UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

CAROLINA GASPAR LEITE

**ALTERAÇÕES DA VENTILAÇÃO URBANA FRENTE AO PROCESSO
DE VERTICALIZAÇÃO DE AVENIDAS LITORÂNEAS: O CASO DA
AVENIDA LITORÂNEA DE SÃO LUÍS/MA.**

SÃO PAULO
2008

CAROLINA GASPAR LEITE

**Alterações da ventilação urbana frente ao processo de
verticalização de avenidas litorâneas: o caso da Avenida Litorânea
de São Luís/MA.**

Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e
Urbanismo da Universidade de São Paulo para obtenção do
grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.
Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura.
Orientadora: Profª Drª Anésia Barros Frota.
Financiamento FAPESP.

**São Paulo
2008**

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

E-MAIL: carolgasparleite@yahoo.com.br

Leite, Carolina Gaspar

L533a Alterações na ventilação urbana frente ao processo de verticalização de avenidas litorâneas: o caso da Avenida Litorânea de São Luís/MA. / Carolina Gaspar Leite. - - São Paulo, 2008.

227 p : il.

Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) - FAUUSP.

Orientadora: Anésia Barros Frota

1. Conforto Ambiental 2. Conforto térmico das construções 3. Ventilação 4. Verticalização 5. Software - Simulação I. Título

CDU 504.055

CAROLINA GASPAR LEITE

**Alterações da ventilação urbana frente ao processo de
verticalização de avenidas litorâneas: o caso da Avenida Litorânea
de São Luís/MA.**

Dissertação aprovada como requisito para obtenção do grau de Mestre em
Arquitetura e Urbanismo pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da
Universidade de São Paulo, pela Comissão formada pelos professores:

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

Banca Examinadora

Banca Examinadora

São Paulo, ____ de _____ de 2008.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às pessoas que mais amo na vida,

Meus pais Almir e Jesus

Meus irmãos Gustavo e Camila

Meu amado Marcio

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora Prof^a Dr^a Anésia Barros Frota que, com seu valioso conhecimento, possibilitou a realização desta pesquisa. Sua sabedoria, doçura e dedicação marcaram todos os momentos desta caminhada conjunta.

Ao apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento da pesquisa.

À Prof^a Dr^a Denise Helena Silva Duarte e ao Prof^o Dr^o Antonio Luis de Campos Mariani, pelas contribuições fundamentais no Exame de Qualificação.

Às professoras Marcia Peinado Alucci, Joana Carla Soares Gonçalves, e, novamente, Denise Helena Silva Duarte, pelo constante incentivo a este trabalho e por permitirem minha participação no LABAUT.

Ao todos os pesquisadores do LABAUT, grandes amigos presentes em todas as etapas desta pesquisa, especialmente Alessandra Prata, Anarrita Buoro, Andrea Bazarian, Cecília Muller, Daniel Cóstola, Leonardo Monteiro, Rafael Brandão.

Aos amigos Hermínia Machry, Milton Guilhon Rosa, Raíssa Neves, pela colaboração, tradução e revisão.

Ao Núcleo de NEMRH/UEMA, em especial, Gunter Reschke, pela concessão dos dados da PCD de São Luís; e Isis Rozário e Ladyanne Asevedo, pela participação nas medições de campo.

À Guarda Municipal de São Luís, na figura do Comandante Raimundo da S. Araújo Neto, que garantiu a segurança da etapa de medição de campo. Aos moradores do bairro Calhau, pelo apoio nesta etapa.

É o sonho que liberta. De tudo: do mundo,
dos outros, de nós. É necessário crer no
sonho. E salvá-lo sempre. Para nos
salvamos. Para deixarmos a face radiosa de
nossa alegria no último ermo, e na última
sombra, onde outras vidas, depois, vierem
um dia perguntar as coisas que hoje
andamos nos perguntando.

