosidade do solo, como pelo efeito termodinâmico através das diferentes orientações, inclinações, reflexões, armazenamento do solo e produção do calor antropogênico. Enquanto o efeito termodinâmico pode criar sistemas de circulação locais, o efeito dinâmico somente surge por correntes existentes;
- ✓ escala micro-meteorológica ou local: dimensão característica inferior a 20km ou escala temporal inferior a 1 hora, onde estruturas ambientais modificadas pela ação do homem (construções e campos de cultivo), podem determinar a distribuição do vento. A ventilação local pode ser alterada pela geração de obstáculos decorrentes da multiplicidade de formas volumétricas, onde o grau de adensamento, porosidade e rugosidade diferenciados geram efeitos dinâmicos, sendo, assim, essencialmente tridimensional.

Figura 3: Espectro do vento atmosférico.

Fonte: Saraiva (1983)

Figura 4: Espectro de Van der Hoven.

Fonte: Brederode (1997) apud Silva (2003).
em 1957 (SILVA, 2003).

O vazio espectral marca o final da escala micrometeorológica e compreende períodos de 10 minutos ou 1 hora a 8 horas. Na **Figura 4** identificam-se os picos das escalas atmosféricas, facilmente, pelo espectro elaborado por Van der Hoven

Os picos espectrais referem-se a latitudes temperadas (hemisfério Norte) e identificam fenômenos e sua duração: movimento de translação da Terra (01 ano), efeito da inclinação do eixo da Terra (06 meses), passagem de centros de alta e baixa pressões (05 a 07 dias), sucessão dos dias (01 dia), sucessão dos dias e das noites (12 horas) e rajadas (05 minutos), (SILVA (1999), LOPES (2003), SARAIVA (1983)).

Desta forma, o aquecimento das superfícies e das edificações, ou parte destas, pela exposição direta ao sol, calor antropogênico nelas gerado, resfriamento decorrente de sombreamentos ocasionado por construções, arborização, acidentes geográficos, tipo de cobertura do solo, canalização do vento por edificações, geram efeitos termodinâmicos que interferem na circulação atmosférica local.

Segundo Lopes (2003) a descrição teórica do princípio global da circulação atmosférica e o movimento de ar junto às superfícies das cidades, tem sido amplamente divulgada.

Para a compreensão do efeito do vento no meio urbano, um dos aspectos relacionados ao vento e a superfície da Terra é chamado de Camada Limite Atmosférica, denominada, em inglês, como *Atmospheric Boudary Layer*. É importante entender sua configuração para compreender, conceitualmente, alguns aspectos relacionados às simulações.

2.1.2. Camada Limite Atmosférica (CLA) - Caracterização

O atrito entre o ar em movimento e a superfície da Terra ocasiona uma força de arrastamento², com direção e sentido do escoamento contrário, que reduz a velocidade. O retardamento do escoamento propaga-se por difusão e diminui a intensidade com o distanciamento do solo, deixando de ser perceptível a uma determinada cota. Esta região, onde o escoamento caracteriza-se pela existência de um gradiente vertical de velocidade, denomina-se camada limite atmosférica (CLA), Silva (2003).

Assim, a CLA depende da topografia local, das dimensões e forma dos obstáculos naturais e artificiais (denominados rugosidade) até uma cota na qual se atinge uma velocidade constante.

Na CLA, considerando-se a faixa entre a superfície terrestre e uma determinada cota z através da qual o vento escoa, a rugosidade da superfície do solo provoca um efeito de frenagem no escoamento. Esta rugosidade faz variar gradativa e verticalmente a velocidade do ar, e como consequência dos fenômenos térmicos e dinâmicos, traduzindo-se esta variação em escoamento perturbado ou turbulento (SILVA, 1999). Acima desta variação onde o escoamento torna-se não perturbado (vento gradiente), a camada limite atmosférica independe das condições locais.

Figura 5: Camada Limite.

Fonte: BLESSMANN (1983) apud SILVA (1999).

Conforme os conceitos da física, a camada de fluido contígua a uma placa imersa em escoamento permanente e uniforme de um fluido é influenciada pelo grau de viscosidade e pelo acabamento superficial da placa. A rugosidade de uma superfície influi na localização da zona de

² De acordo com Silva (2003).

transição da camada laminar para a turbulenta, como na resistência no sentido oposto ao escoamento (atrito) pela placa, **Figura 5** (SILVA, 1999).

A título de exemplo nas **Figura 6** e **Figura 7** observam-se modelos que foram simulados em túnel de vento.

Figura 6: Imagem de um protótipo /modelo de automóvel em túnel de vento

Fonte: YANG (1989).

Figura 7: Imagem de um modelo de edifício onde o perfil de camada limite foi simulado em túnel de vento com geração de fumaça.

Fonte: YANG (1989).

2.1.2.1. Conceito, Definição e Estrutura

O conceito de camada limite é atribuído a Froude, que relacionou as forças de inércia com as forças gravíticas terrestres através de um parâmetro adimensional, definido pela velocidade do fluxo, pela gravidade e pelo comprimento característico (escala) (FOX et al. 1998).

A CLA pode ser identificada logo acima da superfície da Terra, onde os efeitos de aquecimento e resfriamento são sentidos em escala temporal inferior a um dia, (LOPES, 2003; SILVA, 1999). Os fluxos de quantidade de movimento, energia e massa são difundidos por movimentos turbulentos.

A espessura da camada limite atmosférica é definida como sendo a altura logo acima da superfície terrestre onde a velocidade atinge 99% da velocidade do escoamento não perturbado, (INCROPERA & DEWITT, 2003).

A estrutura típica da CLA em condições de estratificação neutra é composta por duas camadas distintas: a camada interna ou de superfície e a camada externa ou de Ekman (GARRAT, 1994 apud LOPES, 2003), **Figura 8**.

Figura 8: Estrutura da camada limite atmosférica em condições de estabilidade neutra.

Fonte: GARRAT (1994) apud LOPES (2003).

Nota: na **Figura 8**, h corresponde à altura total da CLA; z a altura das diferentes sub-camadas e z_0 à rugosidade.

Na camada interna ou de superfície o fluxo de ar depende das características da superfície. Existe uma transição entre a camada interna e externa, onde as características aerodinâmicas se misturam. A camada interna é dividida em duas sub-camadas: a rugosa e a de inércia.

A camada rugosa localiza-se acima da superfície terrestre onde estão localizados os elementos rugosos, podendo ser verificada também na superfície do mar. Os elementos de rugosidade originam fluxos complexos à sua volta, denominados vórtices ou turbilhões. A formação destes fluxos depende da forma, densidade e flexibilidade dos elementos.

Acima desta superfície encontra-se uma camada com espessura pequena, onde o ar adere a todas as superfícies denominando o escoamento laminar. Entende-se por escoamento laminar o fluxo não turbulento de um fluido definido por linhas paralelas a superfície (OKE, 1987, p. 402 apud LOPES, 2003). A camada de inércia

apresenta como principal característica um perfil de vento logarítmico em condições de estabilidade neutra (GARRAT, 1994).

A camada externa ou de Ekman é influenciada pelo ciclo diário de aquecimento e resfriamento da superfície, da rugosidade e das núvens presentes na atmosfera (LOPES, 2003). Quando o aquecimento da superfície gera condições de instabilidade, a camada é caracterizada por movimentos convectivos, quando se encontram quantidades de poeiras, poluentes, etc (OKE, 1987).

As condições de estabilidade atmosférica na camada limite controlam os perfis de velocidade e temperatura. Para uma atmosfera denominada *standard*, considera-se determinadas características de pressão, temperatura e umidade para uma parcela do ar ambiente a uma dada altura. Nesta altura a parcela de ar possui a mesma temperatura da atmosfera que a rodeia, e não sofre influência de forças de impulsão³ (*buoyancy forces*) (LOPES, 2003).

Para os ensaios em túnel de vento e para a aplicação do CFD/CFX (*Computer Fluids Dynamics*), considerou-se as condições de atmosfera neutra. Para Saraiva (1983) considera-se a atmosfera neutra quando a variação da temperatura entre dois pontos, e a alturas diferentes na atmosfera, for a mesma que se verifica na massa de ar que se desloca entre dois pontos. Sendo assim, é estaticamente neutra se a temperatura da parcela do ar que se move for igual à do ar ambiente à sua volta (LOPES, 2003).

2.1.2.2. Estrutura da Camada sobre a Cidade

As áreas urbanas, em decorrência da complexidade de elementos, geram modificações nas características aerodinâmicas, radiativas e termo-higrométricas da atmosfera. Desta forma, o fluxo de ar que invade a cidade vindo, por exemplo, do campo ou mar, encontrará condições diferentes de fronteira.

³ Segundo Lopes (2003) em termos simples, se uma parcela de ar encontra-se mais quente que o volume de ar a sua volta à mesma altura ou pressão, esta parcela tende a subir. Se encontra-se mais fria, tende a descer e se estiver à mesma temperatura do ar a sua volta, esta não sofrerá flutuações.

Segundo Alcoforado (1992) as modificações introduzidas nas cidades formam duas sub-camadas. A primeira, denominada atmosfera urbana superior (*Urban Boundary Layer*), cujos fenômenos atmosféricos são de natureza local/regional, sendo caracterizada pela superfície. A segunda é denominada atmosfera urbana inferior (*Urban Canopy Layer*), localizada abaixo da linha dos topos dos edifícios e cujos processos atmosféricos estão relacionados a escala ao nível das ruas, bem como, os espaços entre edifícios.

Figura 9: Estrutura da camada de ar sobre a cidade.

Fonte: OKE (1987).

O foco concentra-se nas características aerodinâmicas (ensaios em túnel de vento) e na aplicabilidade das condições radiativas de determinados pontos, para verificação das condições de neutralidade térmica dos usuários/pedestres. Nas cidades as condições de instabilidade atmosférica, em decorrência das atividades e ocupações desenvolvidas, são alteradas e fazem com que o balanço energético seja modificado.

2.1.3. Perfil de Vento e Cidade

Os perfis típicos para as condições de atmosfera neutra apresentam, em altura, diferenças em decorrência da superfície a ser ultrapassada. Em áreas abertas e planas o topo da camada limite (z_g), a altura acima da qual a velocidade média do

vento ($\bar{u}$) se mantém constante, é inferior à atingida nas zonas rurais, ligeiramente mais rugosas. Nas cidades, onde a rugosidade é mais elevada, as forças de atrito só são negligenciáveis a uma altura ainda mais elevada. Existe, assim, uma relação entre a rugosidade e a espessura da camada definida por (z_g) na atmosfera. O gradiente vertical da velocidade média do vento ($\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}$) diminui com o aumento da rugosidade, Lopes (2003). Quando ocorrem ventos fracos, a espessura da camada definida por (z_g) depende da quantidade de convecção gerada pela superfície. Com o aquecimento da superfície este valor tende a aumentar e com o resfriamento ocorre o inverso.

Figura 10: Perfis típicos do vento sobre vários tipos de superfícies.

Fonte: SARAIVA (1994a).

Os perfis de vento demonstrados representam situações de atmosfera neutra utilizados em modelos numéricos e respondem a perfis logarítmicos do vento (Figura 10).

Figura 11: Perfis típicos do vento em condições de bom tempo sobre a terra.

Fonte: adaptado de Stull (2000) apud Lopes (2003).

Nota: G - velocidade média do vento geostrófico; M_{BL} - velocidade média do vento na camada limite atmosférica (CLA).

O vento na superfície sofre influência de vários fatores, como o relevo, o contato com massas de água, com massas de vegetação, tipologias de terreno e rugosidades (massas edificadas) (Figura 11). De acordo com Lopes (2003), na realidade ocorre uma instabilidade no ciclo diário, que corresponde à variação da velocidade do vento junto à superfície. Considerando-se uma área plana e com pouca rugosidade, após o nascer do Sol (9:00hs) há uma camada pouco espessa de mistura onde os ventos são uniformes em altura. Essa mistura passa a aumentar com o avançar do dia (15:00hs) e após o por do Sol (21:00hs) a intensidade de turbulência diminui e reduz a velocidade junto ao solo. Quando outro dia nasce, o ciclo torna a se repetir.

2.1.3.1. Parâmetros aerodinâmicos

De acordo com Melaragno (1982) a velocidade do vento é uma grandeza que inclui velocidade e direção. A velocidade do vento pode ser caracterizada como: velocidade de pico do vento: valor instantâneo máximo (rajada); velocidade de vento registrada num determinado período (1; 25; 50; 100 anos) e gradiente de

velocidade de vento: a velocidade do vento acima da altura gradiente onde a força de atrito de superfície não é mais atuante. Segundo Blessmann (1995) denomina-se altura gradiente (z_g), a altura medida a partir da superfície da Terra, na qual a velocidade do vento atinge a velocidade gradiente (v_g) (Figura 12).

Figura 12: Gradientes de Vento.

Fonte: MELARAGNO (1982).

Abaixo da altura gradiente situa-se a camada limite atmosférica, na qual a velocidade do vento é alterada por diversas causas. Nesta região as características do vento dependem da topografia do terreno, da forma, dimensões e distribuição dos obstáculos naturais e artificiais (rugosidade superficial) e da variação da

temperatura na direção vertical. Na camada limite a velocidade média do vento varia de zero, junto à superfície, até a velocidade de gradiente (na altura gradiente).

Figura 13: Camada Limite Atmosférica.

Fonte: GANDEMER (1976).

Para Melaragno (1982) a altura do gradiente (z_g) é aquela acima da qual o atrito com a superfície terrestre não mais afeta a velocidade do vento (Figura 13). Esta altura varia de acordo com as condições de superfície, conforme abaixo:

- ✓ Campo aberto: $z_g \cong 274\text{m}$
- ✓ Áreas suburbanas: $z_g \cong 365\text{m}$
- ✓ Área metropolitana: $z_g \cong 475\text{m}$

Na Figura 14 pode-se observar uma classificação simplificada de classes de escoamento, conjuntamente com disponibilidades de modelação física, em decorrência do conhecimento dos perfis de velocidade do escoamento (velocidade média e intensidade de turbulência), de temperatura e da função de densidade espectral de potência típica dos escoamentos atmosféricos (baseia-se numa descrição espaço-temporal dos fenômenos atmosféricos).

Figura 14: Efeito da Força de Coriolis sobre os ventos.

Fonte: SARAIVA (1994a).

Saraiva (1994a) destaca que alguns trabalhos indicam que, em termos locais, escalas com distâncias de alguns quilômetros, o gradiente de pressão pode ser desprezado, assim como a força de *Coriolis*. Desta forma, resulta uma camada limite turbulenta em que, para ventos fortes, os efeitos térmicos podem ser desprezados e a turbulência assumida como basicamente mecânica.

A turbulência é exclusivamente de origem mecânica, sendo os perfis de velocidade média ditados pelo equilíbrio da energia recebida do escoamento exterior e a dissipação de origem viscosa por atrito do solo. O escoamento é dado pelo gradiente de pressão e pode-se esperar a mesma velocidade do escoamento fora da camada limite (velocidade geostrófica), variando a espessura desta e o perfil de velocidade em altura com a rugosidade do solo.

2.1.3.2. *Classes de Rugosidades*

A rugosidade é descrita por vários parâmetros aerodinâmicos. Quando pensa-se em cidades, a complexa multiplicidade de volumetrias, formas e padrões urbanos, nos leva a utilizar valores pré-definidos testados e publicados, semelhantes a padrões urbanos similares aos estudados.

Segundo Gandemer (1978) apud Silva (1999) a CLA divide-se em duas sub-camadas: logarítmica e exterior. Na logarítmica +/- 150m de espessura (δ) a variação da velocidade média com a altura é feita a partir de uma lei logarítma e que, em termos adimensionais, apresenta a rugosidade como único parâmetro de descrição, desprezando as tensões de corte⁴. Na exterior as tensões de corte evoluem do valor constante, presente na logarítmica, até um valor nulo no limite superior da CLA (PLATE et al. (2001), CHANDLER (1976)).

Na camada logarítmica a variação da velocidade média do vento com a altitude, constitui o perfil transversal de velocidade, que pode ser descrita pela lei logarítmica de *Prandtl*:

⁴ De acordo com Lopes (2003) a força exercida pelo ar em movimento sobre uma dada superfície, é denominada de tensão de corte (*surface shearing stress* τ) e é dada como sendo uma força por unidade de superfície (N/m² ou Pa).

$$\overline{U_{(z)}} = \frac{u_*}{k} * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{Equação 1a}$$

Onde:

$\overline{U_{(z)}}$: velocidade media do vento à cota z ;

u_* : velocidade de atrito;

k : constante de Von Kármán (0,40);

z : altura da cota;

z_0 : comprimento característico da rugosidade do solo.

Para calcular a evolução do perfil transversal de velocidades na camada logarítmica a uma dada cota de referência (z_{ref}) , pode-se adotar a seguinte equação:

$$\overline{U_{(z)}} = \overline{U_{(z_{ref})}} * \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)} \quad \text{Equação 1b}$$

Onde:

$\overline{U_{(z)}}$: é a velocidade média à cota z ;

$\overline{U_{(z_{ref})}}$: é a velocidade na cota de referência. Este valor pode ser obtido em registros meteorológicos.

z : é o nível acima do solo;

z_0 : comprimento característico da rugosidade do solo;

z_{ref} : cota de referência.

Nas **Figura 15** e **Figura 16** podem ser verificados perfis típicos de velocidade média em altura para diferentes tipos de rugosidade de terreno.

Figura 15: Rugosidades e coeficientes de atrito para vários tipos de terreno.
Fonte: SARAIVA (1983).

Figura 16: Perfis de velocidade do vento.
Fonte: RIERA and DAVENPORT (1998).

Segundo Bittencourt (1994), o objetivo é incorporar a redução na velocidade do vento produzida pelo aumento da rugosidade do tecido urbano e permitir uma avaliação mais precisa do vento disponível em cada pavimento da edificação.

Valores de k e A , respectivamente, os parâmetros de forma e escala adotados em vários modelos de cálculo, estão apresentados na **Tabela 1**:

Coeficientes do terreno	k	A
Campo aberto plano	0.68	0.17
Campo com obstáculos esparsos	0.52	0.20
Área urbanizada	0.35	0.25
Centro de grande cidade	0.21	0.33

Tabela 1: Coeficientes de terreno para a equação do gradiente de vento.

Fonte: Building Research Establishment (1978) apud BITTENCOURT (1994).

Existem várias referências que apresentam valores pré-definidos de rugosidade (GIVONI, 1998; LOPES, 2003) e, para a análise dos dados cimáticos, adotou-se a tabela definida por Mortensen et al (1993), apresentada no item sobre a simulação com o software *Wa^sp* (*Wind Atlas Analysis and Application Program*).

Quando há necessidade de definir com precisão a rugosidade de um dado local, pode-se adotar um algoritmo proposto por Lettau (1969) e apresentado por Lopes (2003) e Mortensen et al (1993):

$$z_0 = 0.5 * \frac{h * S}{A_H} \quad \text{Equação 2}$$

Na fórmula, h é a altura média dos edifícios considerados, S é a seção exposta e A_H é a área disponível de cada elemento, onde verifica-se uma relação da área exposta à direção do vento com a área disponível de cada elemento.

De acordo com Mortensen et al (1993) apud Lopes (2003) esta formula apresenta resultados de z_0 coerentes quando a área disponível é maior que a área exposta e, sobrestima a rugosidade quando as duas áreas são idênticas. Este algoritmo assume uma porosidade igual a 0, em decorrência dos elementos rugosos presentes na cidade serem sólidos. Para localidades com características diversas (florestas, matas) deve-se acrescentar um fator de porosidade.

2.1.4. Efeito do Vento no Entorno de Edifícios

O campo do escoamento do vento atmosférico em torno de um edifício é determinado pelas características do vento imediatamente a barlavento, pela direção que se apresenta e pelas características geométricas do próprio edifício.

Figura 17: Representação gráfica de um escoamento em torno de obstáculo: Leonardo da Vinci.

Fonte: SARAIVA (1994a).

Na **Figura 17** é possível verificar o que poderá ter sido a primeira representação, com alguma realidade física, do escoamento em torno de um obstáculo (SARAIVA, 1994a).

Quando se tem um elemento simples, os perfis de vento associados a ele apresentam as variações da velocidade do ar em altura. Na **Figura 18** observa-se, no número (1), que o vento possui um perfil logaritmico e tem sua forma típica, antes de atingir o obstáculo. No número (2), o perfil se altera quando o fluxo passa sobre o obstáculo. Verifica-se que a distorção consiste em um aumento da velocidade imediatamente acima do obstáculo, mas corresponde em parte do obstáculo a uma diminuição da velocidade. Na parte posterior logo após o obstáculo (3), as linhas do fluxo divergem e a velocidade diminui. Nas imagens (4) e (5), dado o afastamento do objeto, verifica-se um reajuste do perfil pouco alterado pelo obstáculo, (OKE, 1987; LOPES, 2003).

Figura 18: Perfis de vento e zonas de fluxo normal a um obstáculo.

Fonte: OKE (1987) apud LOPES (2003).

A **Figura 19** representa, de forma simplificada, um campo de escoamento em torno de uma forma prismática, apoiada no solo, imersa em uma camada limite onde a direção do vento é perpendicular à maior face (SARAIVA, 1983).

Figura 19: Representação do campo de escoamento em torno de uma forma prismática.

Fonte: SARAIVA (1994a).

A **Figura 19** demonstra a representação gráfica do escoamento, quando existe a presença de outro edifício a barlavento. Nesta representação observa-se um diferencial de pressões entre as faces a barlavento (sobre pressões) e a sotavento e/ou laterais (sucção) que pode ocasionar, dependendo das distâncias, escoamentos de elevada velocidade em edificações com arcadas e com comunicação aberta.

Assis et al. (1995) apresenta um quadro (**Tabela 2**) com os efeitos aerodinâmicos de vento sobre conjuntos de edificações. A análise da ventilação natural fundamenta-se na identificação de efeitos aerodinâmicos do vento em contato com a rugosidade superficial do meio urbano.

<i>Efeito</i>	<i>Definição</i>	<i>Características</i>	<i>Relações</i>
Efeito Pilotis	Escoamento através de pilotis que ligam as áreas em pressão positiva e negativa	Entrada de ar difusa, saída localizada	$h \geq 15m$
Efeito de Canto	Escoamento nos ângulos do edifício	Gradiente horizontal elevado e desconfortável para o pedestre. Quanto mais alto o edifício, pior o efeito	$h \geq 15m$, para edifícios isolados; $h \geq 30m$, para conjuntos de edifícios.
Efeito 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, por uma área de 2e de cada lado do edifício
Efeito Turbilhão ao Pé do Edifício	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 (<i>Efeito Wise</i>)	$h \geq 15m$
Efeito Barreira	Desvio em espiral do escoamento, ao cruzar um edifício com ângulo de incidência de cerca de 45°	Zona de turbulência incômoda na parte posterior central do edifício. O efeito ocorre em edifícios com forma mais alongada	$h < 25m$ e $\geq 8h$; $d \leq h$; o efeito persiste por cerca de 2h
Efeito Venturi	Um coletor formado pela disposição dos edifícios faz um ângulo aberto ao vento	Saída em jato, muito incômoda na área de estrangulamento	$h > 15m$; $c_1 + c_2 = 100m$
Efeito União de Zonas de Pressão Diferentes	Escoamento entre zonas de pressão diferentes formadas pela disposição de edifícios paralelos	Influência preponderante da altura dos edifícios, provoca alteração na direção do vento	$h \geq 15m$; $d' \leq h$; $a \geq h$; para $h > 100m$, $d' = e/4$
Efeito de Canalização	Escoamento por um conjunto construído que forma um corredor aberto	Não é, por si só, causa de incômodo, a não ser quando associado a outro efeito ou quando a velocidade do vento é muito grande	$h \geq 6m$; $d' < 2h$
Efeito 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
Efeito de Malha	Escoamento através de um arranjo de edifícios que forma pátios centrais ou bolsões	O pátio central pode ser protegido do vento ou, pelo contrário, há interesse em que seja ventilado	$h > e$; $b \leq P/4$; $S/h^2 \leq 10$ para $15m \leq h \leq 25m$ (efeito de proteção)

Tabela 2: Quadro com os efeitos aerodinâmicos de vento sobre conjuntos de edificações.

Fonte: ASSIS et al. (1995).

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. De acordo com Liddament apud Bittencourt (1994) a não observação desses parâmetros é responsável pelo maior número de erros na avaliação quanto ao potencial de vento disponível para a ventilação natural, **Figura 20**.

Figura 20: Representação gráfica de edifícios próximos.

Fonte: SARAIVA (1994a).

A ventilação e o meio externo são de grande importância para o projeto do edifício, pois devem auxiliar a definir a forma, o volume, a localização e o detalhamento. De acordo com Chandler (1976) os fatores físicos e sócio-econômicos conduzem às formas de uso e de ocupação dos lotes de terrenos urbanos.

No nível do usuário/pedestre, os escoamentos são estabelecidos pela complexa interação entre o vento e o meio contruído. As dimensões, formas e justaposições dos elementos que compõem a cidade definem zonas de baixas e altas pressões ao redor dos elementos/edifícios, que podem gerar ou não aceleração do vento.

Segundo Lopes (2003), Gandemer em 1975 apresentou uma sistematização dos movimentos dos fluxos de ar sobre conjuntos arquitetônicos e suas implicações no conforto dos usuários (segurança). Esta sistematização é utilizada ainda hoje em atividades do planejamento urbano, e foi elaborada em ensaios em túnel de vento.

Da Figura 21 a Figura 25 estão apresentados alguns desenhos que foram descritos no quadro referente aos efeitos aerodinâmicos do vento sobre os conjuntos de edificações.

Figura 21: Efeito de barreira e efeito de venturi.

Fonte: GANDEMER (1975) apud LOPES (2003).

O efeito de barreira, por exemplo, pode ocorrer em áreas onde o vento atinge um edifício, em um ângulo da ordem de 45° , em formato paralelepípedo. O fluxo passa sobre o edifício e provoca um movimento turbilhonar com aumento da velocidade na parte posterior. No efeito de venturi observa-se o aumento da velocidade do vento, no estreitamento dos elementos que compõem o conjunto, **Figura 21**.

Na **Figura 22** observam-se os efeitos relacionados a diferença de pressões ocasionadas pelo posicionamento dos edifícios. Quando o vento incide sobre uma dada superfície esta recebe uma pressão positiva e na parte posterior, surgem zonas de pressões negativas definidas como zonas de sucção.

Figura 22: Efeito de diferenças de pressão.

Fonte: GANDEMER (1975) apud LOPES (2003).

O efeito de malha apresenta áreas com espaços semi-confinados com pequenas aberturas, que não possibilitam a renovação do ar no interior. O efeito de pilotis possibilita a circulação por aberturas na parte inferior do edifício, proporcionando ao movimento de ar de zonas de alta pressão para de baixas, **Figura 23**.

Figura 23: Efeito de malha e de pilotis.

Fonte: GANDEMER (1975) apud LOPES (2003).

O efeito de canalização e de esquina promovem o direcionamento do fluxo de ar em partes do edifício, possibilitando o aumento da velocidade do vento, **Figura 24**.

Figura 24: Efeitos de canalização e esquina.

Fonte: GANDEMER (1975) apud LOPES (2003).

O efeito esteira e abrigo devem ser observados com cautela, pois deveriam ser consideradas áreas que possibilitassem uma circulação efetiva do vento por todo o complexo. O efeito de pirâmide não oferece muita resistência ao vento e possibilita a dissipação da energia em várias direções.

Figura 25: Efeitos de esteira, abrigo e pirâmide.

Fonte: GANDEMER (1975) apud LOPES (2003).

A localização relativa dos edifícios - levando em consideração a medida máxima, comprimento, largura, altura e sua orientação em direção do vento - será de fundamental importância para a ventilação natural do meio externo. As características de um projeto podem resultar nas formações de zonas de pressão. Assim, são de responsabilidade do projetista os efeitos negativos e positivos que possam vir a ocorrer no projeto, relacionados com a questão da ventilação natural. Estes podem ser provocados por efeitos aerodinâmicos no edifício e/ou pela presença ou não de prédios ao redor dos mesmos, Prata (1998).

2.1.5. Ventilação Natural e Conforto dos Usuários

O vento, para os usuários, está relacionado à qualidade do ar, à saúde humana e ao conforto.

Para a qualidade do ar o vento é o fator de maior importância para a dispersão de poluentes, remoção e/ou transporte de odores, partículas e, sendo assim, deve-se pensar na localização de equipamentos urbanos e/ou locais de concentração de partículas poluidoras. Vale destacar que nas cidades a concentração de emissões de poluentes está localizada na altura dos usuários/pedestres e que é oriunda dos veículos automotores.

O conforto humano associado ao vento pode influenciar no bem estar das pessoas de duas formas distintas: quanto ao conforto/desconforto (fatores térmicos) causado pelo vento e o perigo potencial que este pode representar as pessoas quanto à segurança (fatores mecânicos) (SILVA, 1999). Basicamente dois critérios podem ser verificados: a velocidade efetiva, que combina o efeito da velocidade média do vento e das rajadas, e quanto à segurança dos pedestres (BLANPAIN, 1995; GANDEMER, 1976; SARAIVA et al, 1997; SILVA, 1999).

O efeito do vento no corpo humano é basicamente duplo:

1. afeta a troca de calor entre o corpo e o ar proporcionalmente à velocidade do ar, através de convecção;

2. aumenta a evaporação de suor e - por conseguinte - o resfriamento da pele.

Para Saraiva (1994a) a ação do vento é sentida por uma pessoa de duas formas: como força que resulta da distribuição do campo de pressões induzida sobre ela pelo vento e, como velocidade, na medida em que afeta a sua taxa de troca de calor com o exterior.

A relação de conforto e desconforto térmico baseia-se em reações fisiológicas do indivíduo e a variável vento pode intensificar ou minimizar esta relação. O conforto aborda parâmetros físicos e subjetivos que determinam a situação. Estes parâmetros vão desde a época do ano, da localização do indivíduo, do clima predominante, passando pelo grau de aclimação que depende da raça, idade, estado de saúde e condições físicas e psicológicas.

Para Melaragno (1982) o vento é um dos fatores que regula a troca de calor entre organismos e o ambiente físico que os circunda. O mecanismo de troca envolve apenas o vento e o fluxo de calor por convecção. A troca total de energia, ao contrário, também inclui outros mecanismos. A transferência de energia do organismo para o ambiente ou do ambiente para o organismo ocorre até que uma condição de equilíbrio entre os dois seja atingida.

O ciclo de energia pode ser visto como um processo de transformação que converte a energia química da comida na energia mecânica necessária para o trabalho, para respiração e circulação de sangue, para processos metabólicos e para calor. As trocas bidirecionais de energia podem ser facilmente visualizadas. Por exemplo, radiação de calor da superfície do corpo de um animal para o ar ao seu redor, ou vice-versa, e a radiação de calor de objetos de uma dada emissividade para um corpo animal são formas desse tipo de troca.

O vento soprando contra um objeto aumenta a taxa de transferência de calor do objeto para o ar ao seu redor, Melaragno (1982). A taxa aumenta com a elevação da velocidade do vento. Siple (1951) desenvolveu um índice que combina a temperatura do ar (t) e velocidade do vento (v) num único valor chamado *windchill*. Este valor equivale à temperatura que se sentiria sem o vento. A quantidade de

perda de calor produzida pelo *windchill* e dada no Sistema Internacional pela equação abaixo (SIPLE, 1951 apud MELARAGNO, 1982):

$$Windchill = (10.45 + 10\sqrt{v} - v)(33 - t)$$

Figura 26: Efeito do *WindChill*.

Fonte: MELARAGNO (1982).

Segundo Siple e Passel (1945 citados por WILLIAMSON, 2003) a temperatura resfriada pelo vento (*windchill temperature*), foi obtida por meio de dados com experiências na Antártida. Desta forma, a escala de valores de temperatura e velocidade do vento aplicáveis a esta equação são da ordem de $-9^{\circ}\text{C} \leq t \leq 10^{\circ}\text{C}$ para temperatura e v (a 10m) $\leq 22,3\text{m/s}$, sendo que este índice deveria ser utilizado apenas nestas condições.

Para Saraiva (1994a), alguns autores preferem exprimir a ação do vento como fator de “arrefecimento⁵” (*windchill*) que dá a idéia da temperatura equivalente, a qual, o usuário estaria submetido em condições de calma para perder, por convecção, a mesma quantidade de calor (MELARAGNO, 1982).

⁵ Este termo pode ser encontrado como resfriamento.

Velocidade do vento (m/s)										
20,13	15,66	11,18	8,95	6,71	4,47	2,24	1,34	0,89	0,45	°C
leitura de temperatura (°C)										Temperatura equivalente(°C)
32,2	31,9	31,67	31,39	31,11	31,56	30,83	30,56	30,00	29,17	28,33
27,8	27,2	26,94	26,67	26,39	25,56	24,44	23,33	22,50	21,11	15,56
22,2	21,7	20,83	20,00	19,44	18,33	15,56	13,89	11,94	8,61	-5,00
17,2	16,1	15,00	13,89	12,78	11,11	6,94	3,89	1,39	-6,67	-23,89
10,6	9,4	8,33	7,22	5,83	3,33	-2,22	-7,50	-11,67	-17,78	-32,78
5,0	3,9	2,22	1,11	-0,83	-4,44	-11,67	-17,78	-22,78	-30,83	-38,89
-1,1	-2,2	-3,89	-5,00	-7,78	-11,67	-20,56	-26,94	-40,00	-	-
-6,7	-7,8	-10,00	-11,67	-14,44	-18,89	-28,33	-40,00	-	-	-
-12,2	-13,6	-16,11	-17,78	-21,11	-26,11	-37,22	-	-	-	-
-17,8	-19,2	-22,22	-24,44	-27,78	-33,89	-	-	-	-	-
-23,9	-25,6	-27,78	-30,56	-34,44	-	-	-	-	-	-
-29,4	-31,1	-34,44	-37,22	-	-	-	-	-	-	-
-35,6	-37,2	-40,00	-40,00	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 3: Velocidade do vento x temperatura⁶

Fonte: SARAIVA (1994a).

Saraiva (1994) descreve estudos sobre observações realizadas com pedestres, que caminhavam sobre situações urbanas diversificadas e, pode constatar que as pessoas caminhavam sem problemas de segurança (ainda que desconfortavelmente) com velocidades de rajadas (máximas) da ordem de 16 m/s à altura de 2,00m para usuários em zonas antigas de cidades. Para áreas com edifícios altos próximos (centro de grandes cidades), as velocidades de rajadas máximas ultrapassavam o valor de 20 m/s, ocasionando quedas. Desta forma pode concluir que uma rajada da ordem de 23 m/s encontra-se no limite de derrubar um indivíduo jovem normal. Através dos estudos pode-se definir critérios de conforto para pessoas que trabalhavam no campo (velocidades medidas em 10 minutos a 2,00m do chão):

- ✓ U = 5 m/s início de desconforto;
- ✓ U = 10 m/s claramente desconfortável;
- ✓ U = 20 m/s perigoso.

Para a verificação da velocidade, utilizou a escala de *Beaufort*. Esta escala não trata diretamente de uma escala de velocidades, mas de uma escala linear de forças do vento (pressões dinâmicas do escoamento médio). A razão da utilização desta escala na definição de critérios de conforto e segurança está no fato de se

⁶ Tabela alterada pelo autor, onde os valores foram transformados de graus K para °C e de pés para m/s.

tratar de uma escala de força e por descrever os efeitos do vento (SILVA (1999), SARAIVA (1994a), SIMIU & SCANLAN (1996)).

A Tabela 4 apresenta os valores da Escala de *Beaufort* e a Tabela 5 apresenta um critério geral de conforto na utilização de espaços exteriores.