Cecília Meireles

RESUMO

Em algumas capitais da costa do nordeste do Brasil, a verticalização de áreas de orla marítima representa uma barreira em potencial contra a passagem da ventilação natural ao interior destas cidades. Na cidade de São Luís/MA, inicia-se um processo de verticalização nas proximidades da Avenida Litorânea, localizada na praia do Calhau, com 5,3km de extensão. Esta pesquisa tem o objetivo de investigar a relação entre esta iminente verticalização e a ventilação natural. Para isto, foram construídos cinco diferentes cenários de verticalização neste bairro, variando-se o gabarito, os afastamentos laterais e a tipologia dos edifícios propostos, em lotes voltados para a avenida mencionada. Em seguida, estes cenários foram simulados no *Ansys CFX Software* e comparados com a situação atual. Foram monitorados 24 pontos distribuídos em seis quadras, observando-se a influência de cada cenário sugerido nos padrões de velocidade e direção do vento e pressão no nível do pedestre. Concluiu-se que os cenários de verticalização propostos influenciam significativamente nos padrões do vento. Portanto, este trabalho traz uma grande contribuição para o planejamento urbano de São Luís, auxiliando o planejador na pré-determinação dos impactos de novos edifícios nos padrões de ventilação natural em áreas de orla já ocupadas.

Palavras-Chave: conforto ambiental, ventilação natural, ventilação natural no meio urbano, ventilação x verticalização, simulação computacional – CFX.

ABSTRACT

In some of the coastal capitals of the Brazilian northeast states, the building verticalization of seaside areas represents a potential barrier to the air flow through the built environment, towards the inner city areas. In São Luís, capital of the state of Maranhão (MA), the verticalization process has begun along Litorânea Avenue, which is a 5,3km long street located in Calhau's Beach district. In this context, the objective of this research work is to investigate the relationship between this imminent verticalization and the natural ventilation. In order to fulfill such objective, there were created five different fictional scenarios of verticalization among the sites placed in Litorânea Avenue, which were gathered according to the height, distances between buildings and building's typology. These scenarios were simulated in *Ansys CFX Software* and compared with the area's current situation. Along six blocks of the avenue, 24 points were distributed and monitored, observing the influence of each proposed scenario in the wind velocity and direction patterns, also considering the pressure in the pedestrian level. As a conclusion to this study, the pointed scenarios of verticalization have proved to result in significant influence in the wind pattern, distinguished from each other. Contributing to the urban planning of the city of São Luís, this research anticipates the impact of new buildings in the air flow of already occupied seaside areas.

Keyword: environmental comfort, natural ventilation, ventilation x verticalization, built environment, computer simulation - CFX.

SUMÁRIO

FOLHA DE APROVAÇÃO.....	3
DEDICATÓRIA.....	5
AGRADECIMENTOS.....	7
EPÍGRAFE.....	9
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
LISTSA DE ILUSTRAÇÕES.....	19
LISTAS DE REDUÇÕES.....	25
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO.....	31
1.1 Colocação do problema e justificativa.....	32
1.2 Objeto de estudo.....	37
1.3 Objetivos da pesquisa.....	37
1.4 Recursos e restrições.....	38
1.5 Metodologia.....	40
1.6 Estrutura do trabalho.....	41
CAPÍTULO 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	45
2.1 Estado da arte.....	45
2.2 Ventilação natural no meio urbano.....	59
2.2.1 Origem do vento.....	59
2.2.2 Tipos de vento.....	61
2.2.3 Espectro do vento atmosférico.....	63
2.2.4 Parâmetros aerodinâmicos: velocidade e direção.....	65
2.2.5 Escoamento Laminar e Turbulento.....	66

2.2.6 Turbulência e Número de Reynolds.....	67
2.2.7 Camada Limite Atmosférica (CLA).....	68
2.2.8 Rugosidade Aerodinâmica e Perfil de Velocidade.....	71
2.2.9 Efeitos do vento.....	74
CAPÍTULO 3 ESTUDO DE CASO: A CIDADE DE SÃO LUÍS.....	79
3.1 Localização.....	79
3.2 Legislação Urbanística Básica do Município de São Luís.....	81
3.2.1 Lei do Plano Diretor.....	82
3.2.2 Lei de Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo.	84
3.2.3 Código de Obras de São Luís.....	86
3.3 Crescimento e verticalização na cidade de São Luís.....	88
3.4 A Avenida Litorânea.....	90
3.4.1 Breve histórico.....	90
3.4.2 Formas de ocupação.....	91
3.4.3 Levantamento fotográfico.....	96
3.5 Diagnóstico climático de São Luís.....	99
CAPÍTULO 4 DETALHAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO.....	111
4.1 Levantamento físico-arquitetônico da Área 2 (Ipem Calhau)	111
4.2 Delimitação da área de estudo.....	114
4.3 Definição dos cenários de verticalização.....	115
4.4 Medições <i>in loco</i> de elementos climáticos de velocidade e direção do vento, temperatura e umidade relativa.....	118
4.4.1 Preparação para a medição.....	118
4.4.2 O terreno da medição.....	121
4.4.3 Os pontos de medição.....	123

4.4.4 Os dias de medição.....	125
4.4.5 Análise dos elementos climáticos aferidos.....	127
4.4.6 Comparação entre os dados: estação Oregon e PCD de São Luís.....	128
4.4.7 Transposição da velocidade do vento para o local do projeto.	130
 CAPÍTULO 5 METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO VENTO NO MEIO URBANO: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL/CFD.....	135
5.1 Definição das simulações.....	136
5.2 Construção da geometria.....	140
5.3 Definição do domínio e concepção do modelo.....	142
5.4 <i>ANSYS Icem CFD</i> : construção da geometria e criação da malha.....	144
5.5 <i>CFX-Pre</i>	149
5.5.1 Condições iniciais.....	150
5.5.2 Condições de contorno.....	152
5.6 <i>Equation-Solving: CFX-Solver</i>	156
5.7 <i>Post-Processing: CFX-Post</i>	157
5.7.1 Convergência.....	158
5.7.2 Análise dos resultados obtidos.....	161
5.8 As limitações das simulações.....	185
 CAPÍTULO 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	197
 REFERÊNCIAS.....	205
APÊNDICE.....	217
ANEXO.....	225

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Listas de Figuras

Figura 1	Brisas marítima e noturna.....	60
Figura 2	Deflexão nos ventos pelo efeito Coriolis.....	60
Figura 3	Terra parada.....	61
Figura 4	Terra em rotação.....	61
Figura 5	Circ. global idealizada no modelo de circulação de três células.	61
Figura 6	Espectro do vento atmosférico, latitudes médias do hem. N....	64
Figura 7	Experimento de Reynolds: o escoamento da água em um tubo	66
Figura 8	Água em piscina de natação.....	67
Figura 9	Formações de vórtices em zonas de separação.....	67
Figura 10	Estrutura da CLA em condições de estabilidade neutra.....	69
Figura 11	Comparação dos perfis de camadas limites em escoamento laminar e turbulento, respectivamente.....	70
Figura 12	Estrutura da camada de ar sobre a cidade.....	70
Figura 13	Rugosidade Aerodinâmica de alguns tipos de terreno.....	72
Figura 14	Perfis de Vento: Efeito da rugos. no perfil de veloc. do vento...	73
Figura 15	Efeitos aerodinâmicos, devido à forma do edifício.....	75
Figura 16	Maranhão em destaque no Brasil e Ilha de São Luís.....	79
Figura 17	Mapa Ilha de São Luís.....	79
Figura 18	Mapa de acesso à São Luís.....	80
Figura 19	O processo de verticalização de alguns bairros de São Luís.....	90
Figura 20	Identific. das diferentes ocup. para escolha da área de estudo.	92
Figura 21	Área 1: Edificações da Avenida Litorânea.....	93
Figura 22	Área 2: Edificações do bairro Ipem Calhau.....	94
Figura 23	Área 3: Edificações de 17 pavimentos.....	95
Figura 24	Fotografia Panorâmica da Área de Estudo 3.....	97
Figura 25	Imagem aérea com indicação das fotos tiradas na Fig. 26.....	97
Figura 26	Fotos aleatórias tiradas na Avenida Litorânea.....	97
Figura 27	Classificação Climática segundo Mahoney.....	102
Figura 28	Localização e fotografia da PCD de São Luís.....	106
Figura 29	Distância Linear entre Área de Estudo e PCD de São Luís.....	106
Figura 30	Planta de Gabarito da Área 2.....	112