Escala de <i>Beaufort</i>		Velocidade (m/s)	Efeito
Calmaria	0 - 1	0 - 1.5	Calmo, sem vento perceptível
Brisa leve	2	1.6 - 3.3	Vento perceptível na face/movem-se as folhas das árvores
Brisa fraca	3	3.4 - 5.4	Vento desfralda bandeira leve/cabelo mexe/roupas balançam/folhas das árvores se agitam
Brisa moderada	4	5.5 - 7.9	Levanta poeira, solo seco e papéis/ cabelo é desarrumado/movem-se os galhos das árvores
Brisa fresca	5	8.0 - 10.7	Força do vento sentida no corpo/movem-se as pequenas árvores
Brisa forte	6	10.8 - 13.8	Dificuldade em usar guarda-chuvas/cabelo é levantado/dificuldade em andar direito/barulho de vento sentido nos ouvidos/movem-se os maiores galhos das árvores
Vento fraco	7	13.9 - 17.1	Dificuldade para caminhar/movem-se as grandes árvores
Vento moderado	8	17.2 - 20.7	Impedimento para caminhar/grande dificuldade de manter o equilíbrio durante rajada/quebram-se os galhos das árvores
Vento forte	9	20.8 - 24.4	Impossível caminhar contra o vento/danos nas partes salientes das árvores

Tabela 4: Escala de Beaufort⁷.

Fonte: SARAIVA (1994a).

⁷ Tradução do autor.

Critério preliminar de conforto relacionado ao vento (depois de Davenport)⁸

(unidade: escala de Beaufort; temperaturas > 10°C)

Atividade	Áreas para aplicação	Conforto relativo			
		perceptível	tolerável	desagradável	perigoso
1. andando rápido	calçada	5	6	7	8
2. caminhando, andando de skate	parques, entradas, pistas de skates	4	5	6	8
3. de pé, sentado - período curto	parques, áreas de praça	3	4	5	8
4. de pé, sentado - período longo	restaurantes ao ar livre, teatros	2	3	4	8
Critérios representativos para aceitabilidade			< uma vez/semana	< uma vez/mês	< uma vez/ano

A temperaturas mais baixas pode-se esperar que o nível relativo de conforto se reduza por um número de Beaufort para cada redução de 20°C na temperatura.

Relação entre a escala de Beaufort e a velocidade do ar (m/s)

Escala de Beaufort	1	2	3	4	5	6	7	8
Velocidade média do vento a 10m de altura em campo aberto	0.9	2.4	4.4	6.7	9.3	12.4	15.5	18.9
Velocidade da rajada a 2m de altura $\overline{V}_2 = \overline{V}_{10} 1,5 * 0,8$	1	3	5	8	11	15	19	23
Velocidade média do vento a 2m de altura em área urbana $\overline{V}_2 = 0,5 * \overline{V}_2$	0.5	1.5	2.5	4	5.5	7.5	9.5	11.5

Tabela 5: Critérios de Conforto.

Fonte: SARAIVA (1994a).

A **Figura 27** apresenta os critérios mais utilizados para definir o conforto térmico de indivíduos deslocando-se normalmente no exterior e em que as variáveis básicas são a velocidade do vento, a temperatura do termômetro seco, a roupa e a exposição ao sol (SARAIVA, 1997).

⁸ Tradução do autor.

Figura 27: Critérios de Conforto.

Fonte: SARAIVA (1994).

Segundo Gomes (1967) a correlação e interdependência dos fatores temperatura, umidade e velocidade do ar, foi proposta em estudos americanos sob a forma de um parâmetro único: a temperatura efetiva. A *Tropical Building Section* da BBR (1960) apresentou um nomograma de temperatura efetiva (*equatorial comfort index*) estabelecido com base em ensaios realizados para as condições, climáticas e humanas, de Cingapura (clima quente e úmido).

Para análise das condições dos usuários/pedestres na área de estudo, verificou-se na literatura, alguns exemplos de métodos e/ou índices, que consideram as condições fisiológicas do usuário em relação ao meio.

Modelos para estimar o estresse do indivíduo em espaço externo baseiam-se no conceito de calor acumulado (S) igual a 0. A partir dessa hipótese é calculado o valor da perda por evaporação que deve ocorrer para o corpo atingir o equilíbrio térmico. Nos casos em que a taxa de evaporação requerida ultrapassa o valor máximo, que é função da pressão de vapor existente no ambiente, o calor será acumulado no corpo gerando o aquecimento do corpo. Estes modelos utilizam, para classificar níveis de estresse ou esforço fisiológico do indivíduo, a relação taxa de calor acumulado com o ganho por radiação (R), como indica Blazejczyk, (2004).

Esse é o caso do índice HL (*Heating Load*) adotado no software *Bioklima*. O índice HL (índice de carga térmica no organismo) classifica o estresse do indivíduo segundo os seguintes intervalos:

HL	Classificação
$\leq 0,25$	estresse por frio extremo
0,26 a 0,82	estresse médio por frio
0,83 a 0,97	estresse moderado por frio
0,98 a 1,025	neutralidade térmica
1,026 a 1,180	estresse por moderado por calor
1,181 a 1,750	estresse médio por calor
$\geq 1,751$	estresse extremo por calor

Tabela 6: HL (*Heating Load*)

Fonte: BLAZEJCZYK, (2004)

Alguns índices dimensionam o estresse do indivíduo por meio de parâmetros que avaliam o esforço fisiológico para o corpo se adaptar ao ambiente. Este é o caso do

índice P_{hs} (*Physiological Strain*) que o classifica a partir da relação entre o calor trocado por convecção (C) e o calor perdido por evaporação (E):

$$P_{hs} = \frac{C}{E} \text{ [adimensional]} \quad \text{Equação 3}$$

A classificação adotada por esse índice é:

PhS	<i>Classificação</i>
< 0,25	grande esforço fisiológico (por calor)
0,25 a 0,75	esforço moderado (por calor)
0,75 a 1,5	neutralidade térmica
1,5 a 4,0	esforço moderado (por frio)
>4,0	grande esforço fisiológico (por frio)

Tabela 7: P_{hs} (*Physiological Strain*)

Fonte: MONTEIRO & ALUCCI (2005c).

Existem várias metodologias para análise do conforto térmico de um indivíduo em espaços abertos e que, a priori, consideram a ventilação natural (velocidade do ar). Assim, os métodos de avaliação do conforto térmico e índices de neutralidade, observados em Monteiro e Alucci (2005b; 200c), possibilitaram a seleção de procedimento para cálculo das condições de neutralidade térmica de um usuário/pedestre, índice este que demonstra representatividade das características de um dado local.

A opção pelo índice de neutralidade térmica e não de conforto, foi em decorrência desta tese não tratar de dados subjetivos, como respostas dos usuários, que seriam parte integrante de uma avaliação sobre o conforto⁹. Buscou-se abordar metodologias de balanço térmico do corpo humano com o meio, sendo o vento a principal variável a ser comentada.

⁹ A aplicabilidade do índice proposto será demonstrado no Capítulo 8.

2.2. METODOLOGIAS PARA ANÁLISE DO VENTO NO MEIO URBANO

Devido ao processo de crescimento das cidades, é notável que preocupações relacionadas ao desenvolvimento destas sejam foco de estudos e interesses de pesquisadores. A responsabilidade, neste processo, deveria ser de planejadores e projetistas do solo urbano, buscando um equilíbrio na organização das áreas urbanas, considerando questões como áreas permeáveis, tipo de uso das edificações, padrão de ocupação e variáveis ambientais (sol, vento, umidade).

Alterações no tecido urbano podem contribuir para, ou minimizar, impactos na qualidade do clima de nossas cidades. Espera-se que diretrizes projetuais de planejamento, permitam a verificação e avaliação das condições decorrentes das transformações urbanas.

Ferramentas que permitem a visualização da ação do vento tanto no exterior e interior dos edifícios são de grande utilidade para arquitetos e projetistas, pois auxiliam no entendimento do comportamento da ventilação natural. A visualização de escoamentos serve para elucidar o comportamento de fenômenos físicos e permite a obtenção de dados qualitativos e quantitativos, Toledo (2004).

Existem vários estudos para caracterização dos escoamentos, em Toledo et al. (2004) é possível conhecer métodos e técnicas para a visualização, aplicáveis ao meio urbano e aos edifícios.

Estudos experimentais, como ensaios em túnel de vento e/ou ferramentas computacionais, permitem uma análise das transformações urbanas ou arquitetônicas aplicadas ao tecido urbano (quadras, bairros) ou em áreas pré-definidas na implementação de edifícios. Desta forma a análise do objeto de estudo permitiu verificar a sistemática de avaliação de uma dada área sob o aspecto da variável vento. Neste item estão descritas as simulações em túnel de vento e computacional.

2.2.1. Simulação em Túnel de Vento

Os ensaios em túnel de vento são utilizados para a verificação dos efeitos do vento decorrentes de modificações em espaços abertos, em grupos de edifícios, dispersão de poluentes ou odores, segurança e conforto dos pedestres, bem como para a análise em edifícios (estrutural) e propagação de emissões veiculares (vias e/ou áreas específicas - garagens, indústrias).

Arquitetos e planejadores estão tomando consciência da necessidade de requerer informação a respeito das prováveis condições de vento ao redor dos edifícios propostos, ainda na fase de projeto (SILVA et al., 2003 e 1998; FERREIRA, et l., 2002). Esta informação vem, principalmente, de testes de modelos em túneis de vento, com velocidades medidas na vizinhança de um edifício sendo expressa sem termos da velocidade do vento num sítio aberto e desobstruído, conforme Penwarden (1973).

De acordo com Silva (1999), “questões de clima urbano relativas aos níveis requeridos de conforto do vento, da ventilação e da higiene do ar podem, com o auxílio de experimentos em túneis aerodinâmicos, ser analisadas e permitir aos planejadores compará-las com situações existentes”.

Silva (1997) descreve que a vantagem do túnel aerodinâmico em relação às medições feitas no local está no fato de que planejamentos futuros, ou seja, alternativas de mudanças podem ser compreendidas muito rapidamente, assim que seja construído um modelo apropriado da região de planejamento.

Segundo Carril Jr. (1995) o túnel de vento pode ser utilizado para fins didáticos ou de pesquisa. Os testes para construção civil e estruturas envolvem simulação da camada limite atmosférica e modelagem das construções vizinhas. Koenigsberger (1977) e Saraiva (1994a) apresentam gradientes de vento com perfis típicos de velocidade média em altura para diferentes tipos de situações urbanas e rugosidades, determinadas a partir de medições de campo e que poderão auxiliar na calibração dos ensaios no túnel.

A transferência de resultados de experimentos com modelos reduzidos em túnel aerodinâmico de camada limite para a escala natural só é possível se determinados

critérios de semelhança forem preenchidos, Röckle (1990) apud Silva (1999). Além da semelhança geométrica entre obstáculos da natureza e do modelo, também há a semelhança das condições de corrente. A reprodução dos perfis de corrente pode ser conseguida através de geradores de turbulência (ou vórtices) e elementos de rugosidade, instalados na extensão do piso do túnel. A semelhança geométrica deve reproduzir fielmente os objetos a serem pesquisados, e a escala a ser utilizada não deve ser pequena para não alterar as condições do escoamento. Escalas da ordem de 1:300 a 1:2500 (para alguns casos) são definidas como limites. Bächlin & Plate (1986) e Silva (1999) definem um valor crítico de 7%. Em túneis dotados de cobertura móvel ou removível para compensação da pressão, este valor não precisa ser considerado (SILVA, 1999).

De acordo com Baturin (1976) a teoria da semelhança demonstra que é preciso medir todas as variáveis que interferem nos critérios de semelhança e que os resultados devam expressar, por meio de quantidade, grupos adimensionais.

Conforme Toledo (1999) o conhecimento científico sobre a ação dos ventos nos edifícios foi proveniente de ensaios em modelo reduzido, em túneis aerodinâmicos. Estes ensaios podem ser classificados em dois grupos: o primeiro inclui ensaios específicos nos edifícios (por exemplo, distribuição de pressões) e o segundo compreende estudos particulares de edifícios e/ou grupos de edifícios, reproduzindo as características do local.

Para ensaios em túnel de vento a escala do modelo/maquete depende da dimensão da seção do túnel, da área de estudo, do tipo de ensaio a ser realizado (estrutural, edifício, meio urbano) e dos critérios de semelhança. Podem-se utilizar técnicas para visualização qualitativa do fluxo de ar com fumaça ou técnica de erosão com areia e, para medições quantitativas, são utilizados anemômetros de fio quente e/ou tubo de *Pitot*, que permitem medir as velocidades das correntes que incidem sobre o modelo. Existem várias técnicas de medição para a determinação dos fluxos de ar (direções, velocidades e intensidade de turbulência) em túneis aerodinâmicos. Para uma abordagem melhor detalhada das técnicas utilizadas, verificar a referência Wu et al. (1993), (LOPES, 2003).

Para esta pesquisa foram utilizadas a técnica de figuras de erosão (geradas pela movimentação de grãos de areia sobre a área de ensaio) e medições de perfis de vento em altura em pontos pré-definidos (tubo de *Pitot* e fio quente).

2.2.1.1. Técnica de Figuras de Erosão

A técnica das figuras de erosão consiste em espalhar sobre o piso do modelo (área que deseja-se analisar) uma fina camada de areia. Ao introduzir o fluxo de ar formam-se erosões que simulam a intensidade do vento em torno dos edifícios. Medidas turbulentas em terrenos complicados são difíceis e quando o interesse está focado no solo, o problema se complica ainda mais.

Figura 28: Exemplo da aplicação da areia sobre o modelo.

As figuras de erosão são utilizadas para a visualização do campo de velocidade no nível do solo (JANEIRO BORGES et al, 1979; BERANEK, 1979).

O vento, quando passa por uma camada de partículas soltas (areia) espalhadas sobre uma dada superfície é necessária uma velocidade de escoamento exterior U , elevada, para verificar uma saltação (JACKSON, 1981) ou arrasto das partículas.

Para determinar esta velocidade, na prática, coloca-se uma parcela de areia sobre uma área fora da influência dos elementos do modelo (área de teste) e sobre o piso do modelo, e observa-se que ao aumentar progressivamente a rotação do motor, e conseqüentemente a velocidade do fluxo, verifica-se a que velocidade os grãos começaram a saltar.

Se se verifica uma movimentação junto aos elementos do modelo e não na área de teste, esta resulta da influência dos elementos que fazem com que a velocidade aumente a sua volta. A partir do momento que a areia da área de teste se desloca, as figuras de erosão resultam não só das acelerações ocasionadas pelos elementos, mas também do movimento do fluxo que foi aplicado no túnel. Com o aumento da velocidade pelo ventilador, formam-se isolinhas que representam as direções do escoamento do ar sobre o modelo (JABARDO et al., 2005; PRATA et al., 2005).

Mantendo-se o U constante por um dado período de tempo (no ensaio realizado foi por volta de 2 minutos), pode-se observar uma área erodida cujos limites são bem marcados (JANEIRO BORGES et al., 1979). A figura de erosão corresponde aos contornos onde a velocidade de atrito assume o valor limite de saltação ou arrasto.

Variando a velocidade do escoamento, obtém-se um conjunto de linhas/figuras que correspondem a uma mesma condição de fronteira - velocidade de atrito/fricção. Verifica-se que a relação de velocidades de atrito assume, para qualquer par de pontos da superfície, similar relação entre as velocidades medidas à mesma cota:

$$\frac{u_{x1}}{u_{x2}} = \frac{U_{1(x3)}}{U_{2(x3)}} = \gamma \quad \text{Equação 4}$$

Quando a velocidade de atrito for a mesma que a do arrasto, as variações da velocidade de referência, na cota x_3 serão inversas às que se verificam na relação das velocidades de atrito. As velocidades na cota x_3 definem as evoluções das figuras de erosão (isolinhas γ).

A relação das velocidades exteriores, medidas a mesma cota na zona não perturbada da camada ($u_{\tau 0}$), mede diretamente a relação das velocidades de atrito (u_{τ}) no limite das figuras originadas:

$$\gamma = \frac{u_{\tau 0}}{u_{\tau}} \quad \text{Equação 5}$$

Onde: $u_{\tau 0}$: velocidade de atrito característica da superfície plana no escoamento não perturbado e u_{τ} : velocidade de atrito local.

Os valores de γ inferiores à unidade correspondem às zonas que se podem designar por expostas, onde a tensão de corte na superfície é superior à que se verifica no escoamento não perturbado. Já para os valores de γ superiores à unidade correspondem às zonas abrigadas onde a ação erosiva do escoamento é atenuada (SILVA, 1999; SILVA et al., 2003).

Os ensaios experimentais foram realizados utilizando-se grãos de areia de 0.6mm e com granulometrias diferentes espalhadas em baixa concentração numa superfície de madeira compensada (JANEIRO BORGES, et al., 1979). A técnica das figuras de erosão foi adotada, pois se fundamenta no fato físico que para uma dada velocidade, a areia espalhada uniformemente sobre uma superfície começa a ser arrastada, dependendo da velocidade, da rugosidade da superfície do terreno e da granulometria da areia.

Para os ensaios realizados foi utilizada areia com granulometria de 0.6mm, normalizada NPEN 196-1¹⁰ fração IV-A que passa na peneira 0.5mm e fica retida na 0.3mm.

Para cada direção do vento e velocidade determinadas foram geradas fotografias (imagens) que foram tratadas, permitindo uma visualização dos resultados obtidos para a configuração urbana atual e para modificações urbanas propostas, com o caráter experimental.

Figura 29: Exemplo da Figura de Erosão.

¹⁰ NP - Norma Portuguesa e EN (*European Normalization*) - concreto.

2.2.1.2. Medições de CLA - Camada Limite Atmosférica

Para se obter as velocidades do escoamento do fluxo de ar que simula a velocidade do vento sobre o modelo a várias alturas, pode-se utilizar como instrumentos o tubo de *Pitot* e a sonda de fio quente.

O tubo de *Pitot* baseia-se nas diferenças de pressão total e estática para a obtenção do valor de velocidade (**Figura 30**).

Quando as linhas de fluxo se aproximam perpendicularmente a um obstáculo que lhe opõe transversalmente, uma parte desse fluxo contorna o objecto, mas a parte que o atinge desacelera até o ponto de estagnação, onde a velocidade é igual a 0. A pressão neste ponto, designada de total, é mais elevada do que no fluxo, à mesma altitude, mas livre do embate (pressão estática) que neste caso corresponde a pressão atmosférica (LOPES, 2003, f.174).

A pressão medida na entrada frontal do tubo é designada pressão total (***P_t***) e a pressão medida nos orifícios laterais, chama-se pressão estática (***P_s***). Da diferença entre uma e outra, obtém-se a pressão dinâmica (***P_d***).

Como o resultado é dado em pressão dinâmica, basta resolver a equação abaixo para obter-se a velocidade do fluxo:

$$V^2 = \frac{2 * (P_t - P_s)}{\rho} \quad \text{ou}$$

$$V = \sqrt{\frac{2 * P_d}{\rho}} \quad (\text{m/s}) \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

V: velocidade do fluxo;

P_d: pressão dinâmica em Pa;

Figura 30: Esquema do tubo de *Pitot-Prandtl* para medição da velocidade do vento em túnel aerodinâmico.

Fonte: NASA/Glenn Research Center
(www.grc.nasa.gov) apud Lopes (2003).

ρ : massa volumétrica do ar em kg/m³.

Nos ensaios realizados no LNEC, para o cálculo da massa volumétrica, foram medidas a pressão atmosférica e a temperatura, para a correção da pressão (P_c) em função dos materiais e tendo em conta a força corresponde à aceleração centrífuga, característica de Lisboa. Os valores de correção são fornecidos pelo fabricantes do equipamentos de medição.

$$\rho = 0,04737 * \left[\left(\frac{P_c}{273 + t_{ar}} \right) \right] * 9,8 \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

P_{atm} : Pressão atmosférica em mmHg;

Correção da Latitude: -0,39 mmHg;

P_c : $P = (0,102 * t_{amb}) + (t_{amb} * 0,000165 * (P_{atm} - 600))$ mmHg

t_{ar} : temperatura do ar em °C.

Este equipamento é eficiente quando o fluxo incide diretamente sobre o tubo. As medidas com o tubo de *Pitot* possuem o inconveniente de que medidas efetuadas na parte posterior de um modelo não conseguem ser registradas, pois o fluxo pode vir de qualquer direção.

Neste caso, utiliza-se as medidas com anemômetro de fio quente, que permite o registro das velocidades em intensidade de turbulência, vindas de qualquer direção. A saída do fio quente é dada em voltagem (variação de tensão em Volts). O fio quente registra a intensidade de turbulência no instante em que a variação da voltagem ocorre para manter a temperatura do fio constante, sendo esta variação o registro. Assim, o valor obtido é função de uma curva de calibração do equipamento, onde é possível obter o dado em m/s. Estatisticamente, pode ser caracterizada pela variância, $\sigma = \sqrt{u^2}$ ou seja a raiz quadrada do valor médio do quadrado da flutuação no instante T . Esta variância quantifica a dispersão dos valores da velocidade em torno do valor médio (SARAIVA et al., 1994; SILVA, 1999).

Para os ensaios com fio quente, pode-se dizer que para o mesmo nível de flutuações de velocidade, a intensidade de turbulência é tanto maior quanto menor

for a velocidade média. Para velocidades menores pressupõem-se obstruções nas configurações do tecido urbano, para a mesma velocidade exterior de referência.

2.2.2. Simulação Computacional

De acordo com Shaviv et al (2001) durante a fase conceitual de projeto de distritos urbanos, o projetista lida com diferentes características geométricas relacionadas a altura e largura do edifício, em relação aos espaços abertos e à calçada para pedestres. Novos edifícios podem criar um microclima diferente, podendo - por exemplo - mudar o campo de ventos e sombras de bairros existentes, assim como no novo distrito.

Segundo Bosselmann et al (1995) a relação entre a forma da cidade e o clima é intuitiva e a inserção de novos edifícios, não é facilmente compreendida. Os autores escrevem que a combinação de técnicas experimentais e computacionais são necessárias para a predição das condições de conforto. Para Murakami et al (1999) a aplicação CFD para a análise dos efeitos do vento está ocorrendo rapidamente, e é possível a análise de vários processos físicos associados com as questões climáticas em áreas urbanas ou ao redor do corpo humano.

O software CFD proporciona uma análise qualitativa e quantitativa de um projeto, de edifícios a bairros, bem como sua utilização pode ser multidisciplinar quando este é utilizado para análise em áreas como bioquímica e biomédica.

A compreensão do movimento dos fluidos é crucial em diversos ramos, das engenharias à arquitetura. Até recentemente, estudos de fluido em movimento estavam confinados a laboratórios, mas com o rápido crescimento da capacidade de processamento do computador pessoal, programas aplicativos agora trazem análise e soluções numéricas de problemas de fluxo ao alcance do usuário. A ferramenta CFD se tornou uma parte integrante de projeto de engenharia e do ambiente de análise de muitas companhias devido à sua capacidade de prever o desempenho de

novos projetos ou processos antes que estes sejam sequer produzidos ou implementados (informação verbal)¹¹.

Segundo Shaviv et al (2001) para projetos com preocupações quanto ao micro-clima e ventos, hoje existem apenas ferramentas avaliativas de projeto. Estas são estudos em túneis de vento ou ferramentas de simulação de CFD. Os modelos CFD são muito poderosos e requerem cálculos intensos, mas fornecem resultados detalhados que podem mostrar claramente os defeitos em projetos sugeridos. Como resultado, uma nova alternativa de projeto pode ser pensada e reavaliada até que um projeto bom e satisfatório seja obtido.

O CFD se adequa particularmente bem ao projeto de edifícios e esta aplicação fornece um exemplo passo a passo de como configurar uma simulação CFD/CFX da área em estudo.

A simulação computacional permite verificar alterações ocasionadas na configuração urbana, possibilitando uma análise pré e pós projeto. Na busca de simulações computacionais pode-se verificar que muitas das referências tratam das análises de objetos ou complexos como uma aplicação CFD (*Computer Fluids Dynamics*), sem descrever o aplicativo/software utilizado para tal.

Os softwares utilizados para esta simulação são o *ANSYS ICEM 5.0* e *CFX for windows 5.7*¹².

¹¹ Apostila do Curso de Introdução ao software de simulação CFD, ministrada por Alan Harries, Londres, fevereiro, 2004.

¹² Créditos a ESSS - *Engineering Simulation and Scientific Software* Ltda, com sede em Florianópolis, Santa Catarina, pela disponibilização do software *ICEMCFX* e pelo curso realizado.

3. UNIVERSO DA ANÁLISE - CIDADE DE SANTOS

3.1. DELIMITAÇÃO DO UNIVERSO DA ANÁLISE

Santos localiza-se no litoral do estado de São Paulo e possui uma área de 271 km² (porção Insular: 39,4 km² e Continental: 231,6 km²), e encontra-se na latitude 23° 57' 35" e longitude 46° 19' 56" com altitude de 2m acima do nível do mar. Possui 5,5 Km de orla num total de 6 praias¹³. O acesso rodoviário é feito pelas Rodovias Anchieta (SP 150), Imigrantes (SP 160) e Rio/Santos (BR 101), e fica a aproximadamente 68 km da capital (Figura 31).

Figura 31: Imagem de satélite: região metropolitana de São Paulo e cidade de Santos.

Fonte: PRATA & FROTA, 2003.

Os tipos de solo que predominam na região são areia e granito (regiões baixas - praias), rochas cristalinas (regiões altas) e granito. A topografia se destaca predominantemente por planícies e morros que cercam a cidade. Os rios que cortam a área são canalizados na parte insular e na parte continental os rios formam meandros.

¹³ A fonte dos dados é do Instituto Geográfico e Cartográfico, CETESB - Relatório de Balneabilidade das Praias Paulistas, 2000.

A Baixada Santista como um todo possui características climáticas particulares que, segundo Afonso (2001), são ocasionadas pelo regime das massas de ar e a proximidade com a escarpa da Serra do Mar. Predomina a presença de massa tropical atlântica, sofrendo variações conforme as invasões de frente fria, da massa equatorial e da massa polar¹⁴.

Nos períodos de domínio da massa tropical atlântica sobre o continente, o tempo fica, bom com aumento de temperatura e nebulosidade pela manhã e tarde. Na presença de massa polar, o tempo permanece bom e as temperaturas são mais amenas no verão e baixas no inverno. Quando a massa equatorial atinge a região, a sensação é caracterizada por ar parado com excessivo calor.

A frente fria é responsável pelo mau tempo e nos casos em que a massa de ar é predominantemente quente e úmida, ocorrem chuvas e instabilidade. Quando o deslocamento desta é rápido, seus efeitos são pouco significativos, mas quando ocorre o encontro com a serra, esta pode permanecer estacionária, tentando transpor a escarpa, o que torna o ar mais saturado e faz com que apareçam nuvens, nevoeiros, cerração densa, garoa ou chuvas torrenciais.

A opção pela cidade de Santos ocorre devido à alteração dos gabaritos de altura dos edifícios e pela carência de informações sobre os impactos - negativos ou positivos, decorrentes desta alteração. A área escolhida justifica-se também, por apresentar uma configuração urbana com tipologias diferenciadas, que vão desde edifícios altos na orla da praia até habitações de 2 pavimentos.

A problemática em relação à ocupação urbana e a dinâmica climática característica da Baixada Santista está presente na não-consideração dos índices de umidade do ar e das condições de ventilação natural predominantes na planície costeira. Desta forma, a repetição de padrões urbanos, a escassez de áreas arborizadas internas à cidade e a existência de áreas verticalizadas próximas à orla (paredões), agravam as condições de conforto térmico (AFONSO, 2001).

Na **Figura 32**, observam-se algumas imagens feitas em visita de campo, onde se observa os edifícios presentes na área de estudo.

¹⁴ Para adquirir maiores informações consultar: SUDELPA/SÃO PAULO - Sudelpa: área de atuação - caracterização físico-econômico-social, apud AFONSO (2001).

Figura 32: Edifícios na área de estudo.

Na última foto verifica-se que o número de andares deste edifício (26 no total) é superior à de todos os presentes na orla da praia.

3.2. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Segundo Azevedo (1965) a cidade de Santos surgiu por volta de 1536 e foi elevada à categoria de vila em 1545. O núcleo urbano inicial, limitado pelo Ribeirão dos Jerônimos, Monte Serrat e Outeirinho de Santa Catarina, surgiu em função do atracadouro para as embarcações portuguesas. As atividades portuárias e comerciais foram de fundamental importância para o desenvolvimento e consolidação do povoado. Em 1867 a inauguração da São Paulo Railway, ligando São Paulo a Santos, aumentou as atividades urbanas locais. Com a construção do Porto em 1888, ocorreu a abertura de novas ruas e a canalização dos ribeirões.

No início do século 20 a planície foi urbanizada com a implantação do projeto do Eng^o. Saturnino de Brito. Este projeto permitiu a expansão da cidade até as praias, então ocupadas com chácaras de veraneio de propriedade dos barões do café. No mesmo momento ocuparam-se os morros próximos ao centro com residências dos trabalhadores do porto e entrepostos cafeeiros, Afonso (2001). Saturnino de Brito é

o nome mais relevante da história do urbanismo sanitaria do Brasil. O projeto concebido por ele, em 1894, é basicamente saneador: criação de duas redes separadas, uma para escoar as águas pluviais e outra para esgotos. A grande qualidade de seu pensamento residiu no fato de utilizar um princípio técnico para definir o principal elemento formal do traçado urbanístico, os canais de drenagens a céu aberto e que ligaram o estuário à baía. O projeto de Saturnino de Brito sofreu forte influência, no desenho, da proposta de Pierre-Charles L'Enfant para Washington (1791)¹⁵. A orla tornou-se verticalizada a partir da década de 50, em decorrência da inauguração da Via Anchieta (1947), que proporcionou a facilidade de acesso ao litoral.

3.3. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A opção pela cidade de Santos surgiu como objeto desta tese devido à alteração dos gabaritos em altura (Lei nº. 312 de 23/11/1998) e pela carência de informações sobre os impactos, negativos ou positivos, decorrentes desta alteração.

Vargas e Gonçalves (2000), em relatório técnico sobre possível impacto de edifício alto na orla da cidade de Santos, destacam, dentre outras observações: 1. volumes edificáveis de forma retangular representam verdadeiras barreiras físicas para as correntes de circulação dos ventos predominantes vindos da orla; 2. a construção destas barreiras pode ocasionar a formação de turbulências de ar nas quatro fachadas o que, dependendo da altura dos edifícios, poderá causar problemas de desconforto urbano; 3. quanto à altura dos edifícios e o dimensionamento das estratégias de medição microclimática, a definição do ideal só seria possível por meio de estudos em laboratório de túnel de vento, utilizando modelos físicos reduzidos.

¹⁵ Para maiores informações consultar MEYER, R. M. P.; *O Urbanismo Moderno*, fonte: <http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/artecult/arqurb/urbanism/urbmod/apresent.htm>, último acesso em maio, 2005.

Quanto ao Plano Diretor de Santos as diretrizes para uso e ocupação do solo definem parâmetros de parcelamento, uso e ocupação do solo para as áreas urbanas, de expansão urbana e de proteção ambiental, bem como:

- ✓ Disciplina uso e ocupação nas áreas de proteção ambiental, incentivando a implantação de atividades compatíveis;
- ✓ Adequa as densidades na área urbana à disponibilidade de infra-estrutura e equipamentos públicos;
- ✓ Incentiva a recuperação do patrimônio cultural, natural e construído;
- ✓ Recupera áreas irregulares;
- ✓ Reduz a carência de infra-estrutura, serviços e moradia.

Para a cidade de Santos os instrumentos legais de ordenamento territorial são os seguintes:

Município	Instrumento Legal
SANTOS	Lei Orgânica de 05/04/1990; Lei Complementar 311/98 - Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado; Lei Complementar 312/98 - Ordenamento do uso e ocupação do solo na área insular do município; Lei 54/92 - Ordenamento do uso e ocupação do solo na área continental do município (APA Santos-continente).

Tabela 8: Instrumentos Legais de Ordenamento Territorial.

Fonte: AFONSO (2001).

Com relação à legislação urbana de Santos, destacam-se duas Leis Complementares: as de nº. 312 de 23 de novembro de 1998 e a nº. 359 de 23 de novembro de 1999.

A primeira disciplina o ordenamento do uso e ocupação do solo na área insular do município de Santos, determinando o coeficiente de aproveitamento e a taxa de ocupação (**Tabela 9**).

ZONA	Taxa de Ocupação Máxima	Coefficiente de Aproveitamento Máximo
ZO	40% acima de 6 pavimentos 50% até 6 pavimentos 60% até 4 pavimentos (1)	5 (3)
ZI	40% acima de 10 pavimentos 60% até 10 pavimentos (1)	5
ZCI	40% acima de 10 pavimentos 85% até 10 pavimentos (2)	6
ZCII	40% acima de 10 pavimentos 60% até 10 pavimentos (1)	5
ZNI ZNII ZNIII	40% acima de 10 pavimentos 60% até 10 pavimentos (1)	4
ZMI ZMII ZMIII	40% acima de 10 pavimentos 60% até 10 pavimentos	2
ZP	40% acima de 10 pavimentos 85% até 10 pavimentos (2)	5
ZPP	5%	-
CPC	De acordo com a zona e restrições, tendo em vista os níveis de proteção.	
CDRU	O da zona em que estiver localizado	4 na ZNI 5 na ZO, ZI, e ZCII (4)

Tabela 9: Índices de Ocupação e Aproveitamento.

Fonte: Lei Complementar nº448 de 30 de dezembro de 2001.Publicado no Diário Oficial de Santos em 31 de dezembro de 2001.

Nesta lei encontra-se um quadro determinando os índices de ocupação e aproveitamento por zona, assim como a liberação dos gabaritos com altura acima de 10 pavimentos:

CAPÍTULO I - DA OCUPAÇÃO E APROVEITAMENTO DO LOTE¹⁶

Art. 44 - As condicionantes de ocupação e aproveitamento dos lotes serão estabelecidas segundo a zona a que pertencem, o tipo de empreendimento e as atividades permitidas.

Art. 45 - Na Zona da Orla - ZO ficam definidos os seguintes índices:

I - coeficiente de aproveitamento máximo de 5 (cinco) vezes a área do lote;

II - taxa de ocupação máxima do lote de 60% (sessenta por cento) até 4 (quatro) pavimentos, 50% (cinquenta por cento) até 6 (seis) pavimentos e 40% (quarenta por cento) para edifícios com mais de 6 (seis) pavimentos.

¹⁶ Texto extraído da Consolidação da Lei Complementar nº312 de 24 de novembro de 1998 e alterações: Lei Complementar nº387 de 13 de abril de 2000 e Lei Complementar nº448 de 30 de dezembro de 2001.

§ 1º - Fica permitido o adicional de coeficiente de aproveitamento decorrente de Outorga não Onerosa do Direito de Construir, de 2 (duas) vezes a área do lote, ao aproveitamento previsto no inciso I, limitado ao máximo de 7 (sete) vezes a área do lote, para as edificações que apresentem risco eminente à segurança pública, esgotadas todas as alternativas de controle e ações quanto ao desaprumo apresentado e que venham a ser demolidas para edificações de novos empreendimentos.

§ 2º - Em edifícios com mais de 10 (dez) pavimentos, será admitida a taxa de ocupação de 60% (sessenta por cento) nos 4 (quatro) primeiros pavimentos, desde que sua utilização seja destinada a comércio, prestação de serviço ou atividades comuns do edifício.(LEI COMPLEMENTAR nº448, 2001).

A taxa de ocupação (TO) e o coeficiente de aproveitamento (CA) estão relacionados com a **Tabela 9** e estão definidos da seguinte forma:

- (1) será admitida a TO máxima de 60% nos 4 primeiros pavimentos para os edifícios com mais de 10 pavimentos, desde que sua utilização seja destinada a comércio, prestação de serviços, ou atividades comuns do edifício;
- (2) será admitida a TO máxima de 85% nos 4 primeiros pavimentos para os edifícios com mais de 10 pavimentos, desde que sua utilização seja destinada a comércio, prestação de serviços, ou atividades comuns do edifício;
- (3) será admitido o CA máximo até 7 vezes a área do lote, nas construções em substituição a prédios em desaprumo;
- (4) será permitido o emprego de Outorga Onerosa do Direito de Construir com adicional de CA superior ao permitido na Zona de Uso até o limite de 2 vezes a área do lote (LEI COMPLEMENTAR nº448, 2001).