Figura 31	Planta de Uso e Ocupação do Solo da Área 2.....	113
Figura 32	Delimitação da Área de Estudo.....	114
Figura 33	Fortaleza (1e1'), Natal (2e2'), Recife (3e3') Maceió (4e4').....	115
Figura 34	Estação Meteorológica.....	119
Figura 35	Kit Conforto.....	119
Figura 36	Extensão.....	119
Figura 37	Suporte.....	119
Figura 38	Posição dos sensores normatizada pela ISO7726/98 para medição dos parâmetros físicos do ambiente homogêneo.....	121
Figura 39	O terreno de medição e seu entorno.....	122
Figura 40	V1: Residência unifamiliar vizinha.....	122
Figura 41	V2: Construções da Rua Alpercatas.....	122
Figura 42	V3: Hotel do entorno.....	122
Figura 43	Pontos de medição.....	123
Figura 44	PCasa, PCentral, PHotel, apoio, PComp, PEstação, PHotel.....	123
Figura 45	Redução na veloc. do vento devido à presença de obstáculo....	124
Figura 46	Efeitos topográfico e de rugosidade no perfil do vento.....	130
Figura 47	Vetorização da área em Auto CAD.....	140
Figura 48	Levantamento Topográfico simplificado em <i>Google Earth</i>	140
Figura 49	Representação da topografia da área estudada.....	140
Figura 50	Modelo da Situação Atual (Perspectiva NO).....	141
Figura 51	Dimensões do domínio da 1ª, 2ª e 3ª simulações.....	143
Figura 52	Dimensões do domínio da 4ª, 5ª e 6ª simulações.....	143
Figura 53	Criação das <i>parts</i>	145
Figura 54	Malha no domínio em planta.....	146
Figura 55	Detalhe em 3D da malha nos prédios e no piso.....	147
Figura 56	Detalhe em corte da malha em uma edificação de 3 pav.....	147
Figura 57	Detalhe da malha em 3D.....	148
Figura 58	Entrada e aberturas do domínio.....	153
Figura 59	PREDIOS e DOM_PISO: <i>no slip/ smooth wall</i>	154
Figura 60	DOM_TETO: <i>free slip</i>	154
Figura 61	Características das <i>parts</i> ENTRADA e DOM_OUTROS.....	155
Figura 62	Tela de início do processamento no <i>CFX-Solver</i>	157
Figura 63	Quadras analisadas.....	161

Figura 64	Planos no nível do pedestre.....	161
Figura 65	Planos verticais.....	161
Figura 66	<i>Monitor Points</i>	162
Figura 67	Avaliação do Cenário Atual.....	164
Figura 68	Avaliação do Cenário 1.....	167
Figura 69	Avaliação do Cenário 2.....	170
Figura 70	Avaliação do Cenário 3.....	173
Figura 71	Avaliação do Cenário 4.....	176
Figura 72	Avaliação do Cenário 5.....	179
Figura 73	Perspectivas NE e SO do Cenário Atual.....	181
Figura 74	Perspectivas NE e SO do Cenário 1.....	182
Figura 75	Perspectivas NE e SE do Cenário 2.....	182
Figura 76	Perspectivas NE e SO do Cenário 3.....	183
Figura 77	Perspectivas NE e SO do Cenário 4.....	184
Figura 78	Perspectivas NE e SO do Cenário 5.....	184
Figura 79	Vetor Velocidade (25m).....	188
Figura 80	Vetor Velocidade (50m).....	188
Figura 81	Vetor Velocidade (75m).....	189
Figura 82	Vetor Velocidade (100m).....	189
Figura 83	Vetor Velocidade (125m).....	190
Figura 84	Vetor Velocidade (150m).....	190
Figura 85	Vetor Velocidade (P1) – direção E.....	191
Figura 86	Vetor Velocidade (P1) – direção NE.....	191
Figura 87	Vetor Velocidade (P2) – direção E.....	192
Figura 88	Vetor Velocidade (P2) – direção NE.....	192
Figura 89	Vetor Velocidade (P3) – direção E.....	192
Figura 90	Vetor Velocidade (P3) – direção NE.....	192

Lista de Gráficos

Gráfico 1	Escoamento Laminar (a) e Turbulento (b).....	67
Gráfico 2	Insolação mensal.....	100
Gráfico 3	Nebulosidade mensal.....	100
Gráfico 4	Precipitação mensal.....	100
Gráfico 5	Distribuição mensal da direção de vento (1ª pred.).....	101

Gráfico 6	Distribuição mensal da direção de vento (2ª pred.).....	101
Gráfico 7	Distribuição mensal da velocidade de vento (1ª pred.).....	101
Gráfico 8	Distribuição mensal da velocidade de vento (2ª pred.)	101
Gráfico 9	Rosa dos ventos – São Luís (direção).....	102
Gráfico 10	Rosa dos ventos – São Luís (velocidade).....	102
Gráfico 11	Carta Bioclimática de Givoni.....	103
Gráfico 12	Média mensal de radiação diária.....	104
Gráfico 13	Dia de radiação global máxima.....	104
Gráfico 14	Médias mensais de temperatura.....	104
Gráfico 15	Freq. de ocorrência da veloc. de vento medida pela PCD SLZ	108
Gráfico 16	Freq. de ocorrência da direção de vento medida pela PCD SLZ	108
Gráfico 17	Freq. (%) de oc. da veloc. vento (m/s) nos 2 dias de medição	128
Gráfico 18	Freq. (%) de oc. da direção do vento nos 2 dias de medição..	128
Gráfico 19	Velocidade – comparação entre Estação Oregon e PCD SLZ....	128
Gráfico 20	Temperatura – comparação entre Estação Oregon e PCD SLZ.	128
Gráfico 21	Umidade Relativa – comparação entre Est. Oregon e PCD SLZ	128
Gráfico 22	Número de ocorrências da velocidade do vento – comparação entre Estação Oregon e PCD de São Luís.....	129
Gráfico 23	Número de ocorrências da direção do vento – comparação entre Estação Oregon e PCD de São Luís.....	129
Gráfico 24	RMS de Momento e Massa Simulação 1.....	159
Gráfico 25	RMS de Turbulência Simulação 1.....	159
Gráfico 26	RMS de Momento e Massa Simulação 2.....	159
Gráfico 27	RMS de Turbulência Simulação 2.....	159
Gráfico 28	RMS de Momento e Massa Simulação 3.....	159
Gráfico 29	RMS de Turbulência Simulação 3.....	159
Gráfico 30	RMS de Momento e Massa Simulação 4.....	160
Gráfico 31	RMS de Turbulência Simulação 4.....	160
Gráfico 32	RMS de Momento e Massa Simulação 5.....	160
Gráfico 33	RMS de Turbulência Simulação 5.....	160
Gráfico 34	RMS de Momento e Massa Simulação 6.....	160
Gráfico 35	RMS de Turbulência Simulação 6.....	160
Gráfico 36	RMS de Momento e Massa Simulação 1 – direção E.....	186
Gráfico 37	RMS de Momento e Massa Simulação 1 – direção NE.....	186

Gráfico 38	RMS de Turbulência Simulação 1 – direção E.....	187
Gráfico 39	RMS de Turbulência Simulação 1 – direção NE.....	187
Gráfico 40	1ª e 2ª Predominâncias de Direção de Vento – 30jan.....	217
Gráfico 41	Número de Ocorrências das Direções de Vento – 30jan.....	217
Gráfico 42	Frequência de Ocorrência da Velocidade de Vento – 30jan....	218
Gráfico 43	Número de Ocorrências da Velocidade de Vento – 30jan.....	218
Gráfico 44	1ª e 2ª Predominâncias de Direção de Vento – 01fev.....	220
Gráfico 45	Número de Ocorrências das Direções de Vento – 01fev.....	220
Gráfico 46	Frequência de Ocorrência da Velocidade de Vento – 01fev....	220
Gráfico 47	Número de Ocorrências da Velocidade de Vento – 01fev.....	220

Lista de Organogramas

Organograma 1	Processo metodológico.....	40
---------------	----------------------------	----

Lista de Quadros

Quadro 1	Resumo dos cenários de verticalização.....	117
Quadro 2	Resumo das simulações.....	137