A segunda regulamenta o ordenamento do uso e ocupação do solo na área continental do município, instituindo área de proteção ambiental e estabelecendo as zonas de área de expansão urbana. A verticalização em Santos foi destaque no Jornal A Tribuna (2001). Edifícios com 26 pavimentos estão sendo implantados.

Zona de uso oficial	Usos permitidos	Zona de uso codificada
Orla	Residências, comércio, serviços, recreação e turismo, atracadouros para embarcações turísticas, indústrias não-incômodas	Urbana diversificada
Intermediária	Residências, comércio e serviços, indústrias não-incômodas	Urbana diversificada
Central I	Residências, comércio, serviços, indústrias não-incômodas Incentivo a preservação do patrimônio histórico	Urbana diversificada
Central II	Residências, comércio, serviços, indústrias não-incômodas	Urbana diversificada
Noroeste	Residências, comércio, serviços, indústrias não-incômodas Área a verticalizar	Urbana diversificada
Morros	Residências, comércio e serviços	Urbana diversificada
Portuária	Porto, atividades retroportuárias, indústrias diversificadas	Portuária
Preservação paisagística	Educação ambiental, turismo monitorado Programas de proteção, controle da ocupação e manejo	Conservação dos ecossistemas
Corredor de proteção cultural	Residências, comércio e serviços Incentivo a recuperação e preservação do patrimônio histórico	Urbana diversificada
Corredor de desenvolvimento e renovação urbana	Residências, comércio, serviços e indústrias não-incômodas Área a adensar	Urbana diversificada

Tabela 10: Zoneamento - porção Insular do município.

Fonte: Lei nº. 312 de 23 de novembro de 1998.

Na **Figura 33** pode-se observar a porção insular do município de Santos e a localização da área de estudo no contexto geral. A **Figura 34** apresenta algumas imagens feitas em visita de campo, onde observa-se os edifícios presentes na área de estudo. Na última foto verifica-se que o número de andares deste edifício (26 no total) é superior à de todos os presentes na orla da praia.

Quanto às legislações para Santos, pode-se observar que, para ventilação natural no meio urbano, não há referências para os projetistas. Para a elaboração de projetos existe o Código de Obras com dimensões de aberturas e áreas de piso.

Área de ESTUDO - MEDIÇÕES IN LOCO E ENSAIOS EM
TÚNEL DE VENTO E CFX

Figura 33: Mapa da porção insular do município de Santos e a localização da área de estudo.

Fonte: AFONSO (2001).

Figura 34: Fotos de edifícios altos.

Fonte: Alessandra R. Prata (visitas a Santos em 26.02 e 14.06.2003).

Com relação às Normas Brasileiras, a NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações- Força devidas ao vento em edificações, fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeito de cálculo de edificações.

4. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA CIDADE DE SANTOS

Quando pretende-se trabalhar com as questões de conforto no ambiente construído, um dos problemas diagnosticados é a disponibilidade de dados climáticos aplicáveis ao projeto. Na maioria dos casos a base anual ou série histórica, apresenta dados incompletos das variáveis medidas (direção e velocidade dos ventos, temperatura do ar, umidade relativa, ...).

De acordo com Saraiva et al (2005) a solução mais comum é a construção de uma base de dados, sob a designação de ano típico ou *TRY* (terminologia anglo-saxónica), com suporte de estação climatológica próxima ou por meio de processos de modelação mais ou menos complexos. Há várias formas de definir um “ano típico”, mas como consequência escutamos muitas vezes expressões como “ano atípico” ou “período atípico”. Isto se justifica porque ao adotarmos uma dada base de dados e quando se elabora uma pesquisa de campo, muitas vezes os dados não se sobrepõem.

A importância do diagnóstico climático está em auxiliar o projetista nas decisões de projeto, minimizando impactos decorrente do clima aos usuários.

Das variáveis climáticas o vento será o parâmetro analisado em questão.

Para a área em estudo, observa-se que os ventos de sul e sudeste (que acompanham as massas polares) são predominantes de abril a setembro, transportando umidade e ocasionando aumento de nebulosidade. Essa nebulosidade pode provocar neblina ou densa cerração que envolve a encosta da Serra do Mar (predominante no outono e inverno). O vento noroeste é caracterizado pela chegada de frentes frias provocando mudanças no tempo, soprando com maior intensidade de maio a agosto. No mês de janeiro um vento de forte intensidade no sentido noroeste traz consigo as tempestades de verão (AFONSO, 2001).

Figura 35: Esquema da circulação atmosférica mar/terra x terra/mar.

Fonte: BITTENCOURT (2005).

No cotidiano, soma-se aos ventos dominantes a alternância das brisas marítima e terral. A proximidade entre a terra e o oceano ocasiona diferenças de temperatura que, segundo Santos (1965) apud Afonso (2001), estabelece no litoral uma troca térmica permanente realizada pela brisa marítima que sopra do oceano para o continente

durante o dia e da brisa terral que sopra em sentido inverso à noite.

Para esta análise foram verificados os dados climáticos da estação meteorológica da Base Aérea do Guarujá (estação mais próxima a área), os dados medidos *in loco* na orla da praia e em 3 pontos na área de estudo.

4.1. DADOS CLIMÁTICOS - ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

Para esta pesquisa os dados de vento foram adquiridos através do Laboratório Master do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo. Os dados são coletados na Base Aérea de Santos e encaminhados ao IAG/USP. A Base Aérea de Santos está localizada no município de Guarujá e encontra-se na latitude 23° 93' e longitude 46° 30' com altitude de 3m acima do nível do mar.

Os dados são referentes ao período de novembro de 1998 a maio de 2003, com horários de coleta diversificados. Nos meses de novembro e dezembro de 1998 os dados foram coletados em 2 horários ao longo do dia, às 12:00 e 18:00 horas. A partir de 1999 foram acrescentados horários novos, mas ainda há uma dificuldade em padronização dos horários de coletas das medidas.

A priori, os dados climáticos foram verificados para constatar se seriam possíveis a utilização dos mesmos e o aproveitamento dos dados de vento. Com a verificação destes foi possível proceder a uma análise na região de estudo e a aplicação do

software *Wap*. Para verificar a qualidade dos dados foram necessários alguns procedimentos:

- ✓ 1º passo: dos dados existentes, escolheu-se um ano que possuísse o maior número de dados (dia/hora). Apesar de incompleto, 2001 era o ano que dispunha de maior número de dados registrados. A base de dados climáticos utilizada foi a da Base Aérea de Santos - situada no município do Guarujá e que possui falhas nos registros nos dias e horários de coleta. Não há uma sistematização, regular, para a coleta dos dados.
- ✓ 2º passo: com os dados do ano de 2001 foram realizadas análises de velocidade e direção do vento, e temperatura do ar. Os dados existentes contêm valores das 8:00 às 23:00hs - não em todos os meses/dias.

Os dados de vento foram analisados, buscando identificar as direções predominantes para determinar o posicionamento do modelo nos ensaios em túnel de vento.

Para os dados de velocidade do vento, para cada mês, dia a dia e hora a hora do ano de 2001, foram elaboradas as médias horárias. Com os dados existentes foram elaborados as médias diárias e depois, os valores horários, foram divididos pela média/diária. Com os valores horários corrigidos pela média, foram produzidas as médias horárias/mensal.

Gráfico 1: Exemplo - hora e velocidade do vento: mês de janeiro.

Pode-se observar na Tabela 11, que em alguns horários faltam dados de velocidade. Neste momento, estava sendo realizada apenas uma verificação dos dados disponíveis. Posteriormente, estes dados foram trabalhados para a elaboração de um banco de dados com valores hora a hora, mês a mês com 8760 valores, que corresponde a um ano inteiro de dados climáticos. Isto foi realizado para a aplicação do software *Wap*, que possibilitou uma análise dos dados de vento (direção e velocidade) para a cidade de Santos.

ano 2001 médias	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
hora												
7												
8	2,42	3,17						2,00		3,00		3,44
9	4,63	1,75	2,67	2,00	2,70	4,58	4,13	2,38	2,39	4,00	3,25	3,50
10	3,13	3,13	2,63	3,00	4,00	2,50	2,75	2,60	3,10	4,40	2,31	3,67
11	3,00	2,92	2,50	3,13	4,07	3,57	3,13	3,00	2,80	4,70	3,00	3,44
12	3,50	2,50	3,30	2,00	5,60	2,86	3,10	3,29	3,56	4,63	3,25	4,00
13	2,93	3,00	3,00	3,00	3,65	4,10	4,00	2,56	3,50	4,38	3,25	2,95
14	3,57	3,60	3,65	2,75	3,96	2,80	4,60	3,16	4,52	4,68	3,73	3,50
15	4,14	3,79	4,05	4,50	4,30	4,33	3,63	4,08	4,34	5,04	3,75	3,43
16	5,06	3,70	4,65	4,25	3,96	4,31	4,57	4,18	4,78	4,72	4,38	4,27
17	5,50	4,75	4,19	4,75	4,56	3,56	4,11	4,17	4,66	5,00	4,04	4,43
18	4,40	4,25	4,33	4,38	3,79	3,54	3,67	4,31	4,65	4,28	4,43	4,71
19	4,33	3,67	3,83	4,00	3,35	3,89	3,93	3,80	4,43	4,55	3,73	3,98
20	4,50	4,86	3,38	4,13	3,91	2,71	2,90	3,40	4,17	4,11	3,55	3,84
21	3,80	4,75	3,44	3,38	3,08	2,67	3,08	2,90	3,85	3,94	3,35	3,90
22	3,58	2,63	4,86	2,67	3,20	2,50	3,25	2,71	3,59	3,60	2,87	3,47
23		2,33	3,56	3,20	2,57	3,25	2,83	2,80	3,86	3,90		

Tabela 11: Exemplo de tabela das Médias das velocidades mês a mês do ano de 2001.

Para os dados de direção para cada mês, dia a dia e hora a hora do ano de 2001, foram selecionados os dados existentes de direção do vento em graus. Com os dados selecionados, estes foram separados de acordo com a orientação em graus e agrupados em quatro diferentes horários: 08:00 as 10:00, 11:00 as 13:00, 14:00 as 16:00 e 17:00 as 23:00. Para cada um destes horários, foram contados os números de dados e, desta forma, foi possível verificar a porcentagem de dados/hora.

Direção	Horários			
	8-10	11-13	14-16	17-23
NORTE	7	2	2	1
NORDESTE	1	1	0	0
LESTE	0	0	8	17
SUDESTE	0	3	6	15
SUL	0	0	10	5
SUDOESTE	0	1	2	0
OESTE	0	2	1	1
NOROESTE	6	3	0	1
Total/dados	14	12	29	40
Total dos dados em %	8-10	11-13	14-16	17-23
NORTE	50,0 ¹⁷	16,7	6,9	2,5
NORDESTE	7,1	8,3	0,0	0,0
LESTE	0,0	0,0	27,6	42,5
SUDESTE	0,0	25,0	20,7	37,5
SUL	0,0	0,0	34,5	12,5
SUDOESTE	0,0	8,3	6,9	0,0
OESTE	0,0	16,7	3,4	2,5
NOROESTE	42,9	25,0	0,0	2,5

Tabela 12: Número de dados e porcentagem por direção.

Nos Gráficos da Figura 36 verifica-se, pelos horários, os ventos provenientes da direção do mar (quadrante sul/leste) e da terra (quadrante norte/noroeste).

Rosa dos ventos - janeiro a dezembro.

Hora a Hora.

Janeiro

Fevereiro

Março

¹⁷ Para definir a predominância da direção do vento: %N = número de dados/número de dados totais.

Abril

Maio

Junho

Julho

Agosto

Setembro

Outubro

Novembro

Dezembro

Figura 36: Rosa dos ventos - janeiro a dezembro.

Dos dados existentes, na **Tabela 12** e na **Figura 36** pode-se observar que a direção predominante para a cidade de Santos, localiza-se no quadrante sul/sudeste/leste, ventos que na área de estudo, são parcialmente provenientes do mar.

O exemplo na **Tabela 13** corresponde ao mês de janeiro com as direções predominantes, que gerou o gráfico de rosa dos ventos.

hora	dia																																
	1	2	3	4	5	6	7	...	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31														
0																																	
1																																	
2																																	
3																																	
4																																	
5																																	
6																																	
7																																	
8																																	
9																																	20
10						10																											
11																																	
12				60	120																												
13			120																														
14	150			110		180		180			210																						
15				90	90	70						130																					
16			160		120						190		120																				
17	150					130																											
18						180						90																					
19	120			90	110								360		70																		
20			110	120	120																												
21				90																													
22										90																							
23																																	

Tabela 13: Dados de direção do vento mês/Janeiro 2001.

Nota: é possível perceber que alguns valores não constam da tabela. Estes dados não foram registrados pela estação meteorológica.

Na **Tabela 14** pode-se observar os valores em graus das direções do vento para o mês de janeiro. Os dados foram organizados para os horários das 8:00 às 10:00hs, das 11:00 às 13:00hs, das 14:00 às 16:00 e das 17:00 às 23:00hs, sendo que haviam apenas estes horários de dados.

INTERVALOS EM GRAUS			8-10	11-13	14-16	17-23
337,5 a 22,5	360	NORTE	7	2	2	1
22,5 a 67,5	45	NORDESTE	1	1	0	0
67,5 a 112,5	90	LESTE	0	0	8	17
112,5 a 157,5	135	SUDESTE	0	3	6	15
157,5 a 202,5	180	SUL	0	0	10	5
202,5 a 247,5	225	SUDOESTE	0	1	2	0
247,5 a 292,5	270	OESTE	0	2	1	1
292,5 a 337,5	315	NOROESTE	6	3	0	1

Tabela 14: Intervalos em graus das direções do vento mês/ Janeiro 2001.

Nota: * Número de vezes em que aparecem os valores nos intervalos

Quando se estuda as séries de vento, estas são estatisticamente assimétricas positivas, sendo a distribuição de *Weibull* uma das funções mais utilizadas na representação de dados de vento (MORTENSEN et al., 1993). A função de densidade de probabilidade é dada pela fórmula:

$$f_{(x)} = \left(\frac{k}{A}\right) * \left(\frac{x}{A}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{A}\right)^k\right] \quad x, k, A > 0 \quad \text{Equação 8}$$

Sendo *k* e *A*, respectivamente, os parâmetros de forma e escala. Na literatura poder-se-a encontrar as siglas β para escala e α para forma. Os valores de forma são adimensionais e o fator de escala representa um valor proporcional à velocidade média do vento (LOPES, 2005; SILVA, 1999; MORTENSEN et al., 1993).

Para obtenção dos valores de *Weibull* aproximados, os dados foram tratados da seguinte forma :

- ✓ Elege-se um “ano” - 12 meses (8.760 dados), em que foi possível obter o maior número de dados registrados. O ideal é a utilização de uma série de dados de 5 a 10 anos de medidas;
- ✓ Para cada mês, “produziu-se” uma tabela com os valores para as 24 horas de cada dia - dado que estes valores tinham sido registrados. Para a “produção” desta tabela, os dados foram alterados utilizando-se o mês simétrico e complementados com valores do mesmo mês em anos diferentes. Para a elaboração

da tabela, os dados produzidos foram para os dias/horas em que não havia registros.

Após a elaboração desta tabela, conta-se os dados referentes ao número de vezes que uma mesma velocidade acontece e, depois, cria-se uma nova tabela com os valores:

- ✓ Velocidade e número de vezes que ocorre;
- ✓ Frequência de ocorrência - número de vezes/número total de dados;
- ✓ Velocidade média - velocidade dividida pela frequência ocorrida;
- ✓ Função *Weibull* - velocidade, fator *alpha* e *beta* (parâmetro de distribuição) e *FALSE* (cumulative - valor para a função máxima de probabilidade);
- ✓ Velocidade calculada com o *Weibull* - velocidade vezes *Weibull*.

Para valores de *k* da ordem de 3 a 3.5 pode-se notar a presença de efeito de ventos alísios.

Velocidades	Número de vezes em que ocorrem	Weibull com valores de 3 para alpha e beta			
	33	0,044355	0,044355	0,107071	0,107071
2	186	0,25	0,5	0,330474	0,660949
3	277	0,372312	1,116935	0,367879	1,103638
4	104	0,139785	0,55914	0,166126	0,664506
5	67	0,090054	0,450269	0,027107	0,135533
6	26	0,034946	0,209677	0,001342	0,008051
7	31	0,041667	0,291667	1,66E-05	0,000116
8	5	0,00672	0,053763	4,13E-08	3,31E-07
9	11	0,014785	0,133065	1,69E-11	1,52E-10
10	33	0,044355	0,443548	9,14E-16	9,14E-15
11	0	0	0	5,24E-21	5,77E-20
12	1	0,001344	0,016129	2,57E-27	3,08E-26
	Total de dados: 774	1,040323	3,818548	1,000016	2,679864
		<i>Frequência ocorrência</i>	<i>Velocidade média</i>	<i>Weibull</i>	<i>Velocidade calculada Weibull</i>

Tabela 15: Velocidade média x cálculo de Weibull

4.2. MEDIÇÕES IN LOCO -UNIVERSO DA ANÁLISE

Para a definição dos pontos das medidas *in loco*, levou-se em consideração os primeiros ensaios realizados no túnel de vento do LNEC e a caracterização da configuração urbana de alguns pontos na área de estudo. Procurou-se selecionar pontos de medidas localizados na parte central da área, pois nos ensaios de túnel de vento o efeito na borda da área pode mascarar o resultado devido à não modelagem das áreas adjacentes à de estudo.

Figura 37: Mapa com os pontos para as medidas *in loco*.

Fonte: Mapa base (Prefeitura Municipal de Santos - Secretaria de Planejamento), organizado por Alessandra R. Prata.

O posicionamento dos equipamentos na área de estudo para a Base Aérea de Santos, fica a uma distância aproximada de 3,8Km (em linha reta) medida no levantamento planialtimétrico.

Definiu-se 4 pontos a serem medidos:

- ✓ **P0 - orla da praia (dados a 10m e a 1,5m do piso);**
- ✓ **P1 - atrás do paredão da orla da praia (edifícios);**
- ✓ **P2 - ponto médio da área e espaço aberto (praça central);**
- ✓ **P3 - ponto oposto a praia (avenidas), , ambos a 1,5m do piso (Figura 37).**

Segundo Plate (1999) estudos de campo devem ser usado principalmente como meios de monitorar o ambiente, ou, no contexto de planejamento para o futuro, para fornecer informação para a determinação de condições iniciais, ou para calibração e verificação de modelos. Para que se possa determinar o efeito de desenvolvimentos urbanos nas condições urbanas é necessário recorrer à modelagem. Modelos permitem investigar condições futuras e compará-las com a situação existente.

4.2.1. Materiais para a pesquisa de campo

4.2.1.1. Levantamento Fotográfico e Planialtimétrico

Para o levantamento fotográfico, utilizou-se uma lente olho de peixe, que auxilia na verificação do percentual de obstrução do céu, quando há necessidade de utilização para cálculo, no ponto de observação que os edifícios exercem.

Figura 38: Fotos dos locais das medidas *in loco*.

As fotos (**Figura 38**) foram feitas utilizando uma máquina marca Nikon modelo Coolpix 4500, com lente olho de peixe/*FISHEYE* E8 marca Nikon com abertura de ângulo de 183° dos pontos P0, P1, P2 e P3, podendo-se observar as características do entorno.

Para a compreensão da configuração urbana da área de estudo, foi necessário obter o levantamento planialtimétrico da cidade de Santos. A partir deste levantamento, foi possível produzir o mapeamento da altura dos edifícios para a confecção do modelo para simulação, bem como a orografia da área.

Na **Figura 39** estão registradas as alturas das edificações e uma vista frontal da Av. Presidente Wilson - vista frontal do paredão da orla da praia. Pode-se notar que as edificações mais altas estão próximas à orla da praia. Vale ressaltar que na parte intermediária da área de estudo, localiza-se um edifício de 26 pavimentos, dentre outros dispostos em diferentes áreas da cidade.

Figura 39: Mapa com a altura dos edifícios da área de estudo e vista frontal da Av. Presidente Wilson.

Fonte: Mapa base (Prefeitura Municipal de Santos - Secretaria de Planejamento), organizado por Alessandra R. Prata.

4.2.1.2. *Descrição dos pontos para as medidas in loco*

Na **Figura 40** o ponto P0 está localizado na orla da praia (areia) em campo aberto e afastado +/- 25m da obstrução mais próxima e a aproximadamente 100m do início das edificações. Esta obstrução está localizada a sotavento da direção do vento.

O ponto P1 está situado entre 2 edifícios, em uma área predominantemente verticalizada (edifícios de 10 a 15 andares) e pouco arborizada. O ponto P2 localiza-se na área central da área de estudo, em uma área aberta com predominância de edifícios mais baixos e espaçados (de 2 a 10 andares), com presença de arborização maior que no ponto P1.

O ponto P3 localiza-se em uma área aberta com predominância de edifícios mais baixos e espaçados (2 a 3 andares), com pouca arborização.

4.2.1.3. *Equipe e Equipamentos*

A pesquisa de campo contou com 4 pessoas para a realização das medições, e que participaram da pesquisa exploratória. No início havia uma vontade de realizar em conjunto com as medidas feitas, um transecto móvel. Esta idéia foi abandonada, pois para medir os dados de vento, seria necessário parar em pontos pré-definidos e a influência do trânsito iria perturbar o registro do dado. Para os pontos fixos procurou-se registrar os valores quando não houvesse a influência do trânsito.

Para a pesquisa de campo, o LABAUT - Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética do Departamento de Tecnologia, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, disponibilizou os seguintes equipamentos para pesquisa de campo:

- ✓ 8 anemômetros digitais da marca Homis - modelo 207/220; ¹⁸
- ✓ 2 termo-higrômetro com datalogger da marca Homis - modelo 229;
- ✓ 2 termômetros de mercúrio;
- ✓ 02 Bússolas;

¹⁸ Os anemômetros e os termo-higrômetros foram adquiridos por Auxílio Financeiro, visando atender o Projeto Didático e aquisição de equipamentos de apoio as disciplinas de Graduação - maio de 2003.

Figura 40: Fotos olho de peixe dos pontos P1, P2 e P3 e imagens do sombreamento ocasionado pela configuração urbana para o dia 12 de abril às 9h, 12h e 15h

- ✓ 1 máquina fotográfica digital, marca Nikon COOLPIX 4500 e lente grande angular *fisheye* - para fotos de verificação de fator de céu;
- ✓ estação meteorológica marca Oregon Scientific modelo Cable Free WMR 968, com sensores de termo-higrômetro, anemômetro com direção e velocidade do vento, baro-higrômetro e pluviômetro¹⁹.

anemômetro, termo-higrômetro e bússola

máquina digital com a lente olho de peixe e estação meteorológica em mastro a 10m

Figura 41: Fotos dos equipamentos.

No ponto P0 foi utilizada a estação meteorológica Oregon Scientific modelo Cable Free WMR 968, com sensores de termo-higrômetro, anemômetro com direção e velocidade do vento (a 10m de altura) e 4 anemômetros digitais da marca Homis - modelo 207/220, 1 termo-higrômetro com datalogger da marca Homis - modelo 229 e 1 termômetro de mercúrio para medir a temperatura do ar (a 1,5m do piso).

¹⁹ Estação meteorológica adquirida pela Reserva Técnica/FAPESP.

Nos pontos P1, P2 e P3 foram utilizados 4 anemômetros digitais da marca Homis - modelo 207/220, 1 termo-higrômetro com datalogger da marca Homis - modelo 229 e 1 termômetro de mercúrio para medir a temperatura do ar (a 1,5m do piso).

4.2.2. Planejamento e Desenvolvimento das Medidas de Campo

Para a pesquisa de campo foram elaboradas algumas tarefas iniciais. Num primeiro momento, foi testado o funcionamento de todos os equipamentos e elaborada uma pesquisa exploratória. Nesta pesquisa exploratória, verificou-se o funcionamento dos equipamentos, bem como um treinamento com a equipe de apoio.

4.2.2.1. Pesquisa Exploratória

Para as medições *in loco* foi realizada uma pesquisa exploratória e um pré teste dos equipamentos utilizados. O pré teste dos equipamentos ocorreu nos dias 07, 09 e 10 de março de 2005. Este teste possibilitou a comparação, em paralelo, das leituras dos equipamentos, identificando possíveis discrepâncias de valores entre eles. Ainda, foi realizada a montagem dos equipamentos em tripés à altura de 1,10m do piso (altura padrão para medidas de variáveis ambientais na altura do abdômen - ISO 7726 (1998))²⁰ para medidas das variáveis, bem como para facilitar a locomoção na área de estudo.

A primeira tentativa da pesquisa exploratória, foi no dia 14 de março de 2005 e, devido as condições climáticas (chuvas), não pôde ser realizada. Desta forma, a pesquisa exploratória ocorreu no dia 28 de março de 2005²¹ e foi possível verificar desde o tempo de montagem do mastro (10m) para a estação meteorológica até o número e posicionamento dos equipamentos.

²⁰ ISO 7726 - Ergonomics: instruments for measuring physical quantities. Geneve, Switzerland, 1998.

²¹ Esta pesquisa foi parte integrante de um trabalho maior, desenvolvido pelo mestrando Leonardo Marques Monteiro (MONTEIRO & ALUCCI, 2005) e, foi realizada próxima ao prédio da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP.

Figura 42: Montagem do mastro de 10m de altura para a estação meteorológica.

Figura 43: Montagem dos equipamentos.

4.2.2.2. Desenvolvimento da Pesquisa de Campo

Na **Figura 44** observam-se a localização dos equipamentos nos pontos de medida. Todas as medidas ocorreram em um intervalo não superior a 1 hora. Foram realizadas medidas com anemômetro de “copinho”/estação meteorológica (**P0**), pontos fixos (**P1**, **P2** e **P3**) com anemômetros de ventoinha, termo-higrômetros (temperatura do ar e umidade) e termômetro de mercúrio.

Figura 44: Foto dos locais das medidas *in loco*, com os equipamentos.

Na orla da praia foi instalado um mastro de 10m onde foi colocada a estação meteorológica. Foram elaborados 2 conjuntos de tripés que continham, cada um, 4 anemômetros de ventoinha, 1 termo-higrômetro e 1 termômetro de mercúrio. O conjunto de equipamentos nos tripés foi posicionado à sombra para a aquisição dos dados.

As medidas foram realizadas em 3 horários ao longo do dia, com duração de aproximadamente 1 hora cada medida. Para cada medida foi necessário estabilizar

os equipamentos por pelo menos 20 minutos e desta forma, os horários das medidas foram:

- ✓ 9:20, 9:25 e 9:30hs (P0 e P1);
- ✓ 9:50, 9:55 e 10:00hs (P0 e P2);
- ✓ 10:20, 10:25 e 10:30hs (P0 e P3);
- ✓ 12:20, 12:25 e 12:30hs (P0 e P1);
- ✓ 12:50, 12:55 e 13:00hs (P0 e P2);
- ✓ 13:20, 13:25 e 13:30hs (P0 e P3);
- ✓ 15:20, 15:25 e 15:30hs (P0 e P1);
- ✓ 15:50, 15:55 e 16:00hs (P0 e P2);
- ✓ 16:20, 16:25 e 16:30hs (P0 e P3).

Para a análise dos resultados, os dados medidos ponto a ponto foram comparados com os valores obtidos na orla da praia.

4.2.3. Tratamento dos Dados Climáticos - in loco

Neste item estão apresentados os gráficos das medidas realizadas nos dias 12, 13 e 14/abril/2005 nos pontos: P0 orla da praia, P1 edifícios, P2 praça central e P3 avenidas.

No dia 12 de abril o céu estava totalmente claro (céu aberto e sem núvens) e esta característica já vinha ocorrendo há pelo menos uma semana. O dia 13 de abril amanheceu com núvens (céu nublado) que permaneceu até por volta das 16:00hs, coincidindo com a passagem de uma frente fria. No dia 14 de abril, o céu amanheceu sem nuvens, permanecendo o dia todo.

Para os dados de temperatura e umidade relativa do ar, os valores registrados nos horários estabelecidos para cada ponto foram transformados em um único valor médio, considerando os 3 valores registrados.

Já os dados de vento, as leituras foram feitas de 5 em 5 segundos durante 1 minuto, para os 4 anemômetros, registrando-se os valores de maior velocidade entre as direções N/S e L/O. Após isso, efetuou-se uma média vetorial para o minuto das leituras. Em Monteiro e Alucci (2005c) pode-se verificar um procedimento de quantificação das variáveis ambientais, para consideração em análise termo-fisiológica em espaços abertos. O procedimento para a coleta dos dados e parte do tratamento destes, é semelhante ao apresentado neste item.

Figura 45: Instalação da estação meteorológica no ponto O - orla da praia

Figura 46: Instalação dos equipamentos nos pontos P0, P1, P2 e P3

Figura 47: Perfil da área com os pontos das medidas *in loco*

Para a instalação do mastro de 10m, foi preciso isolar uma área da dimensão deste por motivo de segurança. Dos valores registrados foi possível comparar o que ocorre em diferentes dias e horários:

- ✓ Dias 12, 13 e 14 de abril nos horários das 8:00 as 18:00hs na estação colocada a 10m na orla da praia com a estação da Base Aérea de Santos (dados do IAG) nos mesmos horários e a 10m;
- ✓ Nos mesmos dias, e nos horários das medições, medidas na orla da praia a 10m e a 1,5m do piso;
- ✓ Nos mesmos dias, e nos horários das medições, medidas a 1,5m do piso na orla da praia e no P1, na orla da praia e no P2, e na orla da praia e no P3.

Nos gráficos de velocidade do ar, temperatura e umidade observa-se que em alguns horários não existem dados para a estação da Base Aérea, pois não foram medidos.

Para os gráficos de velocidade a 10m (**Gráfico 2**), os valores plotados referem-se às médias para cada hora. É difícil fazer uma análise entre os dois locais, devido à pequena disponibilidade dos valores. O que se pode notar é que as velocidades na orla da praia, para os dias 12 e 14 de abril, apresentam valores mais baixos no início do dia e no final da tarde, com velocidades maiores por volta das 12:00/13:00 horas.

Em alguns momentos as velocidades são mais altas na Base Aérea do que na orla. No entanto, não se pode afirmar que venta mais na orla do que na Base Aérea. Esta análise não contempla a direção do vento, o que poderia explicar o porquê da velocidade ser mais alta na orla em alguns momentos, e em outros na Base Aérea.

Gráfico 2: Gráficos com os dados de velocidade do ar medidos no P0 - orla da praia e na estação meteorológica (Base Aérea de Santos) a 10m nos dias 12, 13 e 14 de abril

Gráfico 3: Gráficos com os dados de temperatura do ar medidos no P0 - orla da praia e na estação meteorológica (Base Aérea de Santos) a 10m nos dias 12, 13 e 14 de abril

Nos gráficos de temperatura (Gráfico 3), como os dois pontos possuem características de campo aberto sem obstruções, pode-se perceber que em ambos os locais as temperaturas são muito próximas. Ainda que no dia 13 de abril houve uma mudança climática, os valores de temperatura ainda continuaram elevados como nos demais dias. Na orla da praia a amplitude térmica é menor devido à influência da massa d'água na orla, que é maior que na Base Aérea.

Gráfico 4: Gráfico com os dados de umidade relativa do ar medidos no P0 - orla da praia e na estação meteorológica (Base Aérea de Santos) a 10m nos dias 12, 13 e 14 de abril

Os valores de umidade relativa do ar foram registrados apenas na pesquisa de campo. Se compararmos os 3 dias de medidas, podemos perceber nitidamente o aumento da umidade no dia 13 de abril para os horários das 8:00 às 16:00hs, em função da mudança climática e da passagem da frente fria. Após as 16:00hs o tempo começou a melhorar, sem núvens e com sol, e os valores se aproximaram dos registrados nos outros dias.

Gráfico 5: Gráficos com os dados de velocidade do ar medidos no P0 - orla da praia: valores a 10m e 1m5 medidos nos dias 12, 13 e 14 de abril

No **Gráfico 5** verificam-se os dados medidos para o mesmo ponto - orla da praia, para duas alturas. Observa-se que, nos dias das medidas, os valores de velocidade a 10m e a 1,5m estão muito próximos, havendo apenas uma alteração significativa no dia 13 de abril. Neste dia, os valores mais altos estavam a 10m nos horários das 9:00hs às 13:00hs.

Gráfico 6: Gráficos com os dados de temperatura do ar medidos no P0 - orla da praia: valores a 10m e 1m5 medidos nos dias 12, 13 e 14 de abril

Os valores de temperatura do ar mostram acréscimos da ordem de 0,5 a 3°C, a 1,5m, em relação aos medidos a 10m. Os valores de temperatura são mais altos a 1,5m do piso em decorrência da proximidade do solo.

Gráfico 7: Gráficos com os dados de umidade relativa do ar medidos no P0 - orla da praia: valores a 10m e 1m5 medidos nos dias 12, 13 e 14 de abril

Os valores de umidade relativa do ar são ligeiramente maiores para 10m. Os dados medidos em ambas as alturas traçam perfis de curva de valores muito parecidos. Este aumento na umidade relativa é devido à diferença de temperatura entre as duas cotas, sendo a umidade absoluta similar nos dois pontos.

Gráfico 8: Gráfico com os valores de velocidade do ar medidos nos pontos P0 e P1 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso

No **Gráfico 8** verificam-se os valores registrados para o ponto P0 (orla da praia) e P1 (edifícios). Pode-se observar que, em função da posição de edifícios a barlavento do ponto analisado, as velocidades para o ponto P1 são menores. Para qualquer um dos dias de medidas, o comportamento do padrão de vento no ponto P1 permanece o mesmo, não refletindo o acréscimo de velocidades na orla da praia.

Gráfico 9: Gráfico com os valores de velocidade do ar medidos nos pontos P0 e P2 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso

No Gráfico 9 é possível verificar o que ocorre no P2 (praça central). Há um pequeno aumento da velocidade entre os pontos P1 e P2, em função desta última área ser um pouco mais aberta que a primeira. Esta alteração dos valores ocorre em alguns horários distintos, mas mantém um padrão muito similar ao do ponto P1.

Gráfico 10: Gráfico com os valores de velocidade do ar medidos nos pontos P0 e P3 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso

No Gráfico 10 observam-se os valores registrados para o ponto P3 que, apesar de ser um local mais aberto que os demais, ainda possui valores baixos de velocidade em relação à orla da praia. Neste ponto a rugosidade da cidade, apesar de edificações mais baixas, ainda influência os dados medidos.

Gráfico 11: Gráfico com os valores de temperatura do ar medidos nos pontos P0 e P1 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso

Gráfico 12: Gráfico com os valores de temperatura do ar medidos nos pontos P0 e P2 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso

Gráfico 13: Gráfico com os valores de temperatura do ar medidos nos pontos P0 e P3 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso

Com relação às temperaturas nos pontos P1, P2 e P3, os gráficos (Gráfico 11 ao Gráfico 13) apresentam valores mais elevados que na orla da praia, possivelmente em decorrência da configuração urbana.

A temperatura no ponto P3 é sensivelmente maior que nos pontos P1 e P2, a despeito da velocidade do vento ligeiramente mais alta neste ponto.

Gráfico 15: Gráfico com os valores de umidade relativa do ar medidos nos pontos P0 e P2 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso

Gráfico 16: Gráfico com os valores de umidade relativa do ar medidos nos pontos P0 e P3 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso

Com relação à umidade, os gráficos (Gráfico 14 ao Gráfico 16) apresentam valores mais elevados para a orla da praia, em função da presença do mar.

A umidade relativa nos pontos P1, P2 e P3 também é menor que a da orla, devido à diferença da temperatura do ar.

Os valores de velocidade, temperatura do ar e umidade relativa foram utilizados na aplicação do índice de neutralidade, onde a variação da velocidade foi alterada para verificação da sensação percebida pelo usuário. Desta forma, o tratamento dos dados climáticos auxiliou para a seleção dos valores (parâmetros de entrada) iniciais para o índice. A medida de campo auxiliou na verificação das condições climáticas locais, nos pontos definidos, possibilitando conhecer as características da área dentro do contexto urbano com base nos dias medidos.

4.3. SOFTWARE *Wa^sp*

O software *Wa^sp* (*Wind Atlas Analysis and Application Program*) auxilia a estimar os perfis em altura e os campos de vento à superfície sobre uma dada rugosidade e/ou obstáculos. O objetivo da utilização deste software foi verificar a aplicabilidade do uso dos dados de vento de estações meteorológicas em áreas próximas.

Este software utiliza modelos e resolve equações de quantidade de movimento, mas não de conservação de energia. O uso deste software não é aconselhável para simular condições em que o fluxo é conduzido por aspectos térmicos, Mortensen et al (1993).

A partir de uma série histórica de dados de vento (direção e velocidade) medido em um dado local, a aplicação do software *Wa^sp* executa a correção deste dados em uma nova série histórica que descreve o vento, gerando o atlas de vento do local. Utilizando-se desta série corrigida, pode-se verificar as condições de vento em outro ponto ou região da área estudada. Como o software integra diversos modelos de cálculo e de extrapolações, verticais e horizontais, pode-se gerar atlas de vento tanto com medidas feitas à superfície, a 10m, quanto com dados de vento geostrófico (estes medidos por exemplo com rádio-sonda).

Assim, a geração de um atlas de vento compreende a aquisição de uma série de dados de vento, descrição do posicionamento da estação meteorológica (altura do anemômetro), o tipo de rugosidade da superfície ao redor da estação e da rugosidade dos locais para os quais serão gerados os atlas de vento.

Desta forma, baseando-se nestas informações, o software um histograma correspondendo às direções e velocidades do vento nas posições desejadas.

Os dados gerados pelo atlas de vento são dados processados em que a estatística do vento é dada em função da estação meteorológica e transformados em função de condições determinadas. Este dados servem como base para projetos relacionados a um dado local, com base em dados medidos tendo como fonte o banco de dados de uma estação meteorológica.

Na **Figura 48** observam-se as classes de rugosidade e as características dos terrenos correspondentes.

Figura 48: Classe de rugosidade, características de superfícies e comprimento da rugosidade

Fonte: European Wind Atlas (1993, pp. 22) apud Silva (1999, pp. 162).

Os dados são analisados baseados na função de distribuição de Weibull. Os parâmetros de Weibull constituem os atlas de vento para regiões em análise.

A base deste software é uma solução que descreve a perturbação do fluxo através da função “perfil logarítmico do vento”. O software consiste de 4 blocos de cálculo: análise dos dados climáticos básicos, geração de dados para o Atlas de Vento, estimativa do vento e do potencial de turbina eólica.

Como o software estima os parâmetros do vento, ele transforma e resume a informação inicial (neste caso utilizado um banco de dados de 1 ano, hora a hora, num total de 24 dados de velocidade média por dia) numa matriz que contém, para cada direção, as frequências de ocorrência da velocidade do vento para cada rumo pretendido.

Na **Figura 49**, verifica-se uma representação esquemática do modelo de análise do atlas de vento.

Figura 49: Representação esquemática do modelo de análise do software *WaSp*

Fonte: European Wind Atlas (1993, pp. 72) apud Silva (1999, pp. 163).

4.3.1. Digitalização da Área de Estudo

Para a aplicação do software *Wa^p* (1993) foi necessária a digitalização da orografia da área (na escala 1:50.000) e a adoção de valores de rugosidades, respectivos para a área em análise. O software *Wa^p* é utilizado para modelar a malha urbana e verificar a influência do vento sobre uma dada rugosidade. Foi necessário digitalizar e incluir dados de:

1. Orografia: as curvas de nível foram digitalizadas, em uma mesa digitalizadora, de 20 em 20 metros.

Figura 50: Processo de Digitalização do Mapa da Cidade de Santos.

Para a utilização do mapa digitalizado e das características de rugosidade da área, obteve-se via imagens (ortofotos - Santos Digital) as rugosidades típicas (altura média dos edifícios) para a cidade como um todo.

Figura 51: Foto aérea da cidade de Santos.

Fonte: SANTOS DIGITAL (2003).

As ortofotos fazem parte do projeto **Santos Digital**²², onde a Prefeitura Municipal de Santos por meio da Secretaria de Planejamento (Seplan), introduziu o Geoprocessamento para a captação, tratamento e desenvolvimento de informações gerais sobre o município. O Santos Digital introduz um banco de dados com

²² Informação extraída do site: www.santos.sp.gov.br/planejamento, acesso em setembro, 2004.

utilidade funcional, que compõe um Sistema de Informações Geográficas (SIG) interligado às plantas da cidade.

Com o *Wa^sp* é possível alterar os valores da rugosidade, possibilitando verificar o que poderá ocorrer na cidade. Com esta simulação é possível verificar o que acontece em escala macro na cidade, ou parte dela.

2. Rugosidade: caracteriza os diferentes tipos de ocupação na área de estudo. Como conhecia-se a rugosidade do local em análise, foram utilizados os seguintes valores para a aplicação do software *Wa^sp*:

<i>Tipo de Terreno/Ocupação</i>	<i>Rugosidade - α</i>
Mar, morros, serra e áreas verdes	0
Aeroporto e edifícios esparsos	0,10
Edifícios baixos (2 pav.)	0,20
Edifícios médios (5 a 6 pav.) e com baixos (2 pav.)	0,25
Edifícios altos/orla da praia (10 a 18 pav.)	0,33

Tabela 16: Rugosidades utilizadas no software *Wa^sp* .

Nota: os valores referem-se aos sugeridos pelo manual de utilização do *Wa^sp*.

Os valores podem ser alterados na aplicação do software em função das transformações ocorridas na configuração do tecido urbano. É possível, também, alterar as coordenadas e verificar o que ocorre em áreas específicas da cidade.

4.3.2. Utilização do Software *Wa^sp*

Procedimento:

1. Carrega-se o arquivo da digitalização da orografia - ele trará os valores de rugosidade pré-definidos. Para definir um ponto de análise e obter o Atlas de Vento, é necessário especificar as coordenadas deste ponto no decorrer das funções a serem solicitadas pelo software. Neste caso, pela digitalização da orografia, o ponto analisado (estação meteorológica da Base Aérea de Santos) estava contido nas coordenadas 367200 em X e 7353000 em Y.

2. Carrega-se o arquivo de dados de vento do ano gerado pelos dados da estação meteorológica. Nesta aplicação do software foi utilizada uma sequência de dados climáticos de 1 ano, média hora a hora da velocidade dos ventos em todas as direções.
3. A partir das frequências do ano gerado, o programa determina o ajuste à função de Weibull para cada direção e os respectivos valores A e k . Com esta informação, gerada a partir dos dados da série meteorológica de referência, o programa estima o regime de ventos para qualquer local, desde que seja conhecida a topografia (orografia) e a classe de rugosidade.

```
Summary of data in file : C:\WASP40\SANTOSU.DAT [per mille]
Number of observations : 8760      Observations skipped: 14
Number of reading errors: 0      Wind speed bin width: 1.0 m/s
```

Sect	Freq	<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	>17	A	k
0:	7.0	0	234	559	107	74	15	2	3	2	5	0	0	0	0	2.8	1.86
30:	5.6	0	375	436	119	66	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2.6	2.53
60:	10.2	0	208	414	209	105	49	13	1	0	0	0	0	0	0	3.1	2.06
90:	18.7	0	112	379	272	136	73	24	2	1	1	0	0	0	0	3.5	2.34
120:	10.1	0	43	427	171	151	139	48	15	1	5	0	0	0	0	3.9	2.09
150:	7.8	0	91	293	269	183	126	25	6	3	3	1	0	0	0	4.0	2.41
180:	13.7	0	67	275	261	195	135	36	26	1	5	0	0	0	0	4.2	2.39
210:	7.5	2	46	326	270	192	111	21	21	6	5	0	0	0	0	4.0	2.29
240:	4.1	0	92	370	209	131	92	45	28	0	28	6	0	0	0	3.8	1.63
270:	2.8	0	86	566	193	82	20	16	20	4	4	8	0	0	0	2.8	1.28
300:	5.3	0	64	544	135	66	126	24	11	4	13	13	0	0	0	3.2	1.27
330:	7.2	0	176	437	137	68	60	29	10	22	37	14	0	6	3	3.0	1.02
Total		0	126	396	212	132	86	25	11	3	7	2	0	0	0	3.5	1.76

```
Number of calms (included): 0      Mean wind speed: 3.0 m/s (< 5%)
                                Mean energy density: 33 W/m² (< 27%)
DISPLAY DUMP DOS RETURN
RAUDATA>
```

Tabela 17: Exemplo de matriz da utilização do software *Wasp* onde é possível verificar as direções, a frequência de ocorrência em cada direção, bem como A e k .

A matriz exemplificada na **Tabela 17** contém, para cada direção (em graus, 0 a 330), as frequências da velocidade do vento e o número de vezes que a velocidade (1 a 17) ocorre em cada direção.

orografia

Figura 52: Mapa digitalizado resultante da aplicação do *Wa^p* com a orografia e mapa com a rugosidade adotada.

O perfil da velocidade calculado pelo Wap , com a série histórica de dados climáticos (8760 dados), gera valores correspondentes à velocidade média (M), energia (E) e os parâmetros de Weibull (A e k).

A variação destes valores para simulações com a mesma série histórica, ocorre em decorrência dos efeitos da orografia local e da rugosidade determinada como padrão de ocupação da área em estudo.

A aplicabilidade deste software possibilitou, com a rugosidade introduzida na cidade, verificar o que ocorre na Base Aérea de Santos (aeroporto), no ponto P0 (orla da praia), no ponto P1 (edifícios), no ponto P2 (praça central) e no ponto P3 (avenidas).

Figura 53: Base Aérea de Santos localizada na cidade vizinha, Guarujá/SP (Dados Climáticos).

No **Gráfico 17** observam-se a rosa de ventos e distribuição de *Weibull* (histograma de frequências) produzidas pelo software, referente ao período de 1 ano, para as coordenadas referentes ao ponto definido no aeroporto. Pode-se observar que há uma predominância de direção para o quadrante leste/sudeste/sul.

Nos ensaios em túnel de vento, adotou-se as direções sul e sudeste em decorrência do posicionamento em relação ao mar (sem obstruções). Para a direção leste haveria a influência de todo o tecido urbano a barlavento da área de estudo, e seria difícil de perceber a real influência na área e dos edifícios nela contida.

Gráfico 17: *Atlas do Vento*: Rosa de ventos e distribuição de Weibull A: 2.8 m/s e k: 1.86 (histograma de frequências) produzidas pelo software, referente ao período de 1 ano.

4.4. RESULTADOS COMPARATIVOS DOS DADOS CLIMÁTICOS: ESTAÇÃO METEOROLÓGICA, DADOS *IN LOCO* E SOFTWARE *WASP*

Para a aplicação do software *Wasp*, levou-se em consideração o Atlas de Vento gerado a partir dos dados do aeroporto, onde os dados foram sobrepostos nos pontos definidos na **Figura 52**, onde foram realizadas as medidas *in loco*. Estes resultados são representativos de uma rugosidade média aplicada sobre a cidade de Santos e a área de estudo.

Figura 54: Atlas de vento para o aeroporto, P0/orla, P1/edifícios-canyon, P2/prça central e P3/avenidas a 50m.

Na Figura 54 pode-se notar que, para os valores obtidos pelo Atlas de vento a 50m para o aeroporto em relação à orla da praia, há um aumento da velocidade para o quadrante 180 a 260° (sul/sudoeste).

Para os pontos P1, P2 e P3 os valores entre eles a 50m são os mesmos em função da orografia e da rugosidade adotada. O topo dos edifícios estão, praticamente, abaixo da cota de 50m para a área de estudo.

Para as rosas do aeroporto e do ponto P0 a 10m (Figura 55), não há diferença na frequência de ocorrência, e ocorre uma ligeira redução na intensidade do vento em relação a Figura 54, a 50m.

Figura 55: Atlas de vento para o aeroporto, P0/orla, P1/edifícios-canyon, P2/prça central e P3/avenidas a 10m.

Para os pontos P1, P2 e P3, observa-se uma diminuição dos valores de velocidade média e uma acentuação da freqüência de ocorrência para a direção leste e sul.

Figura 56: Atlas de vento para o aeroporto, P0/orla, P1/edifícios-canyon, P2/prça central e P3/avenidas a 1,5m.

Para os valores do Atlas de vento adaptados para 1,50m (Figura 56) as rosas dos ventos, para o aeroporto e para a orla da praia, apresentam uma diminuição no valor das velocidades, mantendo a freqüência para as mesmas direções.

Para os pontos P1, P2 e P3 há uma diminuição circunstancial da velocidade em função da rugosidade associada à área de estudo. O ponto P1, por estar mais próximo da orla, apresenta valores de velocidade superiores ao P2 e P3. A frequência das direções também é alterada, enfatizando a direção nordeste e sudoeste.

A utilização deste software ajudou a entender o padrão de vento para a área de estudo, com as rugosidades associadas e a orografia existente.

Esta ferramenta, desenvolvida para a escolha de locais com potencial para geração de energia eólica, pode ser utilizada como um instrumento no estudo da ventilação natural em áreas urbanas, com a utilização de um banco de dados medidos em estações meteorológicas. Vale destacar que os modelos utilizados apresentam restrições com relação ao uso em meio urbano (Mortensen et al (1993).

Poderiam ter sido testadas outras rugosidades e a inserção de novos obstáculos (edifícios isolados), bem como a verificação de outros pontos para análise na área de estudo. Estudos mais aprofundados com esta ferramenta poderão ser elaborados futuramente.

5. ENSAIOS EM TÚNEL DE VENTO

5.1. ÁREA DE ESTUDO

Para este estudo adotou-se as quadras da área do Bairro da Pompéia (entre o canal 1 e 2) da cidade de Santos. A escolha da área e das quadras aconteceu em função da verificação da existência de edifícios altos (em comparação aos demais presentes na área) nesta área, bem como a configuração urbana atual.

A configuração urbana nesta área abrange edifícios altos (+/- 15 andares) na orla da praia, formando um paredão para as áreas posteriores, e edifícios de menor altura em uma área intermediária (praça central +/- 6 andares), com edifícios de 2 a 3 andares na parte limite (avenidas).

A alteração proposta em determinados pontos, basicamente na 2ª. quadra atrás do paredão, foi para verificar possíveis alterações no campo de velocidades. Como na área de estudo, e na cidade de Santos, estão surgindo edifícios de aproximadamente 26 andares, optou-se pela inserção desta altura na quadra posterior à da orla da praia.

Pelos ensaios foi possível verificar o que ocorre na situação atual e com as alterações propostas. Vale destacar que os ensaios foram feitos com a colocação de 7 novas configurações urbanas de quadras, cuja colocação dos edifícios foi feita de forma aleatória, diferentemente dos ensaios realizados por Silva (1999). Assim, estes ensaios são válidos para este tipo de alteração, cabendo serem executados novos ensaios para alterações propostas específicas.

5.1.1. Definição das Quadras

Nas imagens da **Tabela 18** verificam-se exemplos das quadras que compõem a área de estudo e sua configuração.

Vista aérea - Área de Estudo

Modelo

situação atual

alterações

Ensaio: Situação atual

Quadra 01

Quadra 02

Quadra 03

Quadra 04

Ensaio: Situação atual	Ensaio: Alterações	Ensaio: Situação atual	Ensaio: Alterações
<p>Quadra 05</p>	<p>Quadra 05</p>	<p>Quadra 06</p>	<p>Quadra 06</p>

Ensaio: Situação atual	Ensaio: Alterações	Ensaio: Situação atual	Ensaio: Alterações
<p>Quadra 07</p>	<p>Quadra 07</p>	<p>Quadra 08</p>	<p>Quadra 08</p>

Ensaio: Situação atual	Ensaio: Alterações	Ensaio: Situação atual	Ensaio: Alterações
Quadra 09	Quadra 09	Quadra 10	Quadra 10

Ensaio: Situação atual	Ensaio: Alterações	Ensaio: Situação atual	Ensaio: Alterações
Quadra 12	Quadra 12	Quadra 17	Quadra 17

Ensaio: Situação atual			
Quadra 11	Quadra 13	Quadra 14	Quadra 15
Quadra 16	Quadra 18	Quadra 19

Tabela 18: Configurações urbanas simuladas.

As quadras 5, 6, 7, 8, 9 , 10 e 17 (ver **Figura 37**) sofreram alterações para a simulação. Nestas quadras foram inseridos edifícios de 26 pavimentos (aproximadamente 80 metros de altura).

5.1.2. Definição das Simulações

Os ensaios realizados no LNEC foram os seguintes:

ENSAIOS	Situação atual	Alteração das quadras	Alteração total	“mancha de vento”
<i>Erosão</i>	06 ensaios com as orientações do vento: sul, sudeste, leste, norte, noroeste e oeste	Quadras 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 12 todas com o vento no sentido sudeste	todas as quadras com o vento no sentido sudeste	
<i>Tubo de Pitot</i>	Para cada ensaio foi realizada medida da Camada Limite Atmosférica com o <i>Pitot</i> de referência			3 medidas específicas no “entorno do edifício”
<i>Anemômetro de fio quente</i>	Foram medidos 3 pontos no modelo a 1cm(10 m na escala real)			Foram medidos 3 pontos no modelo a 1cm(10m na escala real)

Tabela 19: Ensaios realizados no LNEC.

Para o túnel de vento do IPT foram realizados ensaios de figuras de erosão (direção sul e sudeste), medidas com fio quente para perfil de turbulência para 3 rotações do motor (200, 300 e 400rpm), bem como para os 4 pontos de medições (P0, P1, P2 e P3). Foi realizada também, medidas pontuais próximas ao edifício (parte anterior e posterior na altura da cobertura) mais alto da área, para verificação da influência deste.

5.2. TÚNEL DE VENTO: LNEC - LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL/LISBOA-PORTUGAL

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) é uma instituição de Ciência e Tecnologia do setor do Estado, sob a tutela do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Habitação que exerce a sua ação nos múltiplos domínios da Engenharia Civil. O LNEC foi criado em 19 de Novembro de 1946 a partir do

Laboratório de Ensaio e Estudo de Materiais do Ministério das Obras Públicas e do Centro de Estudos de Engenharia Civil, sediado no Instituto Superior Técnico.

Esta dupla vertente, investigação e experimentação, iriam informar decisivamente o futuro desenvolvimento do LNEC. O orientador no LNEC foi o Prof. Jorge Alberto Gil Saraiva, Investigador Coordenador, Departamento de Estruturas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Núcleo de Dinâmica Aplicada.

Os objetivos principais foram obter conhecimentos em métodos numéricos, instrumentos de laboratório e técnicas de simulação. Os ensaios desenvolvidos foram:

1. **Erosão** - figuras de erosão para a visualização do campo de velocidade no nível do solo;
2. **Perfis de velocidade** - aproximadamente 1,5cm do piso do túnel. Os pontos críticos possíveis são medidos com tubo de *Pitot* e anemômetro de fio quente.

O túnel de vento do LNEC (JANEIRO BORGES, 1968) foi construído em circuito fechado e possui a câmara de ensaios dimensionada em 3.00m de comprimento e seção reta, basicamente retangular, com 1.00m de altura por 1.25m de largura. O ventilador utilizado é da marca *Voith*, tipo 1600 N8E, com um diâmetro interior de 1600mm. A roda possui 12 pás, reguláveis individualmente.

O ventilador foi escolhido de forma a adaptar-se às características de um motor de corrente contínua existente no LNEC. Este motor desenvolve uma potência nominal de 24kW por volta de 900rpm. Desta forma, permite-se obter uma velocidade média por volta de 40 m/s.

Figura 57 e Figura 58: Vista Externa do túnel.

Figura 59 e Figura 60: Vista Interna do túnel.

5.2.1. O Modelo

5.2.1.1. Confeção do Modelo

Para a confecção do modelo foram necessários definir a escala, os quarteirões/quadras, as alturas e dimensões dos blocos de madeira e, os “novos” blocos com as alturas/alterações propostas. Desta forma:

1. A maquete foi construída em escala 1:1.000 - aproximadamente 80x80cm, gerando uma “prancha/bolacha circular” de 1m de diâmetro para a colocação no túnel de vento;

Figura 61: Organização dos blocos de madeira para execução.

2. Os quarteirões/arruamento foram definidos possibilitando, através de um encaixe, a alteração de cada quadra. Após esta definição de como seria construído o modelo, foi enviado o material a marcenaria.

5.2.1.2. Montagem do Modelo

- ✓ Confecção dos blocos de madeira: para tal, foi necessário fazer um levantamento das alturas e dimensões dos edifícios. Estas dimensões proporcionaram a criação de uma listagem, que foi encaminhada à marcenaria para confecção dos blocos;

Figura 62: Construção das quadras/madeira para a colagem dos blocos.

✓ Montagem das quadras: após a confecção das quadras e dos blocos, procedeu-se à montagem. É possível observar que as quadras e o arruamento foram recobertos por uma “folha” de cortiça. Este revestimento foi útil para a visualização dos ensaios de erosão;

Figura 63: Montagem dos blocos nas quadras

Após a montagem de todas as quadras foi necessário colocar o modelo em uma prancha circular de 1m de diâmetro, que será colocada em uma base dentro do túnel de vento;

Figura 64: Montagem da prancha para colocação no túnel de vento.

✓ Para colocação da prancha no túnel foi necessário recobrir as laterais para nivelar o piso do modelo. Depois esta peça (modelo + prancha circular) foi colocada dentro do túnel de vento para a realização dos ensaios.

Figura 65: Modelo no túnel de vento.

5.2.2. Equipamentos

Utilizou-se para os ensaios no túnel de vento os seguintes equipamentos: micromanômetro, barômetro, termômetro, tubo de *Pitot* e sonda de fio quente.

A velocidade do escoamento, nas baixas velocidades, é determinada através da medição da pressão dinâmica por um micromanômetro de precisão *Furness MDC FCO 510*, gama de valores entre -200 e +200 mm de coluna de água (erro relativo constante e inferior a 0,01%) ligado a um tubo de *Pitot-Prandtl* de 3 mm de diâmetro.

Para as altas velocidades a pressão dinâmica do escoamento é medida por um micromanômetro de precisão *Van Essen*, tipo *Betz* (erro absoluto inferior a 0,5 Pa), ligado a um tubo de *Pitot-Prandtl* de 5 mm de diâmetro.

A pressão barométrica é medida por um barômetro de coluna de mercúrio tipo *Fortin* (erro de medida inferior a 0,1 mm Hg) e a temperatura no túnel por um termômetro de mercúrio, laboratorial, com precisão da ordem de 0,1°C.

Figura 66: Barômetro e Termômetro, Micromanômetro e Tubo de *Pitot-Prandtl*.

Figura 67: Termômetro interno no túnel e equipamento para registrar a temperatura.

5.2.3. Ensaios Realizados - Erosão

5.2.3.1. Ensaios Situação Atual

Serão apresentados 2 dos ensaios: situação atual com vento Sul e Sudeste, também simulada no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) e com todas as alterações com vento no sentido Sudeste. As figuras de erosão são utilizadas para a visualização do campo de velocidade no nível do solo.

A planilha de dados refere-se às características dinâmicas do túnel, bem como às variáveis no momento do ensaio. Para obter o gráfico das velocidades estimadas, registra-se a pressão atmosférica (para este ensaio = P_{atm} : 768.2 mmHg), a temperatura ambiente (T_{amb} : 11,5 °C), a temperatura no interior do túnel ($T_{túnel}$: 11,5 °C) e os valores medidos por um tubo de *Pitot* de referência (pressão registrada no *Betz* (Pa)), localizado na parte superior da câmara de ensaio.

Ensaio: vento na direção Sul.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

NÚCLEO DE DINÂMICA APLICADA

Faixa de utilização da planilha Temperatura: 0 °C a 30 °C

Pressão: 600 mmHg a 1060 mmHg

PLANILHA PARA CÁLCULO DAS CARACTERÍSTICAS DINÂMICAS DO TÚNEL DE VENTO

t amb (gC)	p atm (mmHg)	p túnel (mmHg)	t túnel (gC)	Cor t, p (mmHg)	Cor lat (mmHg)	p corrig (mmHg)	Rô túnel (UMM)	v túnel (m/s)	Rô túnel Kg/m ³		Pa	mm H ₂ O
11,50	768,20	1,35	11,50	-1,49	-0,39	766,32	0,127594	4,59	1,2504	sul	13,2	1,35
11,50	768,20	2,04	11,50	-1,49	-0,39	766,32	0,127594	5,66	1,2504	sul	20	2,04
11,50	768,20	2,98	11,50	-1,49	-0,39	766,32	0,127594	6,83	1,2504	sul	29,2	2,98
11,50	768,20	3,50	11,50	-1,49	-0,39	766,32	0,127594	7,41	1,2504	sul	34,3	3,50
11,50	768,20	4,13	11,50	-1,49	-0,39	766,32	0,127594	8,05	1,2504	sul	40,5	4,13
11,50	768,20	4,74	11,50	-1,49	-0,39	766,32	0,127594	8,62	1,2504	sul	46,5	4,74
11,50	768,20	5,49	11,50	-1,49	-0,39	766,32	0,127594	9,28	1,2504	sul	53,8	5,49
11,50	768,20	6,94	11,50	-1,49	-0,39	766,32	0,127594	10,43	1,2504	sul	68	6,94
11,50	768,20	8,51	11,50	-1,49	-0,39	766,32	0,127594	11,55	1,2504	sul	83,4	8,51

Tabela 20: Velocidade estimada (m/s) - $v_{túnel}$

Para cada ensaio de figura de erosão pode-se obter um valor adimensional, gama, resultado da relação entre as rotações em que o deslocamento de areia começa a ocorrer em cada figura de erosão. Valores de gama menores que 1 indicam áreas protegidas do vento e os acima de 1 indicam áreas de maior exposição ao vento.

As velocidades no túnel são promovidas por um ventilador, e são alteradas pela mudança nas suas velocidades de rotação. Como o túnel funciona num circuito, este tem sempre as mesmas características, o permite afirmar que os pontos de funcionamento do ventilador são pontos dinamicamente semelhantes. Assim, as velocidades de referência num dado ponto de túnel com as mesmas características, são proporcionais à velocidade de rotação.

Desta forma, para comparar os resultados do túnel com a escala real, conhecido o valor de velocidade real, (para as imagens será utilizado o valor de 1, 15m/s obtido a 1,5m na orla da praia nas medidas *in loco*), basta multiplicá-lo pelo valor adimensional para se obter o valor representativo real, na cota correspondente.

Ensaio: vento na direção Sul.

As áreas preenchidas com cores diferenciadas correspondem às áreas erodidas, conforme o aumento da rotação do motor.

	200rpm	250rpm	300rpm	350rpm	400rpm	450rpm
γ	1,00	1,23	1,49	1,75	2,02	2,27
	P0 (orla)	P1 (edifícios)	P2 (praça central)	P3 (avenidas)		
U_{1m5}	1,15 m/s	2,27 m/s	0,00 m/s	2,27 m/s		

Figura 68: Resultado da simulação - LNEC direção sul/configuração atual.

Nos ensaios descritos para as rotações abaixo do valor inicial (200rpm), observou-se pequenas movimentações de areia, similares às de 200rpm, mas que não movimentaram as areias na área de referência. Isto significa que quando ocorre uma movimentação da areia em áreas do modelo, sem que haja deslocamento da areia de referência (teste), este deslocamento ocorre devido à geometria do objeto (edifício) ou grupos destes.

Figura 69: Imagens registradas no término do ensaio - LNEC direção sul/configuração atual.

Pode-se observar o acúmulo de areia, em determinados pontos e os contornos ou isolinhas ocasionados pelo arrasto dos grãos.

Vale destacar que o acúmulo de areia (área não erodida), em determinados pontos, representa áreas com problemas de turbilhonamento do vento, retenção de poeira e/ou áreas que não sofrem a influência do vento com velocidades consideradas para remover a areia.

Na **Figura 68** observa-se o campo de velocidades ocasionado pela configuração urbana atual, para a direção do vento no sentido sul. Pode-se verificar que há uma movimentação na base dos edifícios (efeito de borda), bem como a canalização em áreas com proximidade entre edifícios nas quadras 1 e 2, 3 e 4 e na 17 e 18 (ver **Figura 37**). É possível perceber que a ventilação na parte central (2ª. quadra) e pequena possivelmente em decorrência do paredão da orla da praia.

A movimentação nas bordas do modelo, pode ser desprezada pois não foi contemplada a configuração urbana presente ao redor da área simulada.

Ensaio: vento na direção Sudeste.

As áreas preenchidas com cores diferenciadas correspondem às áreas erodidas, conforme o aumento da rotação do motor.

	200rpm	250rpm	300rpm	350rpm	400rpm	450rpm
γ	1,00	1,23	1,49	1,75	2,02	2,27
	P0 (orla)	P1 (edifícios)	P2 (praça central)	P3 (avenidas)		
U_{1m5}	2,60 m/s	0,00 m/s	0,00 m/s	2,32 m/s		

Figura 70: Resultado da simulação – LNEC direção sudeste/configuração atual..

Figura 71: Imagens registradas no término do ensaio - LNEC direção sul/configuração atual.

Pode-se observar o acúmulo de areia, em determinados pontos e os contornos ocasionados pelo arrasto dos grãos.

Na **Figura 70** observa-se o campo de velocidades ocasionado pela configuração urbana atual, para a direção do vento no sentido sudeste. Ainda neste ensaio verificou-se o pouco movimento de ar na parte central. Observa-se uma movimentação maior nos corredores (vias de circulação) localizados atrás na 1ª. quadra e próximos aos edifícios altos.

5.2.3.2. *Ensaio com Alterações*

Este ensaio foi realizado com a troca de todas as quadras com possíveis alterações para a simulação. No LNEC este ensaio foi realizado para a direção sudeste. No IPT o ensaio foi realizado para a direção sul e sudeste.

Ensaio: vento na direção Sudeste²³.

As áreas preenchidas com cores diferenciadas correspondem às áreas erodidas conforme o aumento da rotação do motor.

Figura 72: Resultado da simulação - LNEC direção sudeste/alterações.

	200rpm	250rpm	300rpm	350rpm	400rpm	450rpm
γ	1,00	1,23	1,49	1,75	2,02	2,27
	P0 (orla)	P1 (edifícios)	P2 (praça central)	P3 (avenidas)		
U_{1m5}	2,61 m/s	0,00 m/s	0,00 m/s	2,32 m/s		

²³ No LNEC não foi realizado o ensaio com todas as alterações para a direção Sul.

Figura 73: Imagens registradas no término do ensaio.

Pode-se observar o acúmulo de areia em determinados pontos e as isolinhas geradas pelo arrasto dos grãos.

Na **Figura 72** observa-se o campo de velocidades ocasionado pela alteração da configuração das quadras, para a direção do vento no sentido sudeste. Para esta direção verifica-se que ainda há pouca movimentação na parte central da área. Com a presença dos novos edifícios, observou-se que ocorre uma movimentação (efeito de borda) próximo a eles. Pode-se notar que há uma diminuição do fluxo nas quadras 7, 8, 9, 13 e 14. Esta diminuição deve se dar em função da presença maior dos novos edifícios estarem localizados nas quadras 5, 6 e 7, formando novas barreiras para o fluxo nesta direção.

Para a direção sudeste a presença dos novos edifícios, nestes posicionamentos, diminuiu a movimentação do fluxo de ar na área como todo.

5.2.4. Ensaios Realizados - CL (Camada Limite)

5.2.4.1. Ensaios Realizados - Anemômetro Fio Quente

Os ensaios com sonda de fio quente foram realizados com duas configurações no modelo: configuração atual e com possíveis alterações na verticalização da área.

Figura 74: Situação atual e alterações na configuração.

O ensaio foi realizado para vento na direção Sul. Foram realizadas medidas em 4 pontos no modelo: na orla da praia, ponto 1, 2 e 3 (P1, P2 e P3).

Figura 75: Ajuste do posicionamento do anemômetro de fio quente.

As medidas foram realizadas com anemômetro de fio quente marca DANTEC, modelo mini CTA e sonda de fio quente 55 P 16. Foram registradas velocidades a cada segundo, num total de 1026 registros por ponto. A sonda de fio quente foi colocada a uma distância de

10mm do piso do modelo (escala do modelo 1:1000), o que corresponderia a 10m de altura na escala real.

Na Tabela 21, está representado um trecho dos registros da velocidade (m/s) e do tempo de amostragem (segundos), registrados com o fio quente.

Tempo	Velocidade	Situação atual			Velocidade	Situação com alterações		
<i>Tempo até 1 segundo</i>	<i>Pontos: orla</i>	<i>p1</i>	<i>p2</i>	<i>p3</i>	<i>Pontos: orla</i>	<i>p1_alt</i>	<i>p2_alt</i>	<i>p3_alt</i>
0.000	9.996	0.949	1.438	5.482	9.996	4.134	5.249	1.561
0.001	10.268	1.167	1.486	5.191	10.268	2.956	5.135	1.232
0.002	9.996	1.414	2.061	5.908	9.996	2.516	4.434	1.085
0.003	9.996	2.153	1.254	5.078	9.996	2.586	3.711	1.298
0.004	9.907	2.313	1.438	4.485	9.907	2.621	4.282	1.827
0.005	9.818	2.000	1.536	3.989	9.818	2.730	2.956	2.030
0.006	10.086	2.153	1.561	4.537	10.086	1.462	2.956	1.971
0.007	9.996	2.766	1.210	4.085	9.996	1.367	4.911	1.772
0.008	10.086	1.942	2.091	4.383	10.086	0.807	4.802	1.884
0.009	10.177	0.807	1.612	4.037	10.177	1.126	5.249	2.280
0.010	10.086	0.790	2.313	4.232	10.086	1.438	4.332	1.913
0.011	10.086	1.276	2.413	4.183	10.086	1.536	6.034	1.561
0.012	9.996	1.664	1.536	2.995	9.996	1.855	4.802	1.344
0.013	9.295	1.085	1.126	3.802	9.295	0.841	4.485	1.612

Tabela 21: Registros das velocidades e tempo de amostragem.

Figura 76: Definição dos pontos para as medidas - anemômetro fio quente e tubo de Pitot.

Deste registro foi possível verificar a intensidade de turbulência ocasionada pelas ocupações e na “orla da praia” (campo aberto sem obstrução).

Nos gráficos (**Gráfico 18** e **Gráfico 19**) observa-se o registro da intensidade de turbulência para cada ponto, de acordo com a configuração do tecido urbano. Nos pontos P1, P2 e P3 verificam-se padrões de curvas diferentes para a situação atual e com as configurações, de acordo com a tipologia presente no entorno ao ponto medido.

Pode-se observar no **Gráfico 18** que para a situação atual a curva da orla da praia está por volta dos 9m/s, devido a incidência direta do fluxo e por não haver obstruções. Para os pontos P1 e P2 que estão inseridos na configuração urbana e próximos aos edifícios, este valor decresce para 2 a 3m/s.

Nota-se que para o ponto P3 que está afastado os valores registrados são mais altos que nos pontos P1 e P2.

No **Gráfico 19** com as quadras alteradas, observa-se que para os pontos P1, P2 e P3 ocorreu alteração nas curvas de intensidade de turbulência devido aos edifícios inseridos na 2^a. quadra.

Estas alterações fizeram com que as velocidades aumentassem no ponto P2 e diminuíssem no ponto P3, percebendo a extensão da inserção das novas alturas dos edifícios.

anemômetro fio quente - configuração atual

Gráfico 18: Intensidade de turbulência (m/s)/configuração urbana atual e vento sul.

anemômetro fio quente - alteração/configuração

Gráfico 19: Intensidade de turbulência (m/s) - alteração na configuração urbana e vento sul.

Figura 77: Corte dos locais onde foram feitos os ensaios - situação atual.

5.2.4.2. Ensaios Realizados - Tubo de Pitot

Os ensaios de camada limite atmosférica (CLA) e velocidade em pontos definidos no modelo foram realizados utilizando-se um tubo de *Pitot* de 3mm.

Na **Figura 78**, verifica-se o posicionamento do tubo de *Pitot* acoplado a um coordenômetro que auxilia no deslocamento vertical e horizontal do tubo.