Lista de Tabelas

Tabela 1	Zonas.....	84
Tabela 2	Vãos de Iluminação.....	85
Tabela 3	Afastamentos.....	86
Tabela 4	Operações Urbanas – Zonas.....	87
Tabela 5	Operações Urbanas – Corredores.....	87
Tabela 6	Dados de São Luís.....	100
Tabela 7	Dados de vento.....	101
Tabela 8	Balanco Térmico – São Luís.....	103
Tabela 9	Média dos dados horários.....	105
Tabela 10	Comp. dos dados da PCD SLZ nos anos 2003, 2004 e 2005...	108
Tabela 11	Resumo dos dias de medição.....	126
Tabela 12	Médias, mín. e máx. dos dados nos dois dias de medição.....	127
Tabela 13	Quantidade de elementos de malha dos diferentes domínios..	148
Tabela 14	Características do domínio.....	150
Tabela 15	Relação entre o tamanho da malha e a duração e o número	

	de iterações das simulações.....	151
Tabela 16	Características das <i>parts</i>	155
Tabela 17	Quantidades do Cenário Atual – direção E.....	185
Tabela 18	Quantidades do Cenário Atual – direção NE.....	185
Tabela 19	Quantidades do Cenário Atual – direção NE.....	186
Tabela 20	Velocidade (m/s) e pressão (Pa) nos pontos monitorados.....	198
Tabela 21	Valores diários registrados pela Estação <i>Oregon</i> – 30jan.....	217
Tabela 22	Valores registrados às 8h pela Estação, 30jan.....	218
Tabela 23	Valores registrados às 9h pela Estação, 30jan.....	218
Tabela 24	Valores registrados às 10h pela Estação, 30jan.....	218
Tabela 25	Valores registrados às 11h pela Estação, 30jan.....	218
Tabela 26	Valores registrados às 12h pela Estação, 30jan.....	218
Tabela 27	Valores registrados às 13h pela Estação, 30jan.....	218
Tabela 28	Valores registrados às 14h pela Estação, 30jan.....	219
Tabela 29	Valores registrados às 15h pela Estação, 30jan.....	219
Tabela 30	Valores registrados às 16h pela Estação, 30jan.....	219
Tabela 31	Valores registrados às 17h pela Estação, 30jan.....	219
Tabela 32	Valores registrados às 18h pela Estação, 30jan.....	219
Tabela 33	Valores diários registrados pela Estação <i>Oregon</i> – 01fev.....	219
Tabela 34	Valores registrados às 6h pela Estação, 01fev.....	221
Tabela 35	Valores registrados às 7h pela Estação, 01fev.....	221
Tabela 36	Valores registrados às 8h pela Estação, 01fev.....	221
Tabela 37	Valores registrados às 9h pela Estação, 01fev.....	221
Tabela 38	Valores registrados às 10h pela Estação, 01fev.....	221
Tabela 39	Valores registrados às 11h pela Estação, 01fev.....	221
Tabela 40	Valores registrados às 12h pela Estação, 01fev.....	221
Tabela 41	Valores registrados às 13h pela Estação, 01fev.....	221
Tabela 42	Valores registrados às 14h pela Estação, 01fev.....	221
Tabela 43	Valores registrados às 15h pela Estação, 01fev.....	221
Tabela 44	Valores registrados às 16h pela Estação, 01fev.....	221
Tabela 45	Valores registrados às 17h pela Estação, 01fev.....	221

LISTAS REDUÇÕES

Listas de Abreviaturas

Aprov.	Aproveitamento
Aprox.	Aproximadamente
Art.	Artigo
A.L.M.L.	Área Livre Mínima do Lote
ATME	Área Total Máxima de Edificação
Circ.	Circulação
CLA	Camada Limite Atmosférica
Comp.	Comparação
CS	Corredor Secundário
E	Leste
Est.	Estação
Fig.	Figura(s)
Freq.	Frequência
Gráf.	Gráfico
GEE	Gases que provocam o Efeito Estufa
Hem.	Hemisfério
Identific.	Identificação
Ilumin.	Iluminação
Larg.	Largura
L	Leste
Máx.	Máximas
Mín.	Mínimas
N	Norte
NE	Nordeste
Neb.	Nebulosidade
O	Oeste
Oc.	Ocorrência
Ocup.	Ocupação
p.	Página
Pav.	Pavimento(s)
Pred.	Predominância