O coordenômetro serviu para posicionar milimetricamente o tubo de *Pitot* nas alturas necessárias para a realização das tomada de pressão.

Figura 78: Tubo de *Pitot*/Prandtl de 3mm.

Figura 79: Coordenômetro.

Com o tubo de *Pitot* é possível obter a velocidade estimada, desde que se tenha registrado a temperatura do ar e do interior do túnel, a pressão atmosférica (*mmHg*), as rotações por minuto (*rpm*) e a pressão registrada.

Figura 80: Pontos onde foram realizadas as medidas com tubo de *Pitot* para a direção do vento - sul.

Na Tabela 22 esta representado um exemplo dos dados obtidos no ponto P0 na “orla da praia” e do P2 - “praça central”, no ensaio de camada limite. Os dados observados para o ensaio foram: temperatura do ar exterior 15°C, temperatura do ar no interior do túnel 15,2°C, *Patm.* 762,5 mmHg (padrão coluna de mercúrio), velocidade 250 rpm e *Betz* a 20 Pa. A direção do vento na área de estudo para o ensaio foi a Sul.

Os ensaios dos pontos P1 e P3 não puderam ser utilizados pois, em decorrência das obstruções, os valores registrados pelo tubo de *Pitot* foram negativos. Desta forma, é possível observar uma região de turbulência próxima a estes pontos, pois os valores mostram que ocorre uma mudança na direção do vento em decorrência da configuração urbana. Os valores negativos foram desconsiderados por não haver registro da direção do fluxo.

Orla da praia				P2 - Praça central			
h mm	mmHg	h/δ	U/U _∞	h mm	mmHg	h/δ	U/U _∞
0,5	1,1	0,02	0,723747				
1	1,15	0,04	0,740013	1	(-0,25)		
2,5	1,3	0,1	0,786796	2	(-0,25)		
5	1,5	0,2	0,845154	5	(-0,25)		
10	1,75	0,4	0,912871	10	(-0,25)		
15	1,95	0,6	0,963624	15	(-0,25)		
20	2,05	0,8	0,988024	20	(-0,25)		
25	2,1	1	1				
30	2,1	1,2	1	25	0,1	0,25	0,226455
40	2,1	1,6	1	30	0,2	0,3	0,320256
50	2,1	2	1	40	0,5	0,4	0,50637
60	2,1	2,4	1	50	0,9	0,5	0,679366
100	2,1	4	1	60	1,15	0,6	0,767948
200	2,1	8	1	70	1,35	0,7	0,83205
				80	1,75	0,8	0,947331
				90	1,95	0,9	1
				100	1,95	1	1

Tabela 22: Planilha com os valores medidos com tubo de *Pitot* na orla da praia e praça central.

Gráfico 20: Perfil de velocidades na “orla da praia” e P2 “praça central”.

No Gráfico 20 pode-se observar que o perfil de vento para a orla da praia se inicia a uma altura (h) mais elevada, em decorrência da rugosidade presente antes do ponto de tomada de dados.

Na área de estudo na quadra 17 é onde está localizado o edifício mais alto - 26 pavimentos. Desta forma buscou-se nos ensaios de erosão e com medidas com tubo de *Pitot*, verificar o que ocorre próximo a este edifício. Os ensaios na quadra 17 estão representados no ensaio QUADRA 17 EROSÃO (Figura 81) e *PITOT* (Figura 82).

Ensaio QUADRA 17 - vento Sul/EROSÃO.

Figura 81: Imagens registradas no término do ensaio - quadra 17. Pode-se observar o acúmulo de areia em determinados pontos e os contornos ocasionados pelo arrasto dos grãos.

As fotos demonstram os resultados obtidos com os ensaios de erosão na área onde foi realizado o ensaio com o tubo de *Pitot*. A área hachurada em cores define o local onde foi removida a areia.

Ensaio QUADRA 17 - vento Sul/medidas com Tubo de *PITOT*.

Figura 82: Mancha originária das medidas em altura com o tubo de *Pitot*.

Na **Figura 82** observa-se o ensaio realizado como parte do aprendizado sobre as medidas no túnel de vento. Verifica-se, pelas medidas e pelo posicionamento do

tubo, a possível “mancha” de vento ocasionada pela implantação deste edifício no tecido urbano.

O tubo de *Pitot* foi colocado na mesma cota do topo do prédio, distanciando a 10mm (escala do modelo e 10m escala real). As medidas com o tubo de *Pitot* foram realizadas deslocando-o para o sentido oeste 113mm e a leste 146mm (escala 1:1000/modelo), até que os valores registrados se tornassem constantes. O mesmo foi feito no sentido perpendicular até a distância 177mm. Da ligação destes pontos, obteve-se a possível mancha para estes posicionamentos do equipamento.

Estas medidas podem ser elaboradas para várias alturas, onde é possível perceber o que ocorre horizontal e verticalmente em cotas diferenciadas.

5.3. TÚNEL DE VENTO IPT: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS/SP

Para esta pesquisa foi utilizado o Túnel de Vento de Camada Limite Atmosférica do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) (**Figura 83** e **Figura 84**), que foi construído para estudar o movimento do ar em áreas urbanas e industriais.

Figura 83: Túnel - vista externa.

Fonte: Folder de divulgação do túnel do dia da inauguração - 06/06/2002.

Figura 84: Seção de Testes

Fonte: Folder de divulgação do túnel do dia da inauguração - 06/06/2002.

Pereira (2002), descreve o túnel de camada limite atmosférica do IPT, que foi construído em circuito aberto, com faixa de velocidade sub-sônica (até 25-30 m/s), baixa pressão e capacidade de geração de dois tipos de perfis de velocidade. A seção de teste possui 3,00m de largura, 2,00m de altura e 28,00m de extensão, com forro de altura variável. Em duas regiões da seção de testes (no começo e no final do túnel) encontram-se mesas giratórias com 2,80m de diâmetro, possibilitando o giro de modelos para diferentes ângulos.

A entrada de ar no túnel é feita por uma seção de 5,00 por 4,00m, passa por colméias, telas retificadoras, trecho de contração, seção de testes (aeronáutica), seção de produção de perfis de camada limite, nova seção de testes e ventilador. O ventilador é do tipo axial com 3,00m de diâmetro e 8 pás móveis, o que garante um regime hidráulico estável para as faixas de velocidade. O ventilador suciona o ar de dentro do túnel.

O túnel possui duas seções de testes que, associadas a equipamentos de medição de velocidade do vento (anemômetro a laser por fibra ótica), permitem uma diversidade de estudos e aplicações para áreas como construção civil, meio ambiente, química, aeronáutica e automobilística. A primeira seção de testes é a de ensaios atmosféricos. A segunda seção é utilizada para estudo da aerodinâmica nos corpos (REVISTA PESQUISA FAPESP, 2002).

Segundo a equipe do IPT (REVISTA PESQUISA FAPESP, 2002) “poderá ocorrer a emissão de laudos vetando a construção de edifícios em áreas onde se comprometa a dispersão de poluentes e do vento”.

Os ensaios que foram realizados no IPT:

1. Medição da camada limite com tubo de *Pitot*;
 - 3 perfis de medidas: 200, 300 e 400 rpm. Sendo que será apresentado o de 200rpm, que demonstrou proximidade de valores de $\alpha = 0,11$; característicos de rugosidade de áreas abertas.
2. Medição da camada limite com sonda de fio quente;
 - perfil das medidas de turbulência: 200 rpm.
3. Medidas com sonda de fio quente em 4 pontos do modelo;
4. Ensaios de erosão (areia) nas direções sul e sudeste.

Os ensaios de erosão foram realizados apenas para a direções Sudeste e Sul, em decorrência da disponibilidade para os ensaios e por haver dados do ensaio do LNEC.

5.3.1. O Modelo

5.3.1.1. Confeção do Modelo

O modelo utilizado para o ensaio no IPT é o mesmo utilizado no LNEC. Foram necessária algumas adaptações para o encaixe do modelo em uma “prancha/bolacha” de madeira e fixação no túnel do IPT. Desta forma:

- ✓ A maquete foi construída em escala 1:1.000 - aproximadamente 80x80cm, e foi preciso construir uma “prancha/bolacha” de 2.60m de diâmetro para a colocação no túnel de vento;

- ✓ A adequação do modelo no túnel auxiliará na rotação do mesmo para as direções a serem ensaiadas.

5.3.1.2. Montagem do Modelo

A montagem do modelo para ensaio foi realizado seguindo algumas etapas:

- ✓ Etapa 1: adaptação da “prancha/bolacha” para a fixação do modelo;

Figura 85: “Prancha/bolacha” para fixação do modelo.

- ✓ Etapa 2: fixação do modelo (arruamento e quadras) no túnel de vento;

Figura 86: Fixação do modelo no túnel.

- ✓ Etapa 3: acabamento em cortiça e vedação das bordas do modelo;

Figura 87: Acabamento do modelo para a inserção das quadras.

✓ Etapa 4: colocação das quadras no arruamento e fixação ao piso do túnel;

Figura 88: Colocação das quadras para o ensaio.

Figura 89: Modelo no túnel de vento.

- ✓ Etapa 5: fixação de suporte no teto para a colocação de máquina digital para o registro das imagens.

Figura 90: Suporte para fixação da máquina digital.

A colocação da máquina digital em um local fixo, auxilia na montagem e tratamento das imagens. Há possibilidade de geração de pequenos filmes para apresentação do trabalho.

5.3.2. Equipamentos

Para a realização dos ensaios foram utilizados: tubos de *Pitot* (referência e no modelo), anemômetro de fio quente (sonda modelo AD - 31, marca Dantec), termômetro interno e externo ao túnel e barômetro.

Figura 91: Equipamento para calibração da sonda de fio quente.

Figura 92: Tubo de *Pitot* de referência, para o ensaio no modelo e termômetro interno.

5.3.3. Ensaios Realizados - Erosão

5.3.3.1. *Ensaio Situação Atual*

Os ensaios de figura de erosão foram realizados de 2 formas:

- ✓ situação atual da configuração urbana com direção de vento: sul e sudeste;
- ✓ alteração de todas as quadras, ao mesmo tempo, com o vento no sentido sul e sudeste.

As figuras de erosão são utilizadas para a visualização do campo de velocidades no nível do solo. Na **Figura 93**, observa-se a aplicação da camada de areia para o início do ensaio. A areia deve ser espalhada de forma uniforme e por toda a área de teste.

Figura 93: Imagens da aplicação da areia na área de teste.

Os ensaios foram realizados utilizando-se areia normalizada NP EN 196-1²⁴ fração IV-A que passa na peneira 0.5mm e fica retida na 0.3mm. Foram realizados registros das figuras para as rotações de 100, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300, 325 e 350rpm. O tempo de exposição para cada velocidade foi de ~ 5 minutos.

²⁴ NP - Norma Portuguesa e EN (*European Normalization*) - concreto.

Ensaio: vento na direção Sul - SITUAÇÃO ATUAL.

As áreas preenchidas com cores diferenciadas correspondem às áreas erodidas conforme o aumento da rotação do motor.

Figura 94: Resultado da simulação - IPT direção sul/configuração atual.

	100rpm	150rpm	175rpm	200rpm	225rpm	250rpm	275rpm	300rpm	325rpm	350rpm
γ	1,00	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50
	P0	P1	P2	P3						
U_{1m5}	4,02 m/s	0,00 m/s	0,00 m/s	0,00 m/s

Figura 95: Imagens registradas no término do ensaio.

Pode-se observar o acúmulo de areia em determinados pontos e as isolinhas ocasionadas pelo arrasto dos grãos.

Para a figura de erosão do ensaio situação atual direção sul, observa-se que para os pontos P1, P2 e P3 não ocorre movimentação da areia. Desta forma, para esta configuração, existem zonas não-erodidas na parte central do modelo, mais precisamente na segunda quadra, que demonstram a influência da barreira dos edifícios da orla. No entanto, a rugosidade representada pela própria segunda quadra ocasiona movimentação da terceira quadra em diante.

Para o ensaio situação atual direção sudeste (**Figura 96**) pode-se verificar uma maior movimentação do fluxo de ar por toda a área, como no percebido pelo ensaio nesta mesma direção no LNEC.

Ensaio: vento na direção Sudeste - SITUAÇÃO ATUAL.

As áreas preenchidas com cores diferenciadas correspondem às áreas erodidas conforme o aumento da rotação do motor.

Figura 96: Resultado da simulação - IPT direção sudeste/configuração atual.

	100rpm	150rpm	175rpm	200rpm	225rpm	250rpm	275rpm	300rpm	325rpm	350rpm
γ	1,00	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50
	P0	P1	P2	P3						
U_{1m5}	4,02 m/s	3,45 m/s	3,73 m/s	4,02 m/s						

5.3.3.2. Ensaios Alterações

Para este ensaio foram trocadas as quadras atuais por possíveis alterações.

Ensaio: vento na direção Sul - COM todas as ALTERAÇÕES.

As áreas preenchidas com cores diferenciadas correspondem às áreas erodidas conforme o aumento da rotação do motor.

Figura 97: Resultado da simulação - IPT direção sul/alterações.

	100rpm	150rpm	175rpm	200rpm	225rpm	250rpm	275rpm	300rpm	325rpm	350rpm
γ	1,00	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50
	P0	P1	P2	P3						
U_{1m5}	4,02 m/s	3,45 m/s	0,00 m/s	0,00 m/s

Figura 98: Imagens registradas no término do ensaio.

Pode-se observar o acúmulo de areia em determinados pontos e os contornos ocasionados pelo arrasto dos grãos.

Para a direção sul, com todas as alterações, pode-se verificar que - com o acréscimo dos novos edifícios - houve um aumento do fluxo de ar na segunda quadra, na parte central da área, com ligeira diminuição do fluxo para a região central da terceira quadra.

Pode-se verificar, também, que - em decorrência da altura dos novos edifícios - observa-se uma movimentação do vento próximo a estes. Nota-se, ainda, a presença de efeitos de borda e canalização próximo a estes edifícios.

Ensaio: vento na direção Sudeste - COM todas as ALTERAÇÕES.

Figura 99: Resultado da simulação - IPT direção sudeste/alterações.

	100rpm	150rpm	175rpm	200rpm	225rpm	250rpm	275rpm	300rpm	325rpm	350rpm
γ	1,00	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50
	P0	P1	P2	P3						
U_{1m5}	4,02 m/s	0,00 m/s	3,45 m/s	3,73 m/s						

No ensaio direção sudeste com todas as alterações, observa-se um aumento da velocidade na área central do modelo, bem como efeitos de borda e canalização próximo aos edifícios altos.

Nota-se que pelo posicionamento dos edifícios altos nas quadras 6 e 7, há uma diminuição da velocidade do vento nas áreas a sotavento destas quadras.

Vale destacar que as figuras de erosão, para ambos os túneis, não são exatamente iguais mas mantêm uma similaridade muito próxima entre elas. Esta diferenciação, possivelmente, deve-se ao fato do tamanho do túnel de vento e a dimensão e capacidade do ventilador serem diferentes, bem como, na forma de distribuir os grãos de areia sobre a superfície do modelo.

5.3.4. Ensaios Realizados - CL (Camada Limite)

5.3.4.1. Ensaios Realizados - Anemômetro Fio Quente

Com o fio quente foram realizadas medidas de camada limite com 3 perfis de medidas de turbulência com rotações a: 200, 300 e 400 rpm, e medidas com fio quente em 4 pontos do modelo - P0 (orla da praia), P1 (edifícios), P2 (praça central) e P3 (avenidas).

Na **Figura 100** observa-se a colocação da sonda de fio quente no suporte para início do ensaio.

Figura 100: Fixação da sonda de fio quente.

Nos ensaios realizados para a obtenção dos perfis, a rotação de 300rpm demonstrou proximidade de valores de $\alpha = 0,11$; característicos de rugosidade de áreas abertas. Desta forma, os perfis obtidos para os 4 pontos no modelo foram definidos com a rotação do motor a 300rpm.

O tempo para cada medida com a sonda de fio quente foi de aproximadamente 48seg por ponto. A altura dos pontos para as medidas foi regulada sendo:

- ✓ De 0 a 20mm de 1 em 1mm;
- ✓ De 25 a 100mm de 5 em 5mm;
- ✓ De 110 a 200mm de 10 em 10mm;
- ✓ De 220 a 360mm de 20 em 20mm e;

De 400 a 480mm de 40 em 40mm, resultando em um total de 47 pontos por medida de rpm.

O ensaio com 300rpm foi realizado com os parâmetros para verificação da camada limite:

✓ $z_o = 2\text{mm}$; $T_{bs} = 24,82\text{ }^\circ\text{C}$, $T_{bu} = 19,18\text{ }^\circ\text{C}$ e $P_{atm} = 696,932\text{mmHg}$.

Nota: o valor da altura é em cm.

Gráfico 21: Gráfico 300rpm - perfil de turbulência em escala logarítma.

Para os ensaios nos 4 pontos do modelo (P0, P1, P2 e P3) adotou-se os parâmetros:

✓ $z_o = 3\text{mm}$; $T_{bs} = 25,18\text{ }^\circ\text{C}$, $T_{bu} = 21,14\text{ }^\circ\text{C}$ e $P_{atm} = 696,499\text{mmHg}$ e 300rpm.

Para o ponto P1:

Nota: o valor da altura é em cm.

Gráfico 22: Gráfico 300rpm - perfil de turbulência em escala logarítma no Ponto 1 (edifícios).

Para o ponto P2:

Nota: o valor da altura é em cm.

Gráfico 23: Gráfico 300rpm - perfil de turbulência em escala logarítma no Ponto 2 (praça central).

Para os pontos P1 e P2, verifica-se que há uma concentração maior dos pontos no início da curva, em função da presença dos edifícios a barlavento da tomada dos dados. Como verifica-se a intensidade de turbulência, pequenas alterações nos pontos da curva podem ser função das tipologias (alturas diferenciadas dos edifícios) presentes ao redor do ponto medido.

Para o ponto P3:

Nota: o valor da altura é em cm.

Gráfico 24: Gráfico 300rpm - perfil de turbulência em escala logarítma no Ponto 3 (avenidas).

Nos Gráfico 22 ao Gráfico 24 para os pontos P1, P2 e P3 observa-se que há uma mudança no perfil em função da configuração urbana. A diferença na curva entre a altura 20 a ~ 70m, demonstra a influência da rugosidade provocada pelos edifícios no perfil da camada e, que a partir da altura de 90m, o comportamento das curvas tornam-se semelhantes. Considerando uma atmosfera neutra, a influência das tipologias nesta área, se faz perceber até a cota abaixo de 90m (aproximadamente).

Foram realizadas 2 medidas ao redor do prédio mais alto na área de estudo. Uma medida foi realizada na parte da frente do edifício e outra na parte posterior.

Ensaio QUADRA 17 - vento Sul/medidas com sonda de fio quente.

Figura 101: Posicionamento das medidas de fio quente próximas ao edifício.

A sonda de fio quente foi colocada a 15mm (escala do modelo 1:1000) da parede na parte da frente e na parte posterior do edifício. As medidas ocorreram à partir de 13mm do piso do modelo em decorrência do posicionamento dos outros edifícios na

quadra de estudo. As medidas nestes pontos foram realizadas com: $z_o=13\text{mm}$; $T_{bs}=24,82^\circ\text{C}$, $T_{bu}=19,18^\circ\text{C}$, $P_{atm}=696,932\text{mmHg}$ e 300rpm.

Para o ponto na parte da frente do edifício no **Gráfico 25** observa-se que a mudança na curva ocorre em função da rugosidade - edifícios presentes no entorno, na área.

Nota: o valor da altura é em cm.

Gráfico 25: Gráfico 300rpm - perfil de turbulência em escala logarítma na parte da frente do edifício.

Para o ponto na parte posterior do edifício, **Gráfico 26** observa-se que a alteração brusca da curva dá-se pela presença do edifício. Acima do edifício (topo), a curva retoma o perfil da camada limite da cidade.

Nota: o valor da altura é em cm.

Gráfico 26: Gráfico 300rpm - perfil de turbulência em escala logarítma na parte posterior do edifício.

5.3.4.2. Ensaios Realizados - Tubo de Pitot

Para as medidas com tubo de *Pitot* e sonda de fio quente, foram retiradas as rugosidades, que estavam fixadas, com velcro no piso do túnel e os geradores de vórtices. Como a área em estudo é orla de praia, o piso do túnel sem rugosidade fornece o α de 0.11 a 0.12, para a camada limite adequados ao perfil de orla e compatíveis com a bibliografia. Os geradores de vórtice auxiliam na uniformidade do fluxo do vento e influenciam a camada limite mais próxima ao teto do túnel.

Figura 102: Piso do túnel de vento e geradores.

As medidas da camada limite com tubo de *Pitot* e fio quente, foram realizadas com 3 perfis de velocidade de rotação do motor: a 200, 300 e 400 rpm. Na **Figura 103** observa-se o posicionamento do tubo de *Pitot* sem a colocação do modelo.

Figura 103: Fixação e posicionamento do Tubo de *Pitot* para ensaio de camada limite.

Ambos os ensaios (de fio quente e *Pitot*) foram realizados com o posicionamento do equipamento centralizado a frente das quadras do modelo, como nas medidas efetuadas no LNEC.

O ensaio com 300rpm apresentou perfil semelhante para as medidas com fio quente e tudo de *Pitot*.

5.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os ensaios em túnel de vento serviram para a verificação e comprovação de que mudanças na altura e posicionamento dos edifícios, na configuração urbana, alteram o padrão de vento na área em estudo.

A decisão por alterações do solo urbano, além de envolverem a questão do padrão do escoamento do vento local, deve considerar o uso e a forma dos edifícios, áreas verdes, a disposição em relação à fatores climáticos (sol, chuvas...), bem como a capacidade da cidade (infra-estrutura) em absorver novos empreendimentos.

A verificação e o aumento da eficácia do aproveitamento do vento em áreas urbanas, mostra-se possível pela simulação em túnel de vento com os ensaios de erosão e pelas medidas com o tubo de *Pitot* e fio quente.

Os ensaios de erosão realizados no LNEC e no IPT apresentaram figuras de erosão muito semelhantes, apesar dos túneis terem características (seção, ventilador) diferentes.

Os valores de gama obtidos dos dois ensaios são muito próximos. Observou-se que, para uma mesma rotação, 300rpm, a relação entre as velocidades do ar obtidas nos túneis (gama) é de 1,73. Esta diferença pode ser em função das características diferentes dos túneis.

As medidas realizadas com sonda de fio quente (**Gráfico 21** a **Gráfico 24**), possibilitaram a verificação da influência da rugosidade da área de estudo sobre o perfil de vento. Pode-se observar que, na orla da praia, o perfil de vento

apresenta elevação mais lenta (perfil menos cheio) do que nos pontos P1, P2 e P3, onde a rugosidade dos edifícios ocasionam uma elevação mais rápida do perfil da curva (perfil mais cheio). No ponto P0 para h de 10cm (10m na escala real), observa-se o valor de velocidade da ordem de 7,5m/s.

No ponto P1 devido a presença de edifícios altos, o valor de velocidade para a mesma cota é 2,0m/s. Para o ponto P2 com a presença de edifícios mais baixos que o ponto P1, foi verificado o valor de 3,5m/s. Já para o ponto P3 com altura de edifícios mais baixos que nos demais pontos (P1 e 2), o valor encontrado foi de 4,5m/s.

Para as medidas com fio quente observadas para a quadra 17 no **Gráfico 25**, observa-se o perfil das velocidades para o ponto analisado, cujos valores representam a influência da rugosidade das quadras à frente do edifício. No **Gráfico 26**, pode-se perceber que há uma alteração brusca (aceleração no escoamento) da curva do perfil, em função da presença do edifício com o deslocamento desta na altura do topo do mesmo (aproximadamente a 80cm - escala 1:1.000).

As modificações feitas na superfície de determinadas áreas e a interação entre a ventilação natural, ditam os novos padrões de vento como pode ser observado pelos ensaios.

6. SOFTWARE CFD - *COMPUTER FLUIDS DYNAMICS*

Para a tese foram simuladas a configuração atual da área de estudo e as alterações propostas. O objetivo é utilizar o software para verificar possíveis diferenças entre a simulação e os ensaios em túnel de vento, possibilitando uma verificação do campo de velocidades.

Nesta simulação adotou-se apenas uma velocidade do ar e a direção sul - vento proveniente da orla da praia, como simulado no túnel de vento. Nos itens abaixo descreve-se os módulos que o software utiliza para simulação e as variáveis adotadas.

Vale destacar que a simulação computacional com o *CFX*, apesar de ter uma interface amigável com o usuário, requer um pouco de conhecimento dos fenômenos para utilizar adequadamente a ferramenta. Hoje, o custo de uma licença educacional está por volta de U\$2.000 e a comercial U\$28.000²⁵ e o usuário necessita de uma máquina (dependendo a simulação) com pelo menos 1,5 a 2Gb de memória. Esta tese contou com a licença disponível no LABAUT - Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Departamento de Tecnologia, FAUUSP.

6.1.1. Simulação como o Software ICEM

6.1.1.1. Modelagem 3D da Área de Estudo

Neste módulo, é possível elaborar a volumetria/modelagem 3D e inserir a malha/*mesh*.

A modelagem da volumetria é construída de forma simplificada para auxiliar na simulação (dependendo do número de elementos a simular), possibilitando uma diminuição do tempo de processamento e da capacidade da máquina utilizada para

²⁵ Informação obtida por meio da empresa ESSS - *Engineering Simulation and Scientific Software* Ltda, com sede em Florianópolis, Santa Catarina.

a simulação. A base da modelagem é em arquivo de ambiente CAD que foi importado com extensão .sat (Acis) para o *ICEM*.

Na **Figura 104** pode-se verificar os comandos para a alteração ou ajustes da modelagem 3D, bem como os comandos para a geração da malha.

Comandos para ajustes e/ou alterações necessárias no modelo importado do ambiente CAD.

Comandos para inserção de parâmetros e geração da malha.

Comandos para ajuste e refinamento da malha gerada.

Figura 104: Dialog Box com os comandos utilizados para a modelagem/*geometry* e malha/*mesh*.

Fonte: Curso ESSS - *Engineering Simulation and Scientific Software* Ltda, Florianópolis, nov. (2004).

Para a realização da simulação os menus *toolbars Geometry, Mesh, Edit Mesh* e *Output* são os utilizados para tratar a volumetria e para adequar os parâmetros da malha.

No *menu Geometry* trata-se a volumetria e criam-se as “*parts*”/condições de contorno. Na **Figura 105** observa-se a tela do software com a volumetria, a criação das *parts* e os comandos da *mesh*.

situação atual

alterações

Figura 105: Tela do ICM - alteração da modelagem.

O processo para simulação inicia-se com a criação no *CAD* do modelo em 3D com a volumetria gerada com as funções *extrude* ou *region*. Feito isso, grava-se o arquivo com extensão . sat.

No módulo ICEM, cria-se um novo projeto, importa-se a geometria (*import geometry*) em 3D e no *toolbar Geometry*, trata-se a volumetria. O primeiro passo é apagar todas as curvas, depois criam-se as *parts* no item *Part (create parts)* e apagam-se as linhas e curvas que sobraram (*delete empty parts*). As *parts* são criadas selecionando as *surfaces* desejadas para cada conjunto de superfícies.

A simulação deve ser pensada do todo para as partes. Precisa-se saber o que se quer observar e a partir daí, cria-se cada elemento com seus atributos.

Como exemplo, para esta simulação, sabendo-se que o foco da análise seria a distribuição do campo de velocidades no conjunto, foi necessário elaborar um domínio sobre o conjunto de edifícios onde cada parte possui uma função. A confecção desta caixa sobre o conjunto de edifício serve para atribuir valores que permite simular, neste caso, a distribuição do fluxo de ar sem a inserção de valores de temperatura. É como se a caixa representasse uma superfície ao redor da cidade (Figura 106).

Figura 106: Modelo 3D da área de estudo.

O software permite além do modelo de turbulência, utilizar em paralelo modelos de radiação. Novas simulações da área com dados de temperatura adotados para as superfície, poderão ser objeto de estudos futuros.

Para a simulação foram criadas as seguintes partes referentes ao modelo desenvolvido e que possuem atributos físicos diferentes para cada função na simulação:

- ✓ *Top*: topo da caixa criada ao redor do modelo das quadras. Esta caixa foi criada para serem atribuídos valores de domínio, como se o modelo estivesse dentro da seção de ensaio do túnel de vento. A dimensão da caixa tem na largura, altura e comprimento, 1 vez e meia a dimensão do maior edifício mais próximo às bordas do modelo;
- ✓ *Ground*: piso da caixa onde está inserido o modelo;
- ✓ *Predios*: todo o conjunto de edifícios do modelo;
- ✓ *Southin*: parte onde atribuiu-se valores de entrada para o modelo - velocidade e direção iniciais;
- ✓ *Westout* e *eastout*: partes laterais da caixa;
- ✓ *Northout*: parte posterior a *southin*. As partes *westout*, *eastout* e *northout* funcionam como paredes, mas permitem que o fluxo de ar possa sair e voltar ao domínio de simulação se necessário.

Após criar as *parts*, deve-se criar uma *part* e atribuir a ela um ponto material (*material point*) que deve estar inserido no domínio do modelo e, de preferência, no meio deste. É a partir deste ponto que a malha se desenvolverá.

6.1.1.2. Geração da Malha - Mesh

No *menu Mesh* definem-se os parâmetros da malha (parâmetros globais e por superfícies/*parts*). No item *global mesh parameters* é possível inserir os valores básicos para a definição da malha. Estes valores referem-se a escala da *mesh* e que para esta simulação foram: 1 para o *scale factor*, 40 para o *global element scale factor*, 10 para o *max element* e um fator de *natural size* de 0.4, sendo que para estes valores foi criada uma *mesh* com 300.000 tetraedros. O valor de *natural size* é o tamanho mínimo que os elementos irão atingir, baseados numa divisão

automática considerando a proximidade das curvaturas e tipologias do modelo. Após atribuir todos os valores, gera-se a malha e no *menu Edit Mesh* edita-se a malha se necessário.

A malha em um modelo pode possuir vários tamanhos conforme o nível de detalhamento a observar. Para tal, é preciso dispor de um computador com capacidade de memória, processador, placa de vídeo, compatível com a simulação. Na **Figura 107** observa-se a malha gerada para a simulação.

Figura 107: Mesh aplicada ao modelo 3D da área de estudo.

6.1.2. Simulação com o Software CFX

O software é composto de 3 partes: *Pre-processing*, *Solver* e *Post-processing*:

- ✓ *CFX-Pre*: define os parâmetros físicos a serem aplicados a malha;
- ✓ *CFX-Solver Manager*: verifica e monitora a convergência dos parâmetros em simulação;
- ✓ *CFX-Post Processing*: define imagens, verifica resultados e elabora dados de saída (gráficos, imagens, filmes,...).

6.1.2.1. Módulo CFX Pre

Define os modelos físicos, as propriedades dos materiais e as condições de contorno. Abaixo, verifica-se os comandos para definir os parâmetros que devem ser seguidos de acordo com os ícones da caixa de diálogo.

<i>Steady State / Transient</i> - regime permanente ou transiente
<i>Domains</i> - define as propriedades do domínio(s): fluidos e/ou sólido
<i>Sub-Domains (Optional)</i> - usa-se para criar sub-domínios
<i>Source Points (Optional)</i> - define detalhes e localização de pontos
<i>Boundary Conditions</i> - define as condições de contorno atribuídas as <i>parts</i>
<i>Domain Interfaces (Optional)</i> - define o período, sólido/fluido, fluido/fluido
<i>Global Initialisation</i> - define condições iniciais para casos pré-iniciados
<i>Mesh Adaption (Optional)</i> - define a adaptação/refino da malha
<i>Solver Control</i> - controle de convergência, critérios e esquemas
<i>Output Control (Optional)</i> - define a saída dos dados para o solver
<i>Save Solver File</i> - grava informações para o Solver

Figura 108: Comandos para definição de parâmetros físicos.

Fonte: Curso ESSS - *Engineering Simulation and Scientific Software* Ltda, Florianópolis, nov. (2004).

Basicamente para a simulação foram realizados os seguintes passos: *import mesh*, *domains*, *boundary conditions*, *initialisation*, *solver control* e *save solver file*.

Para a simulação computacional define-se os domínios/superfícies onde adotou-se parâmetros especificados:

- ✓ *Domain models*: utilizado para o domínio total (*assembly*), *fluid domain* (air at 25 °C), pressão 1 atm, *non buoyant*, regime *stationary* e *fluid models* (*k-Epsilon*)
- ✓ *Boundary conditions*:
 - *Top*: definiu-se como *wall* e *boundary details* - *free slip* (superfície sem atrito);
 - *Ground*: definiu-se como *wall*, *boundary details* - *no slip* (superfície com atrito) e *rough wall* (parede rugosa 0,01m);
 - *Predios*: definiu-se como *wall*, *boundary details* - *no slip* (superfície com atrito) e *smooth wall* (parede lisa);
 - *Southin*: definiu-se como *inlet*, *boundary details* - *subsonic* com componentes cartesianos e *normal speed* (valor adotado 2,8m/s);
 - *Westout*, *eastout* e *northout*: definiu-se como *opening*, *boundary details* - *subsonic* com *pressure and direction* (0 Pa).
- ✓ *Initialisation*: definiu-se como *global settings* (parâmetros globais) alguns valores no módulo *Equation*, onde foram adotadas algumas variáveis em forma de equações. O valor para *static pressure* (pressão estática *pref* 1.010Pa - medida *in loco*), o valor da *initial conditions/velocity* (adotou-se normal a *boundary condition* - *southin*, com valor definido pela variável *speed*: 2,8m/s a 10m - medida *in loco*). *Solver control*: adotou-se - *high resolution* (resolução alta) e *auto timescale* (escala automática de tempo de 200 interações/*loop*).

Figura 109: Tela módulo PRE - definição de parâmetros de simulação.

6.1.2.2. Módulo CFX Solver Manager

Utiliza os parâmetros e as equações definidas no *Pre* para produzir os resultados da simulação. Neste módulo é possível monitorar os cálculos, os balanços globais, os pontos definidos para verificação de valores calculados, expressões, etc. Na Figura 110, observa-se o processo de cálculo e verificação de parâmetros.

Figura 110: Modelo de tela para acompanhamento da simulação.

Fonte: Curso ESSS - *Engineering Simulation and Scientific Software* Ltda, Florianópolis, nov. (2004).

6.1.2.3. Módulo CFX Post

O módulo *Post*, possibilita a quantificação e visualização dos resultados do Solver. Para a visualização pode-se criar objetos em pontos diferentes do modelo como: pontos, linhas, planos, etc; que permitem verificar o resultados em locais diferentes no modelo.

É possível plotar nos objetos criados, contornos, vetores, planos coloridos, etc e ainda, exportar dados e arquivos para análises externas ao *software*. Pode-se também, produzir pequenas cenas ou filmes para apresentação.

Figura 111: Tela módulo POST - visualização da simulação.

Na **Figura 112** observa-se um exemplo da utilização do *Post*, mostrando vetores de velocidade utilizados para demonstrar o fluxo de ar. Estes vetores podem, também, serem plotados para valores de temperaturas, pressão, etc.

Nesta imagem verifica-se o fluxo de vento incidindo sobre o edifício, ocasionando vórtices na fachada frontal e posterior. Pode-se observar também, como o fluxo percorre sobre os edifícios mais baixos até encontrar uma barreira.

No **Figura 113** verifica-se como o *CFX* trabalha os diretórios para arquivo dos resultados gerados. Vale destacar que o(s) diretório(s) e sub-diretório(s) de trabalho do *CFX* não devem conter nomes separados por hífen (-), pois não são reconhecidos pelo software.

Figura 112: Imagem - utilização do Post.

Figura 113: Arquivos do software.

Fonte: Curso ESSS - *Engineering Simulation and Scientific Software* Ltda, Florianópolis, nov. (2004).

6.1.2.4. Definição dos Pontos para Análise da Área de Estudo

Para a visualização dos resultados, foram produzidas imagens para possibilitar a verificação dos pontos medidos e do campo de velocidades presentes na situação atual e com as alterações.

Vale destacar que esta simulação foi elaborada para verificar a aplicabilidade do uso desta ferramenta em simulações no meio urbano.

6.2. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO SOFTWARE CFX

Para a avaliação da aplicação do software na área de estudo, foram elaboradas imagens dos resultados a 50m, a 10m e a 1,5m do piso.

Quanto às análises destas imagens para as partes laterais do modelo, os resultados podem não ser corretos, pois na escala real teríamos a rugosidade e os elementos urbanos presentes nesta área. Como o estudo foi apenas para a área limitada pelas avenidas e pelos canais, não foram consideradas as configurações urbanas presentes nas áreas adjacentes.

Nas imagens a 50m é possível observar o campo de vento sobre a área em estudo, utilizando para simulação atual representação com *streamline*, e para a alteração com vetores.

Figura 114: Resultados CFX - 50m (atual).

No resultado do modelo com a situação atual (**Figura 114**), observa-se o campo de vento sobre a área de estudo com as velocidades obtidas pelos cálculos, utilizando o valor de 2,8m/s para o ponto a 10m. Nota-se, na quadra 17, a influência do edifício no desvio do fluxo incidente na área em análise.

Figura 115: Resultados CFX - 50m (alteração).

No resultado do modelo com alterações (**Figura 115**), observa-se a mudança do padrão de vento em função do posicionamento dos novos edifícios.

Nota-se que há uma aceleração do fluxo, próximo aos novos edifícios, bem como efeitos de borda ou canto ao redor dos mesmos. Verifica-se também, turbilhonamentos na parte posterior (zonas de baixa pressão) dos edifícios mais altos. É possível perceber, entre os edifícios mais próximos, efeitos de canalização entre eles com a aceleração da velocidade.

Figura 116: Resultados CFX - 10m (atual).

No resultado a 10m (**Figura 116**) para a situação atual, verifica-se a disposição do fluxo na área de estudo e é possível observar efeitos de borda e canalização em partes centrais do modelo. Nota-se que na imagem com *streamline* verifica-se o “caminho” que o fluxo percorre a área simulada, demonstrando em alguns momentos, vórtices próximos à áreas de edifícios altos e zonas de baixa pressão.

Figura 117: Resultados CFX - 10m (alteração).

Com as alterações o resultado a 10m (**Figura 117**) apresenta uma configuração do fluxo diferenciada, e aceleração do vento em partes centrais da área. Nota-se que com o acréscimo destes elementos, ocorreu uma melhor distribuição do fluxo pelos edifícios. É possível constatar efeitos de canalização (aceleração do fluxo) entre os edifícios, efeitos de borda e vórtices em decorrência do posicionamento e dimensão dos mesmos.

Figura 118: Resultados CFX - 1m5 (atual).

Figura 119: Resultados CFX - 1m5 (alterações).

No resultado a 1,5m para a situação atual (**Figura 118**), observam-se valores da ordem de 0 a 1,0m/s nos pontos analisados. Verifica-se velocidades da ordem de 1 a 1,5m/s nas avenidas e entre os edifícios em configuração de laminas.

Para o resultado a 1,5m com as alterações (**Figura 119**), com a inserção dos edifícios, nota-se uma melhor distribuição do campo de velocidades. Acontecem, também, efeitos de borda ao redor dos edifícios, bem como uma aceleração em partes das áreas próximas aos edifícios de maior porte, onde observa-se uma intensificação dos vetores.

Figura 120: Resultados CFX - 1m5 e a 10m: planta dos pontos das medições.

No resultado da **Figura 120** observa-se o fluxo de ar nos pontos medidos *in loco* para 1,5m do piso. Os valores encontrados para os pontos P1, P2 e P3 foram da ordem de 0 a 0,5m/s, próximo aos valores encontrados nas medidas de campo.

Observa-se velocidades de 2,8m/s utilizadas na simulação, no resultado a 10m no ponto P0. Para a representação com *streamline* é possível verificar a intensidade e o percurso do vento.

7. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO DOS USUÁRIOS - PEDESTRES

Para a avaliação das condições de conforto dos usuários/pedestres em pontos específicos da área de estudo (medidos *in loco*) foi necessário adotar um modelo que expressasse as características fisiológicas e não de conforto. Optou-se por este modelo, em decorrência do fato que os índices de conforto abordam questões subjetivas de sensações do usuário, que dependem de variáveis culturais, sociais, psicológicas, etc. Como este não era o foco desta pesquisa e sim uma análise com dados coletados *in loco*, optou-se por um indicador fisiológico.

Segundo Alucci (2005), como no Brasil não existem índices de conforto subjetivos para a população brasileira, provavelmente o fato de um usuário estar em neutralidade térmica, não significará que sua sensação seja de conforto. Mas, com certeza, sua máquina térmica estará em equilíbrio.

A aplicação de um índice de neutralidade tem como objetivo a verificação da classificação de HL (*Heat load in man*²⁶), com a utilização de dados climáticos.

O modelo adotado para verificação das condições dos usuários em pontos da área de estudo levou em consideração equações propostas por Blazejczyk (2004) e Kuwabara et al (2002) e que Alucci (2005) organizou em um software denominado *TENSIL* para um projeto de pesquisa do CNPq. Este software foi validado para medidas em campo realizadas no projeto de pesquisa.

Os dados climáticos aplicáveis ao índice foram os medidos *in loco*. Os valores de temperatura e umidade relativa do ar foram fixados e o valor da velocidade do ar foi alterado, possibilitando verificar a influência desta velocidade.

Vale destacar que a aplicação deste índice é uma primeira abordagem do assunto, cabendo tanto um desenvolvimento maior deste índice quanto a alteração de outros parâmetros.

²⁶ Carga de calor no homem - tradução do autor.

Para esta verificação foi considerado que o usuário está exposto a céu aberto. Futuramente, poderá ser desenvolvido ou aprimorado o cálculo para considerar o usuário no meio urbano (*canyon*). Desta forma, os dados medidos *in loco* para os pontos P1 e P2, poderão ser dados de *input* para a calibração da metodologia a ser desenvolvida.

7.1. MODELO PARA CÁLCULO DE NEUTRALIDADE PARA A ÁREA DE ESTUDO E PARÂMETROS A SEREM ADOTADOS

De acordo com Alucci (2005), o modelo teórico para avaliação das condições de conforto térmico dos usuários em espaços abertos é basicamente o balanço termofisiológico entre o corpo humano e o entorno. Para equacionar tal balanço foi utilizado o modelo proposto por Blazejczyk (2004) que foi aplicado no desenvolvimento do software Menex_2002.

O modelo pressupõe, basicamente, que se o usuário está em espaço aberto (céu aberto), sua “maquina térmica” deve permanecer em equilíbrio. Ou seja, a soma total de ganhos e perdas de calor deve ser idealmente zero, ou um valor que não submeta o corpo humano a nenhum tipo de estresse térmico, por frio ou calor. A equação geral que expressa tal balanço, e que foi adotada por Alucci et al (2005; 2004), é:

$$S = M + Q + C + E + R_{es} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{Equação 9}$$

Onde :

S: calor acumulado no corpo (W/m²)

M: calor metabólico produzido pelo corpo, função da atividade (W/m²)

Q: balanço de radiação solar com o corpo(W/m²) que é obtido pela equação:

$$Q = L + R \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

L : troca por onda longa (W/m^2)

R : ganho por onda curta (W/m^2)

C : troca de calor por convecção (W/m^2)

E : perda de calor por evaporação (W/m^2)

R_{es} : perda de calor pela respiração (W/m^2)

Figura 121: Balanço térmico entre o usuário e o meio ambiente.

Fonte: Alucci, 2005.

A **Figura 121** representa o balanço térmico e indica a interação entre as características do indivíduo (atividade, tipo e cor da roupa, etc), as características do meio (albedo e emissividade das superfícies, existência de obstruções que determinam áreas sombreadas) e as condições climáticas locais (radiação solar direta, difusa e refletida, temperatura e umidade do ar, pressão de vapor, pressão atmosférica e velocidade do vento).

7.1.1. Cálculo do Calor Metabólico: M

A atividade metabólica do usuário é função da atividade física, podendo-se utilizar os dados estimados a partir da ISO8996 (1990), como consta na Tabela 23:

Atividades	Eficiência mecânica (W)	M (W/m ²) Metabolismo
Sentado	0	58
em pé	0	69.6
andando a 0,9 m/s	0	116
andando a 1,4 m/s	0	150.8
andando a 1,8 m/s	0	220.4
Jogando	0	348
subindo rampa 5%	0.07	145
subindo rampa 15%	0.15	168.2
subindo rampa 20%	0.2	208.8

Tabela 23: Valores de metabolismo e eficiência mecânica (ISO 8996)

Fonte: ISO 8996 (1990).

Para a aplicação do modelo à área de estudo, será considerada a atividade (andando a 0,9m/s) e o valor do Metabolismo igual a 116 (W/m²).

7.1.2. Cálculo do Balanço de Radiação

Para a determinação do balanço de radiação entre o usuário e o meio adotou-se o modelo proposto por Kuwabara apud Alucci (2005), que é dado por: $Q = L + R$ (W/m²).

Como exemplo adotou-se o valor de Q para a equação de balanço considerando:

- Q para o usuário na orla da praia com TER (temperatura radiante efetiva) considerando o piso e o céu: usuário ao sol.

7.1.2.1. Troca Térmica por Onda Longa (L) e Troca Térmica por Onda Curta (R)

Esta troca de calor ocorre sempre que dois corpos encontram-se em temperaturas diferentes. No caso do usuário exposto a céu aberto, as trocas acontecem entre:

1. o corpo humano e o fundo de céu (atmosfera)
2. o corpo humano e o piso

No caso em que o usuário se encontre sob uma cobertura, deve ser considerada a troca com a atmosfera (parte de céu visível) e parte com a superfície que corresponde à área da cobertura.

Como buscou-se verificar se o usuário está em neutralidade térmica, foi avaliado o cenário:

1. o usuário a céu aberto - orla da praia.

Vale destacar que o usuário é o foco de todo o balanço. Para o cálculo da troca resultante por radiação de onda longa (L) e curta (R) entre o usuário e seu entorno, adotou-se as seguintes equações:

$$Q_{orla} = \varepsilon_{pele} * \sigma * (T_{pele}^4 - TER_{orla}^4) * f_{ref} * f_{cl} \quad (W/m^2) \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

Q_{orla} : troca resultante da radiação de onda longa e curta. Este valor é representativo do usuário ao sol na orla da praia, trocando calor com o piso e o céu.

ε_{pele} : emissividade da pele (0,97)

σ : Constante de Boltzman ($5,67 \cdot 10^{-8}$)

TER_{orla} : temperatura radiante efetiva na orla a céu aberto (K)

f_{ref} : área de radiação efetiva do usuário = 0.71 (ALUCCI, 2005)

f_{cl} : fator de área vestida do corpo (segundo ISO 9920, 1995)

$$f_{cl} = 1 + 0.31 + I_{cl} \quad \text{Equação 12}$$

I_{cl} : resistência térmica das roupas: foi adotado o valor de 0,40 (camisa manga curta, bermuda e chinelo)²⁷

O valor do I_{cl} ²⁸ isolamento térmico da roupa (resistência térmica em clo) pode ser obtido na **Tabela 24** para alguns tipos de configuração de roupa:

Vestimenta	I_{cl} (clo)
Calça feminina tecido pesado	0,44
Camisa de manga curta tecido leve	0,14
Camisa de manga longa tecido leve	0,22
Calça masculina em tecido leve	0,26
Bermuda	0,15
Suéter tecido pesado	0,37
Jaqueta masculina tecido pesado	0,49
Sapato tradicional	0,04
Bota	0,08

Tabela 24: Exemplo de valores de resistência térmica das roupas (ISO 8996, 1990)

Fonte: ISO 8996 (1990).

T_{pele} : temperatura absoluta da pele (K)

$$T_{pele} = (26,4 + 0,02138 * M_{rt} + 0,2095 * t_{ar} - 0,0185 * UR - 0,009 * v_{ar}) + 0,6 * (I_{cl} - 1) + 0,00128 * M$$

(W/m²)

Equação 13

Onde:

M_{rt} : temperatura radiante média (°C) para a orla (radiação no plano horizontal)

Os dados de radiação (**Tabela 25**) foram adotados para o mês de março para os horários das 9:00, 12:00 e 15:00hs, (FROTA & SCHIFFER, 1995).

²⁷ ISO 8996, 1990.

²⁸ Blazejczyk (2002) sugere a relação $I_{clo} = 2.1455 - 0.0618 * t_{ar}$ para indicar como o usuário adequa a roupa à temperatura do ar.

	Plano horizontal
Radiação (W/m²)	9H e 15H
Rdir	695
Rdif	116
Rglobal	811
Rrefl	(1-α*Rglobal)
	Plano horizontal
Radiação (W/m²)	12H
Rdir	1012
Rdif	126
Rglobal	1138
Rrefl	(1-α*Rglobal)

Tabela 25: Valores de Radiação para o plano horizontal.

Fonte: Frota e Schiffer (1995).

t_{ar} : temperatura do ar (°C)

UR : umidade relativa do ar (%)

v_{ar} : velocidade do ar (m/s) a 1,2m do piso

M : metabolismo (W/m²)

$$M_{rt} = \left[\frac{1}{I_{rc}} * \frac{R_{global}}{(5,39 * 10^{-8})} + (273 + t_{ar})^4 \right]^{0,25} - 273 \quad (\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad \text{Equação 14}$$

R_{global} : radiação global (W/m²)

I_{rc} : coeficiente de redução de transferência do calor devido à roupa

$$I_{rc} = \frac{h'_{cpessoa}}{h'_{cpessoa} + h_{cpessoa} + 4 * \epsilon p * \sigma * T_{ar}^3} \quad (\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad \text{Equação 15}$$

$$h'_{cpessoa} = \frac{(0,013 * P_{at} - 0,04 * t_{ar} - 0,503) * 0,53}{[I_{cl} * (1 - 0,27 * v_{rel}^{0,4})]} \quad (\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad \text{Equação 16}$$

$$h_{cpessoa} = (0,013 * P_{at} - 0,04 * t_{ar} - 0,503) * (v_{rel}^{0,4}) \quad (\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad \text{Equação 17}$$

Onde:

P_{at} : pressão atmosférica do ar (hPa)

t_{ar} : temperatura do ar (°C)

v_{rel} : velocidade relativa do ar (m/s)

$$v_{rel} = v_{ar} + v_{us} \text{ m/s} \quad \text{Equação 18}$$

Onde:

v_{ar} : velocidade do vento (m/s)

v_{us} : velocidade do usuário (m/s)

$$v_{us} = 0,0052 * (M - 58) \quad \text{m/s}^{29} \quad \text{Equação 19}$$

TER : temperatura radiante efetiva (K)

A temperatura radiante efetiva é calculada levando-se em consideração o cenário adotado: **orla da praia**

Neste caso o usuário/pedestre encontra-se em espaço aberto e o balanço termo-fisiológico se dá entre o corpo e o entorno (céu e piso).

$$TER_{orla} = \left(0.5 * T_{céu}^4 + 0.5 * T_{piso}^4 + \left(\frac{(R)}{(\epsilon_{pele} * \sigma * f_{ref} * f_{cl})} \right) \right)^{0.25} \quad (K) \quad \text{Equação 20}$$

Onde:

$$T_{céu} = T_{ar} * \left[(0,8 + ((T_{dp} - 273) / 250)) \right]^{0.25} \quad (K) \quad \text{Equação 21}$$

Duffie & Beckman (1980)

ou

$$T_{céu} = \left[(0,82 - 0,25 * 10^{(-0,094 * vp)}) * (T_{ar}^4) \right]^{0.25} \quad (K) \quad \text{Equação 22}$$

Blazejczyk (2002)

$T_{céu}$: temperatura do céu (K)

²⁹ Cálculo recomendado pela ISO 7933

O cálculo utilizado para a $T_{céu}$ foi o proposto por Bliss citado por Duffie & Beckman (1980), que segundo Alucci (2005) mostrou-se ser mais coerente com dados de medidas em campo.

R : ganho por onda curta (W/m^2)

T_{dp} : temperatura absoluta de ponto de orvalho

$$T_{dp} = C_3 * \frac{[L_n(RH) + C_1]}{\{C_2 - [L_n(RH) + C_1]\}} \quad (K) \quad \text{Equação 23}$$

Onde:

$$C_1 = \frac{C_2 * t_{ar}}{(C_3 + t_{ar})} \quad \text{Equação 24}$$

$C_2 = 17,08085$

$C_3 = 234,175$

RH : umidade relativa (decimal entre 0 e 1)

T_{ar} : temperatura do ar (K)

T_{piso} : temperatura absoluta do piso (K)

O cálculo utilizado para a T_{piso} foi o proposto por Blazejczyk (2004), considerando-se $n < 80\%$ e $t_{ar} \geq 0^\circ C$.

$T_{piso} = t_{ar}$ para nebulosidade (n) $\geq 80\%$

$T_{piso} = 1,25 * t_{ar}$ para $n < 80\%$ e $t_{ar} \geq 0^\circ C$

$T_{piso} = 0,90 * t_{ar}$ para $n < 80\%$ e $t_{ar} < 0^\circ C$

- Cálculo para o f_p : fator de área projetada

Segundo Alucci (2005) o fator de área projetada (f_p), segundo Fanger (1970), expressa a parcela do corpo do usuário que recebe a radiação direta. O valor dessa variável é função da posição do usuário (sentado ou em pé) e da localização do sol

(altura e azimute em relação ao usuário). Para a determinação de f_p , podem ser utilizados os gráficos abaixo.

Figura 122: Ábaco para determinação do fator de área projetada (f_p) com usuário em pé.

Fonte: Alucci, 2005.

Figura 123: Ábaco para determinação do fator de área projetada (f_p) com usuário sentado.

Fonte: Alucci, 2005.

Para os pontos em análise, dado os horários medidos, os valores referentes ao f_p estão na tabela abaixo e referem-se a um valor médio da curva do ábaco para determinação do f_p para usuário em pé.

hora/ponto medido	altura em graus	f_p
9:00Hs/P0	34,4°	0,25
12:00Hs/P3	57,8°	0,18
15:00Hs/P3	36,7°	0,23

7.1.2.2. Cálculo de Troca Térmica por Onda Curta: R

Para o cálculo da parcela de calor absorvida pelo usuário, baseado em dados empíricos, Blazejczyk (2002) sugere métodos distintos considerando a disponibilidade de valores de radiação solar. Se somente os valores de radiação

solar global são conhecidos, em função da nebulosidade (n) e altura do sol (h), a troca radiativa por onda curta pode ser estimada por:

Se $h \leq 10$ graus

$$R = 1,4 * R_{global} (0,546 - 0,224 * L_n(h)) * (1 - 0,01 * alb) * I_{rc} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{Equação 25}$$

Se $h > 10$ e $0 \leq n \leq 20\%$

$$R = 1,4 * R_{global} (2,764h^{(-0,694)}) * (1 - 0,01 * alb) * I_{rc} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{Equação 26}$$

Se $h > 10$ e $20\% > n > 90\%$ - adotado para o cálculo

$$R = 1,4 * R_{global} \left(\frac{0,04 + 5,166}{h} \right) * (1 - 0,01 * alb) * I_{rc} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{Equação 27}$$

Se $h > 10$ e $n \geq 90\%$

$$R = 1,4 * R_{global} (0,0013 + 0,033L_n(h)) * (1 - 0,01 * alb) * I_{rc} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{Equação 28}$$

Onde:

R_{global} : radiação solar global (W/m²)

alb : albedo da roupa do usuário (decimal) - adotou-se 0,25.

h : altura do sol (graus)

n : nebulosidade (0 a 10). Adotou-se o valor de 0,6 para nebulosidade com base no software *Climaticus* (Alucci, 2003).

Para os valores de cálculo adotou-se a equação referente a $h > 10$ e $20\% > n > 90\%$. Na **Tabela 26** encontram-se os valores de altura solar em função das horas das medições.

hora/ponto medido	altura em graus
9:00Hs	34,4°
12:00Hs	57,8°
15:00Hs	36,7°

Tabela 26: Valores de altura do sol, referentes aos dia 13/04/2005 - medidas *in loco*.

7.1.2.3. Cálculo da Troca Térmica por Convecção: C

Para os cálculos de troca térmica por convecção, perda de calor por evaporação e respiração adotou-se as formulações matemáticas propostas por Blazejczyk (2004).

A troca térmica por convecção leva em consideração a velocidade do vento, na variável I_{rc} , onde adotou-se valores obtidos pelas medidas *in loco*.

$$C = h_{cpessoa} * (t_{ar} - t_{pele}) * I_{rc} \quad \text{Equação 29}$$

Sendo:

C : troca térmica por convecção (W/m^2)

$h_{cpessoa}$: coeficiente de troca superficial por convecção

7.1.2.4. Cálculo da Perda de Calor por Evaporação: E

Para o cálculo da perda de calor por evaporação, adotou-se as seguintes equações Blazejczyk (2004):

$$E = h_e * (v_p - esk) * w * I_e - [0,42 * (M - 58) - 5,04] \quad \text{Equação 30}$$

Sendo:

E : perda de calor por evaporação (W/m^2)

h_e : coeficiente de perda evaporativa

v_p : pressão de vapor (hPa)

$$h_e = [t_{ar} * (0,00006 * t_{ar} - 0,00002 * P_{at} + 0,011) + 0,02 * P_{at} - 0,773] * \left\{ \frac{0,53}{I_{cl} * [1 - 0,27 * (v_{rel})^{0,4}]} \right\}$$

Equação 31

$$esk = \exp^{(0,058 * t_{pele} + 2,003)} \quad \text{Equação 32}$$

$$w = \frac{1,031}{(37,5 - t_{pele})} - 0,065 \quad \text{Equação 33}$$

P_{at} : pressão do ar (hPa)

w : taxa de pele coberta por suor (valores entre 0 e 1)

v_{rel} : velocidade relativa do ar (m/s)

Para: $t_{pele} > 36,5^{\circ}\text{C}$ $w=1,0$
 $t_{pele} < 22^{\circ}\text{C}$ $w=0,001$

$$I_e = \frac{h'_c}{(h'_c + h_c)} \quad \text{Equação 34}$$

I_e : coeficiente de troca convectiva “corrigida”

7.1.2.5. Cálculo da Perda de Calor pela Respiração: R_{es}

Para o cálculo da perda de calor por respiração, adotou-se as seguintes equações Blazejczyk (2004):

$$R_{es} = 0,0014 * M * (t_{ar} - 35) + 0,0173 * M * (0,1 * v_p - 5,624) \quad \text{Equação 35}$$

Sendo:

t_{ar} : temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)

v_p : pressão parcial de vapor (hPa)

$$v_p = \left(\frac{UR}{100} \right) * p_{vs} \quad \text{Equação 36}$$

p_{vs} : pressão de vapor saturante do ar (hPa) (ISO 7726, 1998, pp.38-39)

$$p_{vs} = 6,11 * \exp \left(\frac{17,27 * t_{ar}}{(t_{ar} + 273)} \right) \quad \text{Equação 37}$$

M : calor metabólico produzido pelo corpo, função da atividade (W/m^2)

7.2. ÍNDICE HL

O HL (*Heating Load*) depende dos valores de S (calor acumulado no corpo), E (perda de calor por evaporação) e R (ganho por onda curta).

Para:

- $S \leq 0$ e $E \geq -50$

$$HL = \left[\left(\frac{S + 360}{360} \right) \right]^{\left[\frac{2-1}{(1+R)} \right]}$$

Equação 38

- $S > 0$ e $E \geq -50$

$$HL = \left[\left(\frac{S + 360}{360} \right) \right]^{\left[\frac{2+1}{(1+R)} \right]}$$

Equação 39

- $S \leq 0$ e $E \leq -50$

$$HL = \left(\frac{E}{-50} \right) \left[\left(\frac{S + 360}{360} \right) \right]^{\left[\frac{2-1}{(1+R)} \right]}$$

Equação 40

- $S > 0$ e $E \leq -50$

$$HL = \left(\frac{E}{-50} \right) \left[\left(\frac{S + 360}{360} \right) \right]^{\left[\frac{2+1}{(1+R)} \right]}$$

Equação 41

A classificação segundo Blazejczyk (2002) para o HL é:

$HL \leq 0,810$	frio extremo (FE)
$0,810 < HL \leq 0,930$	frio moderado (FM)
$0,930 < HL \leq 1,185$	neutralidade (N)
$1,185 < HL \leq 1,600$	calor moderado (CM)
$1,600 > HL$	calor extremo (CE)

7.3. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO ÍNDICE HL

A aplicação do HL considerou o valor de Q para o usuário na orla da praia com *TER* (temperatura radiante efetiva) considerando o piso e o céu: usuário ao sol. Os parâmetros climáticos (temperatura do ar (t_{ar} em °C), velocidade do ar (v_{ar} em m/s) e umidade relativa (*UR* em %)) utilizados para avaliação foram os valores obtidos nas medidas de campo a 10m.

	Vel _{orla10m}	Temp _{orla10m}	UR _{orla10m}	HL	classificação
Dia 12/9H	2,1	32,4	62	2,15	CE - calor extremo
Dia 12/12H	2,8	32,1	75	2,55	CE - calor extremo
Dia 12/15H	2,6	30,6	82	2,81	CE - calor extremo

	Vel _{orla10m}	Temp _{orla10m}	UR _{orla10m}	HL	classificação
Dia 13/9H	4,5	27,3	89	2,03	CE - calor extremo
Dia 13/12H	3,0	28,2	85	2,40	CE - calor extremo
Dia 13/15H	2,8	27,9	86	2,66	CE - calor extremo

	Vel _{orla10m}	Temp _{orla10m}	UR _{orla10m}	HL	classificação
Dia 14/9H	1,4	28,5	70	2,11	CE - calor extremo
Dia 14/12H	4,7	29,4	69	2,20	CE - calor extremo
Dia 14/15H	5,3	28,2	79	2,46	CE - calor extremo

Os valores utilizados de radiação estão na Tabela 25 - para as 9h (R_{global} : 811W/m², R_{direta} : 695W/m² e R_{difusa} : 116W/m²) e para as 12 e 15h (R_{global} : 1138W/m², R_{direta} : 1012W/m² e R_{difusa} : 126W/m²).

P_{at} (pressão atmosférica): 1010 hPa

Tabela 27: Valores médios para os 3 horários das medidas *in loco*, a 10m, para o P0 (orla da praia), para os 12, 13 e 14 de abril/2005.

Com a diferença de temperatura (Δt), conforme aumenta a temperatura do ar, o usuário fica com mais calor porque a temperatura da pele do usuário é menor que a do ar. Nestas análises, o vento é específico para a sensação do usuário.

A altas temperaturas o vento não é desejável, pois a temperatura do ar é maior que a da pele do usuário. Conforme o vento vai aumentando, vai piorando o grau de conforto porque a temperatura do ar é maior que a da pele, e o usuário passa a

ganhar calor do meio. Neste caso o usuário precisa se proteger do sol, buscando lugares onde ele se sinta mais agradável - sombras de árvores, marquises, etc.

No caso da **Tabela 27**, conforme aumenta a velocidade do ar o usuário tem a sensação térmica tendendo à neutralidade (mais frio). Quando a temperatura do ar é menor que a temperatura da pele do usuário, este começa a perder calor para o meio.

	Vel _{orla10m}	Temp _{orla10m}	UR _{orla10m}	HL	classificação
Maior temperatura com radiação	6,7	37,8	37	5,64	CE - calor extremo
	2,8			5,03	CE - calor extremo
	0,0			2,55	CE - calor extremo
Menor temperatura com radiação	6,7	27,2	88	0,94	N - neutralidade térmica
	2,8			0,98	N - neutralidade térmica
	0,0			1,14	N - neutralidade térmica
Menor temperatura sem radiação	6,7	27,2	88	2,19	CE - calor extremo
	2,8			2,37	CE - calor extremo
	0,0			2,70	CE - calor extremo

Para os valores de radiação da **Tabela 25**.

P_{at} (hPa - pressão atmosférica): 1010

Tabela 28: Valores mais altos e mais baixos de temperatura e velocidade do ar das medidas *in loco*, a 10m, para o P0 (orla da praia) - dias 12, 13 e 14 de abril/2005.

No caso da **Tabela 28**, quando há presença de mais vento o usuário passa a ficar em desconforto porque a temperatura do ar é mais alta que a da pele, e o usuário passa a ganhar calor do meio. Mais vento é desejável quando a temperatura do ar é menor que a do usuário e ele passa a perder calor para o meio.

O efeito do vento é o mesmo, sendo que com a presença de radiação o efeito do vento não é suficiente para remover o calor e conseqüentemente, o usuário não perde calor para o meio, tendo uma sensação de desconforto ocasionada pelo calor.

8. CONCLUSÕES

O clima da cidade é a forma mais evidente de modificação climática inadvertidamente provocada pelo homem, (LOPES, 2003, f.323).

As medidas de campo foram essenciais para a compreensão das condições climáticas da área de estudo na cidade de Santos.

Os valores de velocidade, temperatura do ar e umidade relativa foram utilizados na aplicação do índice de neutralidade, onde a variação da velocidade foi alterada para a verificação da sensação percebida pelo usuário.

Pode-se observar que, para as condições climáticas de Santos, os usuários - para se sentirem em neutralidade ou possivelmente confortáveis - precisam se proteger da radiação direta. O sombreamento de áreas externas poderia ser um artifício a ser contemplado mas que não foi foco deste estudo.

A escolha destas ferramentas e a justaposição dos resultados demonstrou ser uma metodologia viável para a análise da condição de ventilação natural, no nível do usuário/pedestre.

A decisão pela escolha das ferramentas adotadas foi em função da aplicabilidade destas para avaliação de parâmetros específicos no decorrer da pesquisa. O *software Wa^sp*, por exemplo, foi escolhido por possibilitar a verificação das velocidades do vento e suas frequências de ocorrência em pontos específicos da área de estudo, a partir da transposição de informações contidas num banco de dados climáticos medidos em localidade próxima.

Para a simulação utilizando o *software Wa^sp* poderiam ter sido testadas outras rugosidades e a inserção de novos obstáculos (edifícios isolados), bem como a verificação de outros pontos para análise na área de estudo. Estudos mais aprofundados com esta ferramenta poderão ser elaborados futuramente.

Os ensaios realizados em túnel de vento permitiram comprovar a hipótese em questão: a altura dos edifícios e sua posição influenciam a distribuição do vento no tecido urbano.

Vale destacar que, para a área em questão, os resultados obtidos só são válidos para as condições de ensaio: edifícios novos, posicionamento destes nas quadras escolhidas e forma geométrica. Quaisquer projetos novos a serem implementados deverão ser simulados para que se possa ter idéia clara de seu impacto.

O que se pode observar é que há uma melhor distribuição do fluxo para edifícios isolados ou espaçados de outro com as mesmas características, quando o vento provém da direção sul. Neste caso, o posicionamento agrupado ou em linhas (formando uma barreira), dificulta a circulação do ar em áreas a sotavento destes, o que ficou evidente nas simulações com o vento no sentido sul e sudeste.

Nas áreas onde houve um acúmulo de areia e, conseqüentemente são áreas com pouca ventilação, são aconselháveis aberturas no conjunto arquitetônico para auxiliar no escoamento do ar. Estas aberturas podem ser obtidas pela inserção de espaços abertos (áreas verdes, praças), com melhor utilização da quadra, compatibilizando áreas edificadas e usos.

Soluções de projeto arquitetônico dos edifícios como pilotis, vazios parciais em alguns andares, foma , também devem ser estudadas não só na busca de melhor ventilação natural quando da implantação de novos edifícios em áreas que tenham edificações existentes, como a área de estudo em Santos, mas também para os casos de orlas onde o processo ainda está em estágio inicial.

Desta forma, tanto a inserção de espaços livres entre os edifícios como as características destes no que se refere às condições de percolação do vento através do meio urbano, o que associado a outras providências de projeto - vegetação, áreas sombreadas para pedestres - devem ser objeto de estudos que visem a obtenção de melhorias do clima urbano.

Com as medidas efetuadas com o tubo de *Pitot* e com o fio quente, foi possível entender a alteração do perfil de velocidade em função da inserção de um novo elemento no contexto urbano.

Nos ensaios de erosão, apesar do registro documentado pelas fotos, a percepção da distribuição do fluxo e da visualização em 3D dos efeitos do vento são melhor observados no decorrer do ensaio a olho nú.

Recomenda-se que, ao realizar ensaios em túnel de vento, as imagens ou registros fotográficos sejam feitos desde apenas um ponto de observação, para melhor construir e trabalhar o resultado nas imagens finais. No túnel de vento de camada limite atmosférica do IPT, foi instalado um fixador no teto para a colocação da máquina fotográfica, o que facilitou a sobreposição e o tratamento das imagens.

Estudos mais específicos que considerem as características dos edifícios, para ensaios em túnel de vento ou utilização de softwares, requerem escalas de modelos e geometria, mais detalhados de acordo com os objetivos que se pretenda avaliar.

Os ensaios em túnel de vento e a aplicação do software CFX mostraram ser ferramentas eficientes para visualização da ventilação natural no meio urbano. Sendo assim, tanto os trabalhos realizados ao longo da pesquisa como os seus próprios resultados apontam a importância das ferramentas de avaliação da ventilação urbana para o planejamento urbano e a elaboração de projetos tais como praças, edifícios e complexos edificados em geral.

O software CFX mostrou ser eficiente na quantificação dos valores de velocidade e relativamente rápido quanto à resposta e tempo de modelagem - dependendo da abordagem adotada. Estas características desse software o faz apropriado para o refinamento de estratégias de projeto, desde a escala do pedestre até a escala da cidade (quadras, bairros, espaços abertos em geral, etc.).

A experiência na elaboração desta tese aponta para a extensão de alguns estudos voltados a:

- ✓ Aprofundar as medidas de campo para uma análise das condições de ventilação associada - ou não - à formação de ilhas de calor, enfatizando pesquisas na área de climatologia. Estudos da dinâmica climática da cidade de Santos poderiam caracterizar melhor a distribuição da circulação atmosférica com respeito às brisas mar/terra, terra/mar;
- ✓ Empregar os instrumentos aqui utilizados (túnel de vento e *softwares*) para explorar soluções de uso e ocupação do solo em áreas urbanas, aplicáveis à cidade de Santos, bem como a outros locais de interesse em outros estudos;

- ✓ Estudar variações da morfologia urbana em alturas variadas para áreas próximas ao mar, ou mesmo em bairros a serem revitalizados, podendo ser foco de estudos em túneis de vento, bem como da aplicabilidade de softwares de simulação, focando em questões de conforto ambiental e qualidade do ar;
- ✓ Aprimorar o índice de neutralidade para espaços abertos em áreas urbanas (*canyon*), aplicando as medidas *in loco* para validar a metodologia. Este índice poderia contemplar questões subjetivas de sensações do usuário, que dependem de variáveis culturais, sociais, psicológicas, afim de incorporar estes parâmetros às condições climáticas de nossas cidades;
- ✓ Investigar a possibilidade de aplicação do *software* CFX com as variáveis velocidade e temperatura do ar, com modelos que relacionem turbulência com radiação (trocas térmicas);
- ✓ Compatibilizar os dados de vento, a configuração urbana, o usuário ao sol e/ou a sombra com ferramentas de simulação, como o *software* ECOTECH que possibilita gerar imagens em 3D do sombreamento e mascaramento das edificações no tecido urbano, auxiliaria a compreensão de um resultado mais global das condições ambientais.

Como último ponto, vale destacar que os resultados das simulações podem contribuir para o entendimento do impacto da configuração urbana e das condições climáticas (vento), interpretado por projetistas, para uma melhor compreensão para futuras alterações em projetos urbanos.