Prof ^o Dr ^o	Professor Doutor
Pts	Pontos
PVC	Poli cloreto de vinila
Rad.	Radiação
Re	Número de Reynolds
Rugos.	Rugosidade
S	Sul
SLZ	São Luís
SO	Sudoeste
Sr.	Senhor
T	Temperatura
Tab.	Tabela
TBS	Temperatura de Bulbo Seco
TBU	Temperatura de Bulbo Úmido
UBL	<i>Urban Boundary Layer</i>
v.	Volume
Veloc.	Velocidade
Ventilaç.	Ventilação
VG	Vento geostrófico
W	Oeste
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZPA	Zona de Proteção Ambiental
ZR	Zona Residencial
ZT	Zona Turística
UCL	<i>Urban Canopy Layer</i>

Listas de Siglas

AABB	Associação Atlética Banco do Brasil
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
BA	Bahia
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
CFN	Companhia Ferroviária do Nordeste
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CTA	Centro Técnico Aeroespacial
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FAUUSP	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo
FEA	<i>Finite Element Analysis</i>
GEPLAN	Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico
IAE	Instituto de Aeronáutica e Espaço
IBF	Instituto Brasileiro do Frio
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
IES – VE	Integrated Environmental Solutions Limited – Virtual Environment
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
LABAUT	Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LabGeo	Laboratório de Geoprocessamento da UEMA
LabHidro	Laboratório de Recursos Hídricos da UEMA
LabMet	Laboratório de Meteorologia da UEMA
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Lisboa/ Portugal
MA	Maranhão
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
NEMRH	Núcleo Estadual de Meteorologia e Recursos Hídricos da UEMA
NuGeo	Núcleo Geoambiental da UEMA
PAE	Programa de Aperfeiçoamento de Ensino
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
POLI-USP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
RMS	<i>Root Mean Square</i>
RN	Rio Grande do Norte
SP	São Paulo

UEMA	Universidade Estadual do Maranhão
UFSM	Universidade Estadual de Santa Maria
UR	Umidade Relativa
USP	Universidade de São Paulo

Listas de Símbolos

%	Por cento
°	Graus
'	Minutos
°C	Graus Celsius
h	Horas
H= ou h=	Altura igual a
km	Quilômetro
km ²	Quilômetro quadrado
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m/s	Metros por segundo
Pa	Pascal
W/m ²	Watts por metro quadrado
Wh/m ²	Watts hora por metro quadrado
Z=	Altura ou cota igual a
Z ₀	Rugosidade

CAPÍTULO

1

Introdução

1. INTRODUÇÃO

Em algumas capitais da costa do nordeste do Brasil – como é o caso, por exemplo, de Fortaleza, Recife, Salvador e Maceió – a verticalização de avenidas litorâneas representa uma barreira em potencial contra a passagem da ventilação natural até as áreas posteriores a estas avenidas e ao interior destas cidades. Analogamente, na ilha de São Luís/MA, um processo de ocupação verticalizada de avenidas posteriores às avenidas litorâneas vem se fortalecendo.

Como apontam os mais consolidados padrões de ocupação de orlas marítimas de algumas cidades de todo o país (especialmente Rio de Janeiro, Santos, Balneário Camboriú), acredita-se que a verticalização constitui-se em um fenômeno irreversível e inevitavelmente atingirá uma importante avenida da capital maranhense localizada na praia do Calhau – a Avenida Litorânea, com 5,3km de extensão – podendo vir a representar, no futuro, um obstáculo à brisa marítima.

Infelizmente, a Legislação Urbanística Básica da cidade de São Luís ainda não prevê recomendações de gabarito máximo que tenham sido estabelecidas a partir de um estudo aprofundado acerca das implicações decorrentes da altura e da disposição das edificações na ventilação natural da orla marítima desta cidade.

Nesse sentido, pretende-se, com este trabalho, investigar o efeito gerado pela altura das edificações, dispostas na Avenida Litorânea de São Luís/MA, na velocidade e direção da ventilação natural de áreas posteriores a estas avenidas localizadas no bairro Calhau e, conseqüentemente, do interior desta cidade como um todo.

1.1 Colocação do problema e justificativa

Nas cidades