9. BIBLIOGRAFIA

- A TRIBUNA. *Comprador ainda desconfia de prédio alto*. Habitação/LOCAL, Santos, domingo - 14 de Janeiro, 2001.
- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações*. ABNT, Junho, 1988.
- AFONSO, C. M. *A Paisagem na Baixada Santista: urbanização, transformação e conservação*. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dezembro, 2001.
- ALUCCI, Márcia Peinado. *Coberturas têxteis: determinação das características térmicas e luminosas*. Coordenadora do Relatório Final CNPq, Processo 403188/2003-2 (2004/2005), Departamento de Tecnologia, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005, 128pp.
- ALUCCI, Márcia Peinado & MONTEIRO, Leonardo Marques. *Estresse térmico dos usuários em espaços abertos*. NUTAU - Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2004.
- ALUCCI, Márcia Peinado. *Software CLIMATICUS_4.1.xls*, criado em 2003, com acesso em julho de 2005, disponível no site:
<http://www.usp.br/fau/ensino/graduacao/disciplinas/paginas/conforto.html>.
- AMBIENT. *Virtual Weather Station Version 12 - User's Manual*. Ambient LLC, USA, 200.
- ASSIS, Eleonora Sad. *Impactos da forma urbana na mudança climática: método para a previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho no ambiente urban*. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

- ASSIS, Eleonora Sad & VALADARES, Victor Mourthê. *Ventilação Natural: experiência de ensino em graduação na Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais*. III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e I Encontro Latino-Americano, Gramado, 1995.
- AZEVEDO, A. *A Baixada Santista: aspectos geográficos*. Editora Edusp, São Paulo, 1965.- 2002. 143p.
- BÄCHLIN, W. & PLATE, E. J. *Ausbreitung von Störfallemissionen in bebautem Gelände*. Abschlußbericht BMFT RGB 8312, Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, 1986.
- BATURIN, V. V. *Fundamentos de ventilación industrial*. Editorial Labor, S.A., Barcelona, 1976. 647p.
- BEJAN, Adrian. *Transferência de calor*. Ed. Edgard Blücher Ltda, tradução, São Paulo, 1996. 540p.
- BERANEK, W. J. *General rules for the determination of wind environment*. Wind Engineering, Proceeding of the Fifth International Conference, Fort Collins, Colorado, USA Edited by . Cermak, Pergamon Press, Oxford, july, 1979, pp. 225 a 234.
- BITTENCOURT, Leonardo & CÂNDIDO, Christhina. *Introdução à ventilação natural*. EDUFAL, Maceió, 2005. 147p.
- _____. BITTENCOURT, Leonardo Salazar. *Comparando os programas BREEZE e EASYFLOW como instrumentos de simulação da ventilação natural*. Encontro Nacional de Modelos de Simulação de Ambientes, Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 1995.
- _____. BITTENCOURT, Leonardo Salazar; CRUZ, Jorge M. & LÔBO, Denise G. F. *O efeito da verticalização das edificações na ventilação natural do tecido urbano: o caso da orla marítima de Maceió*. IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Anais, Salvador, Bahia, 1997a.

- BITTENCOURT, Leonardo Salazar & CABUS, Ricardo. *Dados meteorológicos e potencial de ventilação natural*. In: Anais do II Encontro de Professores de Conforto Ambiental - NE, 1994, João Pessoa. Anais... João Pessoa: UFPa, 1994, pp 51 a 55.
- BLANPAIN, R. P. *L'exposition de Lisbonne et le vent: problème de transposition banlieu/center ville - confort humain*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1995.
- BLAZEJCZYK, Krzysztof. *Menex 2002*. Warsaw: Institute of Geography and Spatial Organization, 2002, acesso em 24/04/2004 <<http://www.igipz.pan.pl/geoeoklimat/blaz/menex.rtf>>.
- BLESSMANN, Joaquim. *Ação dos ventos em edifícios*. 2a. Edição, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.
- _____. BLESSMANN, Joaquim. *O vento na engenharia estrutural*. Ed. Universidade, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995. 166p.
- BOSSELMANN, Peter; ARENS, Edward; DUNKER, Klaus & WRIGHT, Robert. *Urban form and climate - case study, Toronto*. Journal of the American Planning Association, 1995. pp. 226 - 239
- BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. *Principles of Natural Ventilation*, BRE Digest nº 210, Garston: BRE, 1978.
- CARRIL, JR, Célio Fontão. *Projeto, construção e calibração de um túnel de vento*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995. 100p.
- CASIMIRO MENDES, J.; GUERREIRO, M. R.; PINA DOS SANTOS, C. A. & VASCONCELOS DE PAIVA, J. A. *Temperaturas Exteriores de Projecto e Números de Graus-Dias*, INMG: Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, LNEC: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1989.

- CERMAK, Jack E. *Wind-tunnel development and trends in applications to civil engineering*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 91, 2003. pp. 355 - 370
- CHERNOV, A. & BESSREBRENNIKOV, N. *Fundamentals of heat engineering and hydraulics*. Tradução A. Troitsky, MIR Publishers, Moscou, 1969. 407p.
- DAVENPORT, Alan G. *What makes a structure wind sensitive?* Wind Effects on Buildings and Structures, Riera & Davenport (eds), Balkema, Rotterdam, 1998. pp. 1 - 59.
- DREYFUS, J. *Le Confort dans l'habitat en pays tropical*. Paris, 1960.
- DUARTE, Denise Helena Silva. *Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental*. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. 278p.
- DUFFIE, Jonh A.& BECKMAN, William A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: Wiley-Interscience. 1980. 762 p.
- FANGER, P. O. *Thermal comfort, analysis and application in environment engineering*. New York: McGraw Hill, 1970.
- FERREIRA, A. D.; SOUSA, A. C. M.& VIEGAS, D. X. *Prediction of building interference effects on pedestrian level comfort*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 90, 2002. pp. 305 - 319
- FOX, Robert W. & McDONALD, Alan T.; *Introdução à Mecânica dos Fluidos*, 5ª. Edição, tradução, Ricardo N. N. Koury & Geraldo A. C. França, LTC Editora, Rio de Janeiro, 1998. 504p.
- FROTA, Anésia Barros. & SCHIFFER, Suely. *Manual de conforto térmico*. Editora Nobel, São Paulo, 1995. 243p.

- GANDEMER, J. et al. *Inconfort dû au vent aux abords des bâtiments: concepts aérodynamiques*. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, n° 170, 1976.
- GARRAT, J. R. *The atmospheric boundary layer*. Cambridge University Press: 314, London, 1994.
- GOMES, Ruy José. *O problema do conforto térmico em climas tropicais e subtropicais*. Ministério das Obras Públicas, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Memória no. 300, Lisboa, Portugal, 1967. 64p.
- GIVONI, Baruch. *Man, climate and architecture*. Applied Science Publishers LTD, London, 1976.
- _____. GIVONI, Baruch. *Climate considerations in building and urban design*. New York: John Wiley & Sons, 1998. 463p.
- INCROPERA, Frank P. & DEWITT, David P. *Fundamentos de transferência de calor e massa*. Tradução Carlos Alberto Biolchini da Silva, 5ª Edição, LTC Editora, Rio de Janeiro, 2003. pp. 229 - 253.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARDIZATION (ISO). *ISO 7726: Ergonomics of the thermal environment: instruments for measuring physical quantities*. Genève: ISO, 1998.
- _____. *ISO 8996: Ergonomics: determination of metabolic heat production*. Genève: ISO, 1990.
- _____. *ISO 9920: Ergonomics of the thermal environment: estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble*. Genève: ISO, 1995.
- _____. *ISO 8996: Ergonomics: determination of metabolic heat production*. Genève: ISO, 1990.

- JABARDO, Paulo José Saiz, PRATA, Alessandra Rodrigues, BRUNELLI, Gustavo, MARCIOTTO, Edson Roberto, NADER, Gilder & PEREIRA, Marcos Tadeu. *Influence of Integral Length Scales in Sand Erosion Techniques*. COBEM 2005 - The 18th International Congress of Mechanical Engineering, ABCM: Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil, 06-11 November, 2005. 6p.

- JACKSON, P. S. *On the displacement height in the logarithmic velocity profile*. Journal of Fluid Mechanics, vol. 111, pp. 1525, 1981.

- JANEIRO BORGES, A. R. e SARAIVA, Jorge Antonio Gil. *An erosion technique for assessing ground level winds*. Wind Engineering, Proceeding of the Fifth International Conference, Fort Collins, Colorado, USA Edited by . Cermak, Pergamon Press, Oxford, july, 1979, pp. 235 a 242.

- JANEIRO BORGES, A. R. *O Túnel Aerodinâmico do Laboratório Nacional de Engenharia Civil*. Memória nº319, Ministério das Obras Públicas, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 1968.

- LOPES, António Manuel Saraiva. *Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano: vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*. Tese de Doutorado em Geografia Física, Universidade de Lisboa, 2003. 375p.

- LUZ, Bruna. *Estudos da Iluminação Natural de Edifícios através de Modelos Físicos em Escala Reduzida*. Relatório de Iniciação Científica FAPESP nº 3, processo nº 03/05494-0, São Paulo, SP.

- MASCARÓ, Lúcia. *Adensamento e ambiência urbana na cidade de Porto Alegre*. Seminário Internacional NUTAU, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

- MELARAGNO, Michele G. *Wind in architectural and environmental design*. Scarborough, Canada, van Nostrand Reinhold, 1982. 684p.

- MONTEIRO, Leonardo Marques & ALUCCI, Márcia Peinado. *Índice de conforto térmico em espaços abertos parte 1: revisão histórica*. ENCAC - ELACAC VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, Anais, Maceió, Alagoas, 2005a. pp. 1211 - 1220
- _____. *Índice de conforto térmico em espaços abertos parte 2: estado da arte*. ENCAC - ELACAC VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, Anais, Maceió, Alagoas, 2005b. pp. 1221 - 1230
- _____. *Procedimento de quantificação de variáveis para análise termofisiológica em espaços abertos*. ENCAC - ELACAC VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, Anais, Maceió, Alagoas, 2005c. pp. 1231 - 1240
- MORENO, Manuel Francisco Navarro. *Qualidade ambiental nos espaços livres de áreas verticalizadas da cidade de São Paulo*. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. 170p.
- MORTENSEN, Niels, G.; LANDBERG, Lars; TROEN, Ib & PETERSEN, Erik L. *Wind Atlas Analysis and Application Program (Wa^sp), vol 1: Getting Started*. Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, jan., 1993. 29p.
- _____. *Wind Atlas Analysis and Application Program (Wa^sp), vol 2: User's Guide*. Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, jan., 1993. 133p.
- MURAKAMI, Shuzo; OOKA, Ryozi; MOCHIDA, Akashi; YOSHIDA, Shinji & KIM, Sangjin. *CFD analysis of wind climate from human scale to urban scale*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 81, 1999. pp. 57 - 81
- OLGAY, Victor. *Arquitectura y Clima - manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1998. 203p.

- OKE, T. R. *Boundary layer climates*. Cambrigde University Press, London, 1987.
- PEREIRA, M. T. & JABARDO, P. J. S. *Avaliação de condições ambientais utilizando túnel de vento*. Global Conference - Construindo um Mundo Sustentável, 23 a 25 outubro, São Paulo, ABPPOLAR, 2002.
- PLATE, E. J. *Methods of investigating urban wind fields - physical models*. Atmospheric Environment 33, 1999 - pp. 3981 - 3989.
- _____. PLATE, Erich J. & KIEFER, Harald. *Wind loads in urban areas*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 89, Elsevier, 2001 - pp. 1233 - 1256.
- PRATA, Alessandra Rodrigues. *Uma ferramenta computacional de avaliação da ventilação natural em projetos arquitetônicos*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998. 154 p.
- PRATA, Alessandra Rodrigues ; FROTA, Anésia Barros . *Impacto da Altura de Edifícios nas Condições de Ventilação Natural do Meio Urbano, simulado em Túnel de Vento: o caso da cidade de Santos/SP*. In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações, 2003, Curitiba. ANAIS do ENCAC & COTEDI - Segunda Coletânea de Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído, 2003.
- PRATA, Alessandra Rodrigues, BRUNELLI, Gustavo, JABARDO, Paulo José Saiz, MARCIOTTO, Edson Roberto & NADER, Gilder. *Urban Ventilation: influence of physical models' scale in wind tunnel tests*. PLEA2005 - The 22nd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Beirut, Lebanon, 13-16 November, 2005. 6p.
- REVISTA PESQUISA FAPESP. *A descoberta da América - reportagem: Impactos do vento e dos poluentes*. Tecnologia/Engenharia Ambiental, no. 77, São Paulo, julho, 2002, pp.71.

- RÖCKLER, R. *Bestimmung der Strömungsverhältnisse im Bereich komplexer Bauungsstrukturen*. Dissertation (Fachbereich Mechanik) T. H. Darmstadt, 1990.
- SANTOS, E. O. *Características climáticas*. In: AZEVEDO, A., org. Baixada Santista: aspectos geográficos, São Paulo, Vol. 1, EDUSP, 1965.
- SANTOS, Prefeitura Municipal, *Lei Complementar no. 311, de 23 de novembro de 1998 - Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento e Expansão Urbana do Município de Santos*. Diário Oficial de Santos, Santos, 1998.
- _____. SANTOS, Prefeitura Municipal. *Lei Complementar no. 312, de 23 de novembro de 1998 - Disciplina o Ordenamento do Uso e Ocupação do Solo na Área Insular do Município de Santos e da outras providências*. Diário Oficial de Santos, Santos, 1998.
- _____. SANTOS, Prefeitura Municipal. *Lei Complementar no. 359, de 23 de novembro de 1999 - Disciplina o Ordenamento do Uso e Ocupação do Solo na Área Continental do Município, institui a Área de Proteção- APA e da outras providências*. Diário Oficial de Santos, Santos, 1999.
- SANTOS DIGITAL. *Santos Digital - a cidade ao seu alcance*. Ortofoto - município de Santos, escala 1:10.000, área insular e continental, FUNCATE: Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais, SEPLAN: Secretaria Municipal de Planejamento, 2003.
- SARAIVA, Jorge Alberto Gil. *Ação do vento e nível de conforto em espaços urbanos*. In: Anais do II Encontro de Professores de Conforto Ambiental - NE, 1994, João Pessoa. Anais... João Pessoa: UFPa, 1994a, pp 23 a 31.
- SARAIVA, Jorge Alberto Gil. *Boundary layers over urban areas*. PASCOOL, Meeting, LNEC, Lisboa, 1994b.
- _____. *Aerodinâmica dos edifícios altos: característica do escoamento e resposta a turbulência de formas prismáticas*. Tese para o concurso de

especialista do LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Núcleo de Dinâmica Aplicada, Proc. 36/11/7367, Lisboa, Portugal, 1983. pp. 23 a 47.

- _____. *Aerodinâmica e arquitetura*. LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Núcleo de Dinâmica Aplicada, Conferência Proferida na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, novembro, 1999.
- SARAIVA, Jorge Alberto Gil; SILVA, Fernando Vitor Marques Da; SILVA, Francisco De Assis Gonçalves Da. *O vento, a cidade e o conforto*. IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Anais, Salvador, Bahia, 1997, pp 129 a 133.
- _____. SARAIVA, Jorge Alberto Gil; SILVA, SILVA, Francisco De Assis Gonçalves Da; Fernando Vitor Marques Da. *Condições climáticas e anos típicos*. ENCAC - ELACAC VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, Anais, Maceió, Alagoas, 2005.
- SHAVIV, E.; YEZIORO, A. & CAPELUTO, I. G. *Sun and winds in a new business district in Tel Aviv*. Building Simulation, Seventh International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, Brazil, agosto 13-15, 2001. pp. 151 - 158
- SILVA, Francisco De Assis Gonçalves Da. *Städtebauliche Klimafibel (Cartilha Urbanística do clima) - Hinweise für die Bauleitplanung Folge 2 (Referências para o Plano Diretor Seqüência 2)*. Tradução por SILVA, trabalho do Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, João Pessoa, 1997. 199p.
- _____. *O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído uma aplicação ao nordeste do Brasil*. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. 234p.

- SILVA, Fernando Marques da. *Ventilação natural de edifícios: turbulência atmosférica*. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Portugal, Lisboa, julho, 2003.
- SILVA, Fernando Marques da & SARAIVA, Jorge Alberto Gil. *Acção do vento nas condições de conforto no Forum Madeira*. (Relatório Final) Ministério das Obras Públicas, Transportes e Habitação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Núcleo de Observação de Obras, Proc. 0304/01/14518, Nota Técnica 20/2003 - NOE-A, Lisboa, julho, 2003, 43p.
- SILVA, Fernando Marques da; SILVA, VIEGAS, J.; Francisco Gonçalves da; SANTOS, Paulo R. P. & SARAIVA, Jorge Alberto Gil. *Assessing natural urban ventilation through an integrated model*. In: The 19th. Annual AIVC Conference, Oslo, 28 a 30 september, 1998. pp. 371 - 379
- SIMIU, Emil & SCANLAN, Robert H. *Wind effects on structures: fundamentals and applications to design*. 3ª. Ed., John Wiley & Sons, INC, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 1996. 684p.
- SIPLE, P. A. *Regional climate analyses and design data*. Bulletin of the American Institute of Architects, Washington, D.C., sept. 6, 1951.
- SOFTWARE ICEMCFX - *Computer Fluids Dynamics*, Empresa ESSS - *Engineering Simulation and Scientific Software* Ltda, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, <http://www.esss.com.br>, e <http://waterloo.ansys.com/cfx> acessos em novembro e dezembro de 2004.
- TOLEDO, Eustáquio. *Ventilação natural das habitações*. Coordenação da publicação brasileira por Alexandre Toledo, EDUFAL, Universidade Federal das Alagoas, 1999. 170p.
- TOLEDO, Alexandre & PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. *Métodos e técnicas de visualização para a avaliação da ventilação natural pela ação do vento em edifícios*. NUTAU - Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2004.

- VARGAS, Heliana Comin & GONÇALVES, Joana Carla Soares *Parecer sobre avaliação de impacto ambiental urbano de edifício alto junto à orla da praia da cidade de Santos, em terreno do atual Clube XV*. Universidade de São Paulo, Outubro, 2000 - reunião com a autora GONÇALVES na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/Laboratório de Conforto, Maio, 2002.
- *Virtual Weather Station Version 12 - User's Manual*. Ambient, LLC, Microsoft Corporation, US, 2000 - 2002.
- WILLIAMSON, S. P. (coord.). *Report on wind chill temperature and extreme heat indices: evaluation and improvement projects*. Washington: The Office for Meteorological Services and Supporting Research, 2003.
- YANG, W-J. *Handbook of Flow Visualization*. University of Michigan, Ann Arbor, Ed. Taylor & Francis, 1989.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT *NBR 6023 - Informação e documentação - referências - elaboração*. Agosto, 2000.
- _____. *NBR 10529 - Informação e documentação - apresentação de citações em documentos*. Julho, 2001.
- ALLARD, Francis. *Natural ventilation in buildings - a design handbook*. James & James Science Publishers, London, 1998.
- ALUCCI, Márcia Peinado. *Conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia elétrica*. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- ANDRADE, C. R. M. *Wind, sun and temperature - predicting the thermal comfort of people in outdoor spaces*. Building and Environment, vol. 24, nº 4, Printed in Great Britain, 1989.
- ARENS, Edward & BOSSELMANN, Peter. *A peste e o plano*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- ASCE - *Wind Tunnel Model Studies of Buildings and Structures*, Nova York, 1987.
- ASSIS, Eleonora Sad. *Avaliação da influência do uso e ocupação do solo urbano sobre a formação da ilha de calor na cidade de Belo Horizonte, MG*. I Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Anais, 1990.
- _____. ASSIS, Eleonora Sad. *Bases teóricas para a aplicação da climatologia ao planejamento urbano*. IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Anais, Salvador, Bahia, 1997.

- ASSIS, Eleonora Sad & FROTA, Anésia Barros. *Urban bioclimatic design strategies for a tropical city*. Atmospheric environment 33, Pergamon, 1999, pp: 4135 - 4142.
- AYNSLEY, R. M., MELBOURNE, W. e VICKERY, B. J. *Architectural aerodynamics*. Applied Science Publishers, Londres, 1977.
- AYOADE, J. O. *Introdução à climatologia para os trópicos*. Tradução Maria Juraci Zani dos Santos, revisão Suely Bastos, DIFEL, São Paulo, 1986. 321p.
- BITAN, A. *The methodology of applied climatology in planning and building*. Energy and Buildings 11, 1988, pp: 1 - 10.
- BITTENCOURT, L. S., CRUZ, J. M. & LÔBO, D. G. F. *A influência da relação entre taxa de ocupação x no. de pavimentos no potencial de ventilação natural dos ambientes internos e externos*. IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Anais, Salvador, Bahia, 1997b.
- BLESSMANN, Joaquim. *Aerodinâmica das construções*. 2a. Edição, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.
- _____. BLESSMANN, Joaquim. *Forças devidas ao vento em edificações*. NBR 6123, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Junho, 1988.
- _____. BLESSMANN, Joaquim. *Intervalo de tempo para calculo da velocidade básica do vento*. 3a. Edição atualizada, Serie Engenharia Estrutural/3, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.
- BOREL, J. C. *Le confort thermique en climat chaud*. Monografias, USP/FAU, Sao Paulo, outubro, 1967.
- BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. *Principles of natural ventilation*, BRE Digest no. 210, Garston: BRE, 1978.
- CATALDO, J. & DURANONA, V. *Wind comfort study and proposals of solutions for the Montevideo World Trade Center*, paper adquirido pelo autor, nov. 2003.

- CASTRO, Maria Solange Gurgel de. *Influência do clima no planejamento urbano e análise do comportamento termohigrométrico do conjunto habitacional Ponta Negra Natal/RN*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1991. 170p.
- CARVALHO, S. N. *Plano Diretor em Santos - política negociada*, São Paulo em Perspectiva, 15 (1), 2001.
- CHANDLER, T. J. *Urban climatology and its relevance to urban design*. Technical Note no. 149, World Meteorological Organization (WMO), WMO - no. 438, Geneva, 1976. 61p.
- DAVENPORT, Alan G.; ISYUMOV, N. *The ground level wind environment in built up areas*. In: Proceedings of International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures. Proceedings... London Heathrow, 1975.
- _____. DAVENPORT, Alan G. *Past, present and future of wind engineering*. . Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 90, 2002. pp. 1371 - 1380
- DURGIN, Frank H. *Pedestrian level wind criteria using the equivalent average*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 66, Elsevier Science, 1997. pp. 215 - 226.
- EVANS, J. M.; SCHILLER, S., CASABIANCA, G., FERNANDEZ, A., MURILLO, F.; *Ambiente y ciudad*, Centro de Investigacion Habitat y Energia, Serie Difusion 15, Secretaria de Investigaciones en Ciencia y Tecnica, Facultad de Arquitectura, Diseno y Urbanismo - Universidad de Buenos Aires.
- European Commission the Fifth Framework Programme. *Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach - RUROS: Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces*. Brochure by BBRI. Co-ordinated by CRES, Department of Buildings (<http://alpha.cres.gr/ruros/>), 1998 - 2002,

- FALCOSKI, L. A. N.; *Desenho urbano e instrumentos urbanísticos de avaliação de desempenho do ambiente construído*, VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - Qualidade no Processo Construtivo, 27 a 30 de abril, Florianópolis, Santa Catarina, 1998.
- FERNANDEZ, A.; SCHILLER, S. *Viento en espacios urbanos*. Centro de Investigación Habitat y Energía, Universidade de Buenos Aires.
- FERNANDO, M. S. ; JOÃO, V. ; SILVA, F. A. G. ; RENATO, S. P. ; SARAIVA, J. . *Assessing natural urban ventilation throu an integrated model*. In: 19th annual AVIC Conference, 1998, Oslo. Proceedings of the 19th annual AVIC Conference, 1998. v. Único. p. 371-379.
- FERREIRA, A. D.; SOUSA, A. C. M & VIEGAS, D. X. *Prediction of building interference effects on pedestrian level comfort*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, nº. 90, Elsevier Science Ltd, 2002. pp. 305 - 319.
- _____. *Numerical and experimental simulation of the wind field in the EXPO'98 area*. Wind and Structures, vol. 1, nº. 4, 1998. pp. 337 - 349.
- FROTA, Anésia Barros. *Ventilação de edifícios industriais: modelo paramétrico para dimensionamento de sistema de ventilação por efeito chaminé*. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- GARCIA, M. C. M. *Climatologia Urbana*. Textos docents 160, Universitat de Barcelona, Departament de Geografia Física i Anàlisi Geografica Regional, 1999.
- GIVONI, Baruch. *Urban design in different climates*. Geneve: WMO World Climate Programme: Applications. WMO/TD no. 346, dezembro, 1989.
- _____. GIVONI, Baruch. *Impact of planted areas on urban environmental quality: a review*. Atmospheric Environment 25B (3), 1991, pp: 289 - 299.

- _____. GIVONI, Baruch. *Comfort, climate analysis and building design guidelines*. Energy and Buildings 18, 1992a, pp: 11 - 23.
- _____. GIVONI, Baruch. *Climatic aspects of urban design in tropical regions*. Atmospheric Environment, vol. 26B, no. 3, 1992b, pp: 397 - 402.
- Gonçalves, Helder; PANÃO, Marta Oliveira; CAMELO, Susana; RAMALHO, Álvaro; GRAÇA, João Mariz & AGUIAR, Ricardo. *Ambiente construído, clima urbano, utilização racional de energia nos edifícios da cidade de Lisboa*. INETI: Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Departamento de Energias Renováveis, Lisboa, Portugal, 2004. 58p.
- GORECKI, Jacek, P. *Wind tunnel design and applications*. Wind Effects on Buildings and Structures, Riera & Davenport (eds), Balkema, Rotterdam, 1998. pp. 121 - 135.
- GROSSO, M. & BANCHIO, G. *Cities of Wind: Natural ventilation access in urban design*. In: Passive and Low Energy Architecture, PLEA 2000, Cambridge, UK. p. 506-511.
- HACKENBERG, A. M. *Clima urbano numa cidade estuária de fundo de baía, Joinville - SC*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, 1992.
- HUNT, J. C. R. *Aerodynamic and human aspects of wind flow around buildings*. June 12, 1974.
- IYENGAR, A. K. S.; FARREL, C. *Experimental issues in atmospheric boundary layer simulation: roughness length and integral length scale determination*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 89, 2001, pp. 1059 - 1080.
- JANEIRO BORGES, A. R. *Curso: Ventilação Natural*. Edit. Ordem dos Engenheiros de Lisboa, Lisboa, Portugal, 1983.

- KATZSCHNER, Lutz. *Urban climate studies as tools for urban planning and architecture*. IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído: Anais..., Salvador, FAU-UFBA/ANTAC, 1997.
- _____.KATZSCHNER, Lutz. *Designation of urban climate qualities and their implementation in the planning process*. In Environmentally Friendly Cities, Proceedings of PLEA98, Lisboa, James & James Science Publishers, London, 1998.
- _____.KATZSCHNER, Lutz. *Urban climate maps a tool for calculations of thermal conditions in outdoor spaces*. In: Architecture City Environment, Proceeding of PLEA2000, University of Cambridge, july, 2000. pp. 453 - 458.
- KOENIGSBERGER, O. H. et al. *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Madrid, Paraninfo, 1977.
- KUWABARA et al. *Evaluation of thermal sensation in urban environment*. Building envelope and indoor environment - Estimation of thermal insulation and evaporative resistance o ensemble of a clothing. 2002.
- LANDSBERG, H. *The urban climate*. Academic Press, New York and London, 1981.
- _____.LANDSBERG, H. *Microclimatic research in relation to building construction*. Architectural Forum, 1947, pp: 114 - 119.
- LAWSON, A. J. *Air movement and building ventilation*. The Architect's Journal - Handbook Building Environment, Section 3, Londres, 1968.
- LAWSON, T. V.. *Wind effects on buildings*. Vol. 1 Design Application, Londres, 1980.
- LOMBARDO, Magda Adelaide. *Ilha de calor nas metrópoles - o exemplo de São Paulo*. Editora HUCITED, LALEKLA, São Paulo, 1985.

- MACHO, José J. Guerra; LÓPEZ, José M. Cejudo; FÉLIX, José L. Molina; DOMÍNGUEZ, Servando Alvarez & VILA, Ramón Velásquez. *Control climatico en espacios abiertos: evaluacion del proyecto EXPO'92*. Grupo de TERMOTECNIA, Departamento de Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos, Escuela Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 1994. 147p.
- DOMÍNGUEZ, Servando Alvarez; LÓPEZ, José M. Cejudo; MACHO, José J. Guerra; FÉLIX, José L. Molina; GARCIA, Eduardo A. Rodríguez & VILA, Ramón Velásquez. *Control climatico en espacios abiertos: el proyecto EXPO'92*. Grupo de TERMOTECNIA, Departamento de Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos, Escuela Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 1994. 195p.
- MILLER, C. A. & DAVENPORT, A. G. *Guidelines for the calculation of wind speed-ups in complex terrain*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 74-76, 1998. pp. 189 - 197
- MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. *Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura*. GEOSUL, Revista do Departamento de Geociências, nº. 9, 1990.
- _____. *Teoria e clima urbano*. IGEOG-USP, Série Teses e Monografias, nº. 25, Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, São Paulo, 1976. 181p.
- OKE, T. R. *City size and the urban heat island*, Atmospheric Environment, vol. 7, 1973, pp: 769 - 779.
- _____. OKE, T. R. *The energetic basis of the urban heat island*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 108, no. 455, January, 1982, pp: 1 - 24.
- _____. OKE, T. R. *Street design and urban canopy layer climate*. Energy and Buildings 11, Elsevier, 1988, pp: 103 - 113.
- OLIVEIRA, S. de. *A importância da ventilação natural*. Revista CLIMATIZAÇÃO, São Paulo, agosto, 2001.

- PENWARDEN, A. D. & WISE, A. F. E. *Wind environment around buildings*. British Reserch Establishment Report, HMSO, Londres, 1975.
- PENWARDEN, A. D. *Acceptable wind speeds in towns*. Building Science, vol. 8, Pergamon Press, Great Britain, 1973. pp. 259 - 267.
- _____.PENWARDEN, A. D. *Wind environment around buildings and effects on people*. 1974.
- PENWARDEN, A. D.; GRIGG, P. F. e RAYMENT, R. *Measurements of wind drag on people standing in a wind tunnel*. Building Research Establishment current paper 74/78, BRE, Garston, 1978.
- RAE Jr, Willian H. & POPE, Alan. *Low-Speed wind tunnel testing*. Second Edition, John Wilwy & Sons, USA, 1984. 534p.
- RIERA, J. D. and DAVENPORT, A. G. *Wind effects on buildings and structures*. Proceedings of the Jubileum Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, Porto Alegre, 25 - 29 de maio, 1998.
- SALES, P. M. R. SANTOS - *a relação entre o porto e a cidade e sua (re) valorização no território macrometropolitano de São Paulo*. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 1999.
- SANTAMOURIS, M. *The energy impact of the urban environment*. Energy and climate in the urban built environment. James & James, Londres, 2001, pp. 96 - 109..
- _____.SANTAMOURIS, M. *Natural ventilation in buildings: a design handbook*, 1998.
- _____.SANTAMOURIS, M. *Wind patterns in urban environments*. In: Energy and Climate in the Urban Built Environment, James & James Ltd., London, 2001.

- SANTAMOURIS, M.; PAPANIKOLAOU, N.; LIVADA, I.; KORONAKIS, I.; GEORGAKIS, C.; ARGIRIOU, A. and ASSIMAKOPOULOS, D. N. *On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings*. Solar Energy, in the press, 1999.
- SANTAMOURIS, M.; PAPANIKOLAOU, N.; KORONAKIS, I.; GEORGAKIS, C. and ASSIMAKOPOULOS, D. N. *Natural ventilation in urban environments*. Proceedings of the 1998 AIVC Conference, Oslo, 1998.
- SANTOS, E. de O. *Características climáticas*, in: AZEVEDO, A. de; org. Baixada Santista: aspectos geográficos, EDUSP, São Paulo, 1965.
- SCANLAN, S. *Wind effects on structures*. 2nd Edition, USA, 1985.
- SEDAM - Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, *Plano Diretor: coletânea de estudos técnicos e documentos legais aprovados e em discussão*. Santos, dezembro, 1992.
- SHIOZER, D. *Mecânica dos fluidos*. LTC, 1996.
- SILVA, Francisco A. Gonçalves ; Del CARLO, Ualfrido & SARAIVA, Jorge Alberto Gil. *The wind as a true design tool in urban planning*. In: Passive and Low Energy Architecture, 2001, Florianópolis. Proceedings of the PLEA 2001 Conference, 2001. vol. 1. pp. 229-233.
- SILVA, Francisco De Assis Gonçalves Da. et al *Parâmetros projetuais para o desenho bioclimático para o Estado da Paraíba*. In: Anais do II Encontro de Professores de Conforto Ambiental - NE, 1994, João Pessoa. Anais... João Pessoa: UFPa, 1994.
- SILVA, Francisco De Assis Gonçalves Da; Del CARLO, Ualfrido; SARAIVA, Jorge Alberto Gil. *The wind as a true design tool in urban planning*. In: The 18th. International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Florianopolis, Brazil, 7 - 9, novembro, 2001.

- SILVA, Fernando Marques da; SILVA, Francisco Gonçalves da; SANTOS, Paulo R. P. & SARAIVA, Jorge Alberto Gil. *Simplified models for natural ventilation estimates*. In: The 18th. International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Florianópolis, Brazil, 7 - 9, novembro, 2001. pp. 235 - 239.
- TAKEN, M. *A comfortable wind climate for outdoor relaxation in urban areas*. Building and Environment, vol. 24, nº 4, Printed in Great Britain, 1989. pp. 321 - 324.
- VIANNA, Nelson Solano. *O estado da arte em ensino e pesquisa na área de conforto ambiental no Brasil*. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- WU, H. & STATHOPOULOS, T. *Wind-tunnel techniques for assessment of pedestrian-level winds*. Journal of Engineering Mechanics, 119, 1993. pp. 1920 - 1936.
- YOUNG, I. R. *An atlas of the oceans: wind and wave climate*. 1ª. Edição, Oxford, 1996.
- www.santos.sp.gov.br Informações sobre a cidade de Santos
- www.windfinder.com.br Dados de vento
- www.cptec.inpe.br Dados do Instituto de Pesquisas Espaciais/São José dos Campos
- www.wunderground.com e www.inmet.gov.br Instituto Nacional de Meteorologia

APÊNDICES

A. CURVA DE CALIBRAÇÃO: ANEMÔMETRO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

Para a realização desta pesquisa foi-me concedida uma bolsa FAPESP e em conjunto uma Reserva Técnica com a qual foi adquirida, dentre outros itens, uma estação meteorológica marca *Oregon Scientific* modelo *Cable Free WMR 968*, com sensores de termo-higrômetro, anemômetro com direção e velocidade do vento, baro-higrômetro e pluviômetro. No estágio realizado no LNEC foi possível calibrar o anemômetro que foi utilizado nas medidas de campo (*in loco*). A equação de ajuste dos valores lidos nas medidas de campo é:

$$U_{ref} = 1,097 * U_{lido} - 0,198$$

m/s

Equação 25

Gráfico 27: Curva de calibração do anemômetro.

Alessandra Rodrigues PRATA

B. TABELA DOS DADOS MEDIDOS: ESTAÇÃO OREGON (ORLA/10M) E BASE AÉREA DE SANTOS (10M)

		<i>m/s</i>	
<i>dia</i>	<i>hora</i>	<i>média vel OREGON</i>	<i>média vel IAG</i>
12	8	1,8	
12	9	0,4	-
12	10	1,3	-
12	11	3,1	-
12	12	2,5	-
12	13	2,4	-
12	14	2,1	-
12	15	2,5	-
12	16	1,9	4,0
12	17	1,4	5,0
12	18	0,2	4,0
	<i>hora</i>	<i>média vel OREGON</i>	<i>média vel IAG</i>
13	8	4,3	
13	9	4,3	-
13	10	3,8	3,5
13	11	3,7	2,0
13	12	3,1	6,0
13	13	3,2	4,0
13	14	2,9	6,0
13	15	2,6	2,0
13	16	3,5	3,0
13	17	3,6	
13	18	1,6	
	<i>hora</i>	<i>média vel OREGON</i>	<i>média vel IAG</i>
14	8	0,1	
14	9	1,9	-
14	10	2,3	-
14	11	2,4	-
14	12	5,1	-
14	13	5,9	-
14	14	5,9	-
14	15	4,9	-
14	16	4,0	3,0
14	17	2,8	5,0
14	18	0,9	4,5

Tabela 29: Tabela com os dados de velocidade do ar medidos no P0 - orla da praia e na estação meteorológica (Base Aérea de Santos) a 10m nos dias 12, 13 e 14 de abril

PRATA, Alessandra Rodrigues

<i>dia</i>	<i>hora</i>	<i>oC</i>	<i>oC</i>
		<i>temp OREGON</i>	<i>temp IAG</i>
12	8	32,5	
12	9	31,9	23,0
12	10	34,2	24,0
12	11	31,8	28,0
12	12	32,1	30,0
12	13	33,8	33,0
12	14	31,9	34,0
12	15	30,7	36,0
12	16	30,6	35,0
12	17	30,6	35,0
12	18	29,1	34,0
	<i>hora</i>	<i>temp OREGON</i>	<i>temp IAG</i>
13	8	27,2	
13	9	27,4	27,0
13	10	27,7	27,0
13	11	27,3	28,0
13	12	28,5	28,0
13	13	28,1	28,0
13	14	28	29,0
13	15	28,1	30,0
13	16	28,3	30,0
13	17	27,8	
13	18	27,4	
	<i>hora</i>	<i>temp OREGON</i>	<i>temp IAG</i>
14	8	27,9	
14	9	28,8	23
14	10	30,2	23
14	11	27,8	27
14	12	29,5	28
14	13	29,4	29
14	14	28,6	31
14	15	28,2	31
14	16	28,2	31
14	17	28,1	30
14	18	27,3	30

Tabela 30: Tabela com os dados de temperatura do ar medidos no P0 - orla da praia e na estação meteorológica (Base Aérea de Santos) a 10m nos dias 12, 13 e 14 de abril

Alessandra Rodrigues PRATA

<i>média UR OREGON</i>			
	%	%	%
<i>hora</i>	<i>dia 12</i>	<i>dia 13</i>	<i>dia 14</i>
8	56	87	74
9	64	88	70
10	56	88	70
11	74	89	76
12	74	85	65
13	66	83	70
14	70	82	76
15	82	83	79
16	80	83	79
17	84	82	75
18	84	85	78

Tabela 31: Tabela com os dados de umidade do ar medidos no P0 - orla da praia e na estação meteorológica (Base Aérea de Santos) a 10m nos dias 12, 13 e 14 de abril

C. TABELA DOS DADOS MEDIDOS: PONTOS P0 (ORLA DA PRAIA) A 10M E A 1M5

<i>dia</i>	<i>hora</i>	<i>vel. oregon 10m</i>	<i>vel orla 1.5m</i>	<i>dia</i>	<i>hora</i>	<i>vel. oregon 10m</i>	<i>vel orla 1.5m</i>
12	9:20	0	1,3	13	9:20	4,5	1,2
12	9:25	0	1,1	13	9:25	3,7	2,9
12	9:30	0	0,8	13	9:30	3,7	3
12	9:50	0	0,8	13	9:50	3,9	0,8
12	9:55	0	1,1	13	9:55	4,5	2,6
12	10:00	0	1,3	13	10:00	4,3	2,7
12	10:20	0	1,1	13	10:20	3,9	1,9
12	10:25	0	1,3	13	10:25	3,9	2,8
12	10:30	0	2,1	13	10:30	4,9	1,3
12	12:20	2,8	2,1	13	12:20	3	1,7
12	12:25	2,8	2,5	13	12:25	3,4	0,1
12	12:30	2,8	2,5	13	12:30	3,4	1,6
12	12:50	1,6	2,4	13	12:50	3	1
12	12:55	1,6	1,3	13	12:55	3,4	0,5
12	13:00	2,6	2,6	13	13:00	3,4	0,6
12	13:20	1,8	1,8	13	13:20	3,7	3,2
12	13:25	3,4	3,1	13	13:25	2,8	3,4
12	13:30	2,6	3,1	13	13:30	3	4
12	15:20	2,6	2,1	13	15:20	2,8	0,3
12	15:25	2,6	2,2	13	15:25	2,8	2,1
12	15:30	2,4	1,6	13	15:30	2,4	1,5
12	15:50	2,4	1,9	13	15:50	1,8	2,9
12	15:55	3,2	2,3	13	15:55	2,2	2,8
12	16:00	3,2	2,3	13	16:00	2,4	3,1
12	16:20	2	1,6	13	16:20	3,7	2,8
12	16:25	2,4	0,5	13	16:25	3	2,6
12	16:30	2,2	1,8	13	16:30	3,3	3,1

<i>dia</i>	<i>hora</i>	<i>vel. oregon 10m</i>	<i>vel orla 1.5m</i>
14	9:20	1,4	1,2
14	9:25	2,6	1,1
14	9:30	1,8	1,2
14	9:50	2,4	1,9
14	9:55	2,4	1,9
14	10:00	1,8	1,5
14	10:20	2,4	1,7
14	10:25	2	1,5
14	10:30	2,4	1,7
14	12:20	4,7	4,4
14	12:25	5,7	6,5
14	12:30	4,7	4,9
14	12:50	4,7	2,9
14	12:55	4,7	5,6
14	13:00	4,7	4,7
14	13:20	5,7	5,2
14	13:25	6,7	5,6
14	13:30	5,9	5,4
14	15:20	5,3	4,8
14	15:25	5,3	4,7
14	15:30	5,3	3,9
14	15:50	3,7	4,5
14	15:55	4,3	3,7
14	16:00	4,7	4,2
14	16:20	4,7	3,9
14	16:25	4,5	2,7
14	16:30	4,5	3,3

Tabela 32: Tabelas com os dados de velocidade do ar medidos no P0 - orla da praia: valores a 10m e 1m5 medidos nos dias 12, 13 e 14 de abril

Alessandra Rodrigues PRATA

<i>día</i>	<i>hora</i>	<i>temp. Oregon 10m</i>	<i>temp orla 1.5m</i>	<i>día</i>	<i>hora</i>	<i>temp. Oregon 10m</i>	<i>temp orla 1.5m</i>
12	9:20	32,4	33,7	13	9:20	27,3	28,5
12	9:25	32,0	33,3	13	9:25	27,4	28,5
12	9:30	32,0	33,5	13	9:30	27,4	28,5
12	9:50	33,3	33,5	13	9:50	27,2	28,6
12	9:55	33,7	33,3	13	9:55	27,4	28,5
12	10:00	34,2	31,9	13	10:00	27,7	28,9
12	10:20	37,8	31,6	13	10:20	27,6	29,5
12	10:25	37,2	31,6	13	10:25	27,8	29,4
12	10:30	37,2	31,9	13	10:30	27,6	29,3
12	12:20	32,1	31,9	13	12:20	28,2	30,1
12	12:25	31,3	31,6	13	12:25	27,9	30,3
12	12:30	31,2	31,6	13	12:30	28,3	30,8
12	12:50	33,8	33,1	13	12:50	28,2	31,0
12	12:55	33,7	32,8	13	12:55	28,4	31,0
12	13:00	33,8	33,0	13	13:00	28,1	30,8
12	13:20	33,5	33,5	13	13:20	28,2	31,4
12	13:25	32,3	33,1	13	13:25	28,4	31,3
12	13:30	31,5	32,5	13	13:30	28,4	31,2
12	15:20	30,6	31,9	13	15:20	27,9	29,2
12	15:25	30,5	32,0	13	15:25	27,9	29,2
12	15:30	30,8	31,9	13	15:30	28,0	29,3
12	15:50	30,5	32,1	13	15:50	28,1	29,3
12	15:55	30,4	32,1	13	15:55	28,2	29,2
12	16:00	30,6	31,7	13	16:00	28,3	29,2
12	16:20	31,4	32,1	13	16:20	28,3	29,0
12	16:25	31,7	32,3	13	16:25	28,4	28,8
12	16:30	31,3	33,0	13	16:30	28,3	28,7

<i>día</i>	<i>hora</i>	<i>temp. Oregon 10m</i>	<i>temp orla 1.5m</i>
14	9:20	28,5	29,6
14	9:25	28,2	29,7
14	9:30	29,2	30,0
14	9:50	28,3	30,0
14	9:55	29,3	30,1
14	10:00	30,2	30,0
14	10:20	27,5	29,3
14	10:25	27,5	28,7
14	10:30	27,4	28,5
14	12:20	29,4	31,0
14	12:25	29,0	30,8
14	12:30	29,2	30,8
14	12:50	29,4	30,9
14	12:55	29,4	31,0
14	13:00	29,4	31,0
14	13:20	29,1	30,7
14	13:25	29,1	30,6
14	13:30	29,1	30,5
14	15:20	28,2	30,0
14	15:25	28,2	30,0
14	15:30	28,2	30,0
14	15:50	28,2	30,1
14	15:55	28,2	30,0
14	16:00	28,2	29,8
14	16:20	28,3	29,9
14	16:25	28,3	29,7
14	16:30	28,3	29,6

Tabela 33: Tabelas com os dados de temperatura do ar medidos no P0 - orla da praia: valores a 10m e 1m5 medidos nos dias 12, 13 e 14 de abril

PRATA, Alessandra Rodrigues

<i>dia</i>	<i>hora</i>	<i>UR oregon 10m</i>	<i>UR orla 1.5m</i>	<i>dia</i>	<i>hora</i>	<i>UR oregon 10m</i>	<i>UR orla 1.5m</i>
12	9:20	62,0	54,20	13	9:20	89,0	85,40
12	9:25	63,0	54,20	13	9:25	88,0	84,80
12	9:30	63,0	52,80	13	9:30	89,0	86,50
12	9:50	52,0	52,80	13	9:50	88,0	85,70
12	9:55	56,0	54,20	13	9:55	88,0	86,10
12	10:00	56,0	54,20	13	10:00	88,0	84,10
12	10:20	37,0	70,00	13	10:20	87,0	82,90
12	10:25	38,0	71,70	13	10:25	86,0	82,30
12	10:30	39,0	72,10	13	10:30	88,0	81,70
12	12:20	75,0	71,70	13	12:20	85,0	75,80
12	12:25	75,0	72,10	13	12:25	84,0	74,70
12	12:30	78,0	75,00	13	12:30	82,0	72,70
12	12:50	63,0	62,50	13	12:50	83,0	73,60
12	12:55	66,0	66,60	13	12:55	84,0	73,20
12	13:00	66,0	64,40	13	13:00	83,0	74,80
12	13:20	63,0	58,60	13	13:20	79,0	71,40
12	13:25	65,0	59,90	13	13:25	83,0	70,50
12	13:30	68,0	65,60	13	13:30	83,0	72,30
12	15:20	82,0	71,50	13	15:20	86,0	76,30
12	15:25	80,0	74,00	13	15:25	87,0	75,00
12	15:30	79,0	71,80	13	15:30	86,0	74,90
12	15:50	81,0	72,00	13	15:50	82,0	75,00
12	15:55	82,0	71,30	13	15:55	83,0	77,10
12	16:00	80,0	74,00	13	16:00	83,0	76,60
12	16:20	73,0	69,80	13	16:20	80,0	76,30
12	16:25	75,0	63,70	13	16:25	81,0	79,00
12	16:30	78,0	60,80	13	16:30	79,0	77,70

<i>dia</i>	<i>hora</i>	<i>UR oregon 10m</i>	<i>UR orla 1.5m</i>
14	9:20	70,0	64,30
14	9:25	69,0	61,60
14	9:30	69,0	63,50
14	9:50	68,0	66,60
14	9:55	70,0	66,50
14	10:00	70,0	68,30
14	10:20	76,0	70,80
14	10:25	78,0	72,40
14	10:30	78,0	74,00
14	12:20	69,0	65,40
14	12:25	69,0	62,50
14	12:30	68,0	62,50
14	12:50	69,0	64,10
14	12:55	68,0	64,10
14	13:00	70,0	64,20
14	13:20	70,0	64,90
14	13:25	73,0	67,00
14	13:30	73,0	66,00
14	15:20	79,0	70,40
14	15:25	79,0	71,90
14	15:30	79,0	67,50
14	15:50	79,0	69,00
14	15:55	79,0	70,60
14	16:00	79,0	71,40
14	16:20	76,0	70,80
14	16:25	76,0	72,10
14	16:30	76,0	69,70

Tabela 34: Tabelas com os dados de umidade relativa do ar medidos no P0 - orla da praia: valores a 10m e 1m5 medidos nos dias 12, 13 e 14 de abril

Alessandra Rodrigues PRATA

D. TABELA DOS DADOS MEDIDOS: PONTOS P0 (ORLA DA PRAIA), P1 (EDIFÍCIOS), P2 (PRAÇA CENTRAL) E P3 (AVENIDA) A 1M5

vel orla vel p1			vel orla vel p2			vel orla vel p3		
12abr			12abr			12abr		
09:20	1,3	0,60	9:50	0,8	0,35	10:20	1,1	0,43
9:25	1,1	0,65	9:55	1,1	0,65	10:25	1,3	1,38
9:30	0,8	0,32	10:00	1,3	0,56	10:30	2,1	0,90
12:20	2,1	0,58	12:50	2,4	0,29	13:20	1,8	0,38
12:25	2,5	1,08	12:55	1,3	0,39	13:25	3,1	1,26
12:30	2,5	0,41	13:00	2,6	0,33	13:30	3,1	0,81
15:20	2,1	0,51	15:50	1,9	0,60	16:20	1,6	0,53
15:25	2,2	0,66	15:55	2,3	0,67	16:25	0,5	0,13
15:30	1,6	0,95	16:00	2,3	0,40	16:30	1,8	0,01
13abr			13abr			13abr		
09:20	1,2	0,81	9:50	0,8	0,64	10:20	1,9	1,38
9:25	2,9	0,74	9:55	2,6	0,90	10:25	2,8	0,57
9:30	3	0,76	10:00	2,7	1,12	10:30	1,3	0,78
12:20	1,7	0,42	12:50	1	0,33	13:20	3,2	0,97
12:25	0,1	0,27	12:55	0,5	0,40	13:25	3,4	0,85
12:30	1,6	0,58	13:00	0,6	0,50	13:30	4	1,33
15:20	0,3	0,24	15:50	2,9	1,01	16:20	2,8	0,59
15:25	2,1	0,33	15:55	2,8	0,31	16:25	2,6	0,68
15:30	1,5	1,38	16:00	3,1	0,69	16:30	3,1	1,08
14abr			14abr			14abr		
9:20	1,2	0,59	9:50	1,9	0,48	10:20	1,7	0,59
9:25	1,1	0,99	9:55	1,9	0,63	10:25	1,5	1,23
9:30	1,2	0,35	10:00	1,5	0,62	10:30	1,7	1,36
12:20	4,4	0,21	12:50	2,9	1,05	13:20	5,2	1,07
12:25	6,5	0,50	12:55	5,6	0,03	13:25	5,6	1,14
12:30	4,9	1,15	13:00	4,7	0,52	13:30	5,4	1,33
15:20	4,8	0,63	15:50	4,5	0,34	16:20	3,9	0,66
15:25	4,7	0,11	15:55	3,7	0,56	16:25	2,7	0,71
15:30	3,9	0,56	16:00	4,2	0,26	16:30	3,3	1,99

Tabela 35: Tabela com os valores de velocidade do ar medidos nos pontos P0 (vel. orla), P1, P2 e P3 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso

PRATA, Alessandra Rodrigues

temp orla temp p1			temp orla temp p2			temp orla temp p3		
12abr			12abr			12abr		
9:20	33,7	34,9	9:50	33,5	34,3	10:20	31,6	37,8
9:25	33,3	35,2	9:55	33,3	35,2	10:25	31,6	38,1
9:30	33,5	35,4	10:00	31,9	36,3	10:30	31,9	38,1
12:20	31,9	33,4	12:50	33,1	35,2	13:20	33,5	34,5
12:25	31,6	32,9	12:55	32,8	35,0	13:25	33,1	34,9
12:30	31,6	32,3	13:00	33,0	34,7	13:30	32,5	35,1
15:20	31,9	32,7	15:50	32,1	33,1	16:20	32,1	34,2
15:25	32,0	32,6	15:55	32,1	32,9	16:25	32,3	34,5
15:30	31,9	32,5	16:00	31,7	32,8	16:30	33,0	34,8
13abr			13abr			13abr		
9:20	28,5	30,4	9:50	28,6	31,0	10:20	29,5	32,0
9:25	28,5	30,2	9:55	28,5	30,7	10:25	29,4	32,0
9:30	28,5	29,9	10:00	28,9	30,8	10:30	29,3	32,0
12:20	30,1	30,7	12:50	31,0	31,6	13:20	31,4	33,7
12:25	30,3	30,7	12:55	31,0	31,6	13:25	31,3	33,1
12:30	30,8	30,8	13:00	30,8	31,4	13:30	31,2	33,0
15:20	29,2	30,9	15:50	29,3	29,9	16:20	29,0	31,7
15:25	29,2	30,5	15:55	29,2	30,0	16:25	28,8	32,0
15:30	29,3	30,2	16:00	29,2	30,2	16:30	28,7	31,7
14abr			14abr			14abr		
9:20	29,6	32,7	9:50	30,0	32,9	10:20	29,3	31,4
9:25	29,7	32,7	9:55	30,1	32,9	10:25	28,7	30,8
9:30	30,0	32,8	10:00	30,0	33,2	10:30	28,5	30,9
12:20	31,0	31,4	12:50	30,9	31,9	13:20	30,7	34,0
12:25	30,8	31,3	12:55	31,0	33,8	13:25	30,6	33,4
12:30	30,8	31,0	13:00	31,0	34,3	13:30	30,5	33,0
15:20	30,0	30,5	15:50	30,1	30,8	16:20	29,9	32,3
15:25	30,0	30,4	15:55	30,0	30,9	16:25	29,7	32,4
15:30	30,0	30,4	16:00	29,8	30,6	16:30	29,6	32,6

Tabela 36: Tabela com os valores de temperatura do ar medidos nos pontos P0 (vel. orla), P1, P2 e P3 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso

Alessandra Rodrigues PRATA

	UR orla	UR p1		UR orla	UR p2		UR orla	UR p3
12abr			12abr			12abr		
9:20	54,20	41,30	9:50	52,80	43,40	10:20	70,00	33,70
9:25	54,20	40,50	9:55	54,20	40,90	10:25	71,70	33,70
9:30	52,80	39,90	10:00	54,20	37,10	10:30	72,10	32,90
12:20	71,70	62,10	12:50	62,50	53,80	13:20	58,60	57,70
12:25	72,10	65,70	12:55	66,60	54,90	13:25	59,90	53,90
12:30	75,00	68,00	13:00	64,40	55,50	13:30	65,60	54,00
15:20	71,50	69,60	15:50	72,00	64,00	16:20	69,80	57,10
15:25	74,00	68,40	15:55	71,30	63,50	16:25	63,70	56,60
15:30	71,80	67,60	16:00	74,00	66,10	16:30	60,80	55,30
13abr			13abr			13abr		
9:20	85,40	73,90	9:50	85,70	70,30	10:20	82,90	66,70
9:25	84,80	76,10	9:55	86,10	72,50	10:25	82,30	66,80
9:30	86,50	77,40	10:00	84,10	71,20	10:30	81,70	66,90
12:20	75,80	71,60	12:50	73,60	69,20	13:20	71,40	57,50
12:25	74,70	71,30	12:55	73,20	67,10	13:25	70,50	60,90
12:30	72,70	72,40	13:00	74,80	68,50	13:30	72,30	63,30
15:20	76,30	71,70	15:50	75,00	73,30	16:20	76,30	63,60
15:25	75,00	72,90	15:55	77,10	71,10	16:25	79,00	61,80
15:30	74,90	74,10	16:00	76,60	70,80	16:30	77,70	62,60
14abr			14abr			14abr		
9:20	64,30	51,10	9:50	66,60	50,00	10:20	70,80	60,70
9:25	61,60	51,90	9:55	66,50	50,60	10:25	72,40	62,60
9:30	63,50	51,40	10:00	68,30	49,00	10:30	74,00	62,10
12:20	65,40	59,30	12:50	64,10	47,90	13:20	64,90	47,40
12:25	62,50	60,00	12:55	64,10	48,30	13:25	67,00	49,60
12:30	62,50	60,80	13:00	64,20	47,50	13:30	66,00	50,40
15:20	70,40	64,60	15:50	69,00	62,70	16:20	70,80	55,40
15:25	71,90	65,30	15:55	70,60	62,30	16:25	72,10	54,70
15:30	67,50	65,30	16:00	71,40	63,20	16:30	69,70	54,40

Tabela 37: Tabela com os valores de umidade relativa do ar medidos nos pontos P0 (vel. orla), P1, P2 e P3 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso

médias dos valores registrados: velocidade do ar								
	vel orla	vel p1		vel orla	vel p2		vel orla	vel p3
12abr			12abr			12abr		
09:20	1,07	0,52	9:50	1,07	0,52	10:20	1,50	0,90
12:20	2,37	0,69	12:50	2,10	0,34	13:20	2,67	0,82
15:20	1,97	0,71	15:50	2,17	0,56	16:20	1,30	0,22
13abr			13abr			13abr		
09:20	2,37	0,77	9:50	2,03	0,89	10:20	2,00	0,91
12:20	1,13	0,42	12:50	0,70	0,41	13:20	3,53	1,05
15:20	1,30	0,65	15:50	2,93	0,67	16:20	2,83	0,78
14abr			14abr			14abr		
9:20	1,17	0,64	9:50	1,77	0,58	10:20	1,63	1,06
12:20	5,27	0,62	12:50	4,40	0,53	13:20	5,40	1,18
15:20	4,47	0,43	15:50	4,13	0,39	16:20	3,30	1,12
médias dos valores registrados: temperatura do ar								
	vel orla	vel p1		vel orla	vel p2		vel orla	vel p3
12abr			12abr			12abr		
09:20	33,50	35,17	9:50	32,90	35,27	10:20	31,70	38,00
12:20	31,70	32,87	12:50	32,97	34,97	13:20	33,03	34,83
15:20	31,93	32,60	15:50	31,97	32,93	16:20	32,47	34,50
13abr			13abr			13abr		
09:20	28,50	30,17	9:50	28,67	30,83	10:20	29,40	32,00
12:20	30,40	30,73	12:50	30,93	31,53	13:20	31,30	33,27
15:20	29,23	30,53	15:50	29,23	30,03	16:20	28,83	31,80
14abr			14abr			14abr		
9:20	29,77	32,73	9:50	30,03	33,00	10:20	28,83	31,03
12:20	30,87	31,23	12:50	30,97	33,33	13:20	30,60	33,47
15:20	30,00	30,43	15:50	29,97	30,77	16:20	29,73	32,43
médias dos valores registrados: umidade relativa do ar								
	vel orla	vel p1		vel orla	vel p2		vel orla	vel p3
12abr			12abr			12abr		
09:20	53,73	40,57	9:50	53,73	40,47	10:20	71,27	33,43
12:20	72,93	65,27	12:50	64,50	54,73	13:20	61,37	55,20
15:20	72,43	68,53	15:50	72,43	64,53	16:20	64,77	56,33
13abr			13abr			13abr		
09:20	85,57	75,80	9:50	85,30	71,33	10:20	82,30	66,80
12:20	74,40	71,77	12:50	73,87	68,27	13:20	71,40	60,57
15:20	75,40	72,90	15:50	76,23	71,73	16:20	77,67	62,67
14abr			14abr			14abr		
9:20	63,13	51,47	9:50	67,13	49,87	10:20	72,40	61,80
12:20	63,47	60,03	12:50	64,13	47,90	13:20	65,97	49,13
15:20	69,93	65,07	15:50	70,33	62,73	16:20	70,87	54,83

Tabela 38: Tabelas com os valores médios de velocidade, temperatura e umidade relativa do ar medidos nos pontos P0, P1, P2 e P3 para os dias 12, 13 e 14 de abril, a 1,5m do piso

Alessandra Rodrigues PRATA

E. ENSAIOS EM TÚNEL DE VENTO/LNEC: OUTRAS ORIENTAÇÕES

ENSAIO DIREÇÃO LESTE: Para os dados de velocidades estimadas, no ensaio, registra-se a pressão atmosférica P_{at} : 767.1mmHg, a temperatura ambiente (T_{amb} : 13 °C), a temperatura no interior do túnel ($T_{túnel}$: 13.3 °C) e os valores medidos por um tubo de *Pitot* de referência (pressão registrada (P_a)), localizado na parte superior da câmara de ensaio. Este dados são para a direção leste.

Ensaio: vento na direção Leste.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

NÚCLEO DE DINÂMICA APLICADA

Faixa de utilização da planilha

Temperatura: 0 °C a 30 °C

Pressão: 600 mmHg a 1060 mmHg

PLANILHA PARA CÁLCULO DAS CARACTERÍSTICAS DINÂMICAS DO TÚNEL DE VENTO

t amb	p atm	p túnel	t túnel	Cor t, p	Cor lat	p corrig	Rô túnel	v túnel	Rô túnel			
(gC)	(mmHg)	(mm ag)	(gC)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(UMM)	(m/s)	kg/m3		Pa	mm H2O
13,00	767,10	1,32	13,30	-1,68	-0,39	765,03	0,126578	4,56	1,2405	leste	12,9	1,32
13,00	767,10	1,66	13,30	-1,68	-0,39	765,03	0,126578	5,13	1,2405	leste	16,3	1,66
13,00	767,10	2,09	13,30	-1,68	-0,39	765,03	0,126578	5,75	1,2405	leste	20,5	2,09
13,00	767,10	2,57	13,30	-1,68	-0,39	765,03	0,126578	6,37	1,2405	leste	25,2	2,57
13,00	767,10	3,06	13,30	-1,68	-0,39	765,03	0,126578	6,95	1,2405	leste	30	3,06
13,00	767,10	3,57	13,30	-1,68	-0,39	765,03	0,126578	7,51	1,2405	leste	35	3,57
13,00	767,10	4,16	13,30	-1,68	-0,39	765,03	0,126578	8,11	1,2405	leste	40,8	4,16
13,00	767,10	4,81	13,30	-1,68	-0,39	765,03	0,126578	8,71	1,2405	leste	47,1	4,81
13,00	767,10	5,49	13,30	-1,68	-0,39	765,03	0,126578	9,31	1,2405	leste	53,8	5,49

Tabela 39: Betz (Pa) x Velocidade estimada (m/s) - direção Leste

Ensaio: vento na direção Leste.

As áreas preenchidas com cores diferenciadas correspondem às áreas erodidas conforme o aumento da rotação do motor. Os valores das velocidades estimadas para estas rotações, estão representadas no gráfico na página anterior. Posteriormente, estas imagens serão analisadas.

Figura 124: Resultado da simulação.

Figura 125: Imagem registrada no término do ensaio. Pode-se observar o acúmulo de areia em determinados pontos e os contornos ocasionados pelo arrasto dos grãos.

Para os dados de velocidades estimadas, no ensaio, registra-se a pressão atmosférica P_{atm} : 765.8 mmHg, a temperatura ambiente (T_{amb} : 14 °C), a temperatura no interior do túnel ($T_{\text{túnel}}$: 18.3 °C) e os valores medidos por um tubo de *Pitot* de referência (pressão registrada (Pa)), localizado na parte superior da câmara de ensaio. Estes dados são para a direção norte.

ENSAIO DIREÇÃO NORTE:

Ensaio: vento na direção Norte.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

NÚCLEO DE DINÂMICA APLICADA

Faixa de utilização da planilha

Temperatura: 0 °C a 30 °C

Pressão: 600 mmHg a 1060 mmHg

PLANILHA PARA CÁLCULO DAS CARACTERÍSTICAS DINÂMICAS DO TÚNEL DE VENTO

t amb	p atm	p túnel	t túnel	Cor t, p	Cor lat	p corrig	Rô túnel	v túnel	Rô túnel			
(gC)	(mmHg)	(mm ag)	(gC)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(UMM)	(m/s)	kg/m ³		Pa	mm H ₂ O
14,00	765,80	1,33	18,30	-1,81	-0,39	763,60	0,124173	4,62	1,2169	norte	13	1,33
14,00	765,80	1,68	18,30	-1,81	-0,39	763,60	0,124173	5,21	1,2169	norte	16,5	1,68
14,00	765,80	2,08	18,30	-1,81	-0,39	763,60	0,124173	5,79	1,2169	norte	20,4	2,08
14,00	765,80	2,53	18,30	-1,81	-0,39	763,60	0,124173	6,38	1,2169	norte	24,8	2,53
14,00	765,80	3,06	18,30	-1,81	-0,39	763,60	0,124173	7,02	1,2169	norte	30	3,06
14,00	765,80	3,55	18,30	-1,81	-0,39	763,60	0,124173	7,56	1,2169	norte	34,8	3,55
14,00	765,80	4,23	18,30	-1,81	-0,39	763,60	0,124173	8,26	1,2169	norte	41,5	4,23
14,00	765,80	4,82	18,30	-1,81	-0,39	763,60	0,124173	8,81	1,2169	norte	47,2	4,82
14,00	765,80	5,63	18,30	-1,81	-0,39	763,60	0,124173	9,52	1,2169	norte	55,2	5,63

Tabela 40: Betz (Pa) x Velocidade estimada (m/s) - direção Norte

Alessandra Rodrigues PRATA

Ensaio: vento na direção Norte.

As áreas preenchidas com cores diferenciadas correspondem às áreas erodidas conforme o aumento da rotação do motor. Os valores das velocidades estimadas para estas rotações, estão representadas no gráfico na página anterior. Posteriormente, estas imagens serão analisadas.

Figura 126: Resultado da simulação.

Figura 127: Imagens registradas no término do ensaio. Pode-se observar o acumulo de areia em determinados pontos e os contornos ocasionados pelo arrasto dos grãos.

Para os dados de velocidades estimadas, no ensaio, registra-se a pressão atmosférica P_{atm} : 767.1mmHg, a temperatura ambiente (T_{amb} : 14.3 °C), a temperatura no interior do túnel ($T_{túnel}$: 17.3 °C) e os valores medidos por um tubo de *Pitot* de referência (pressão registrada (Pa)), localizado na parte superior da câmara de ensaio. Estes dados são para o ensaio noroeste.

ENSAIO DIREÇÃO NOROESTE:

Ensaio: vento na direção Noroeste.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

NÚCLEO DE DINÂMICA APLICADA

Faixa de utilização da planilha

Temperatura: 0 °C a 30 °C

Pressão: 600 mmHg a 1060 mmHg

PLANILHA PARA CÁLCULO DAS CARACTERÍSTICAS DINÂMICAS DO TÚNEL DE VENTO

t amb	p atm	p túnel	t túnel	Cor t, p	Cor lat	p corrig	Rô túnel	v túnel	Rô túnel			
(gC)	(mmHg)	(mm ag)	(gC)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(UMM)	(m/s)	kg/m ³		Pa	mm H ₂ O
14,30	761,70	1,33	17,30	-1,84	-0,39	759,47	0,123927	4,63	1,2145	noroeste	12,5	1,28
14,30	761,70	1,68	17,30	-1,84	-0,39	759,47	0,123927	5,21	1,2145	noroeste	16,2	1,65
14,30	761,70	2,08	17,30	-1,84	-0,39	759,47	0,123927	5,80	1,2145	noroeste	20	2,04
14,30	761,70	2,53	17,30	-1,84	-0,39	759,47	0,123927	6,39	1,2145	noroeste	24,2	2,47
14,30	761,70	3,06	17,30	-1,84	-0,39	759,47	0,123927	7,03	1,2145	noroeste	29,1	2,97
14,30	761,70	3,55	17,30	-1,84	-0,39	759,47	0,123927	7,57	1,2145	noroeste	34,4	3,51
14,30	761,70	4,23	17,30	-1,84	-0,39	759,47	0,123927	8,27	1,2145	noroeste	40,2	4,10
14,30	761,70	4,82	17,30	-1,84	-0,39	759,47	0,123927	8,82	1,2145	noroeste	46,5	4,74
14,30	761,70	5,63	17,30	-1,84	-0,39	759,47	0,123927	9,53	1,2145	noroeste	53,1	5,42

Tabela 41: Betz (Pa) x Velocidade estimada (m/s) - direção Noroeste

Ensaio: vento na direção Noroeste.

As áreas preenchidas com cores diferenciadas correspondem às áreas erodidas conforme o aumento da rotação do motor. Os valores das velocidades estimadas para estas rotações, estão representadas no gráfico na página anterior. Posteriormente, estas imagens serão analisadas.

Figura 128: Resultado da simulação.

Figura 129: Imagens registradas no término do ensaio. Pode-se observar o acúmulo de areia em determinados pontos e os contornos ocasionados pelo arrasto dos grãos.

Alessandra Rodrigues PRATA

Para os dados de velocidades estimadas, no ensaio oeste, registra-se a pressão atmosférica P_{atm} : 760.4mmHg, a temperatura ambiente (T_{amb} : 16 °C), a temperatura no interior do túnel ($T_{\text{túnel}}$: 16.4 °C).

ENSAIO DIREÇÃO OESTE:

Ensaio: vento na direção Oeste.

As áreas preenchidas com cores diferenciadas correspondem às áreas erodidas conforme o aumento da rotação do motor. Os valores das velocidades estimadas para estas rotações, estão representadas no gráfico na página anterior. Posteriormente, estas imagens serão analisadas.

Figura 130: Resultado da simulação.

Figura 131: Imagem registrada no término do ensaio. Pode-se observar o acúmulo de areia em determinados pontos e os contornos ocasionados pelo arrasto dos grãos.

F. SOFTWARE *ECOTECT*

Este software possibilita, dentre outras coisas, entender quanto a insolação, as condições de uma dada área em sua situação atual e com alterações de projeto.

O *Ecotect* é um aplicativo desenvolvido pela *Square One Research*, Austrália, disponível para *download* na *internet*³⁰, que permite realizar cálculos e análises de iluminação natural e artificial, radiação, térmica, acústica e estudos de sombras. Possui um sistema de modelagem 3D próprio de fácil compreensão e telas interativas de informações, que entre outras coisas permitem aplicar materiais de seu banco de dados ou criar novos materiais (LUZ, 2005).

A modelagem pode ser feita no próprio *Ecotect* ou ser importada de aplicativos que gerem arquivos com extensões *3DS* ou *DXF*, porém quando o arquivo é importado verificam-se alguns problemas dependendo da complexidade deste. Por vezes os resultados são distorcidos por imperfeições no processo de migração, sendo difícil e trabalhoso identificar e corrigir tais imperfeições. Recomenda-se que toda a modelagem seja feita no *ECOTECT*, assim como a aplicação dos materiais. Podem-se importar desenhos 2D de referência, com extensão *DXF*, para facilitar a modelagem (LUZ, 2005).

A simulação e análise dos resultados podem ser feitas no *Ecotect*, mas é possível também, após a modelagem, exportar os dados para outros aplicativos com modelos matemáticos e de análise mais sofisticados, procedimento este que é recomendado na documentação técnica do *ECOTECT* como forma de se obter resultados mais precisos (LUZ, 2005).

Como exemplo estão apresentadas algumas máscaras e imagens de insolação, referentes a área de estudo com a configuração atual e com alterações.

Da **Figura 132** a **Figura 135** as imagens foram geradas para o dia 12 de abril de 2005, nos horários das 9h, 12h e 15h.

³⁰ Download em <http://www.squ1.com>; com acesso em abril de 2005.

P1

P2

P3

Figura 132: Imagem - Máscaras (situação atual)

PRATA, Alessandra Rodrigues

Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural em meio urbano.
Tese de Doutorado, FAUUSP, São Paulo, 2005.

9h mês abril

12h mês abril

15h mês abril

Figura 133: Imagem - Insolação (situação atual)

Alessandra Rodrigues PRATA

Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural em meio urbano.
Tese de Doutorado, FAUUSP, São Paulo, 2005.

Figura 134: Imagem - Máscaras (alterações)

PRATA, Alessandra Rodrigues

Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural em meio urbano.
 Tese de Doutorado, FAUUSP, São Paulo, 2005.

9h mês abril

12h mês abril

15h mês abril

Figura 135: Imagem - Insolação (alterações)

Alessandra Rodrigues PRATA

Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural em meio urbano.
Tese de Doutorado, FAUUSP, São Paulo, 2005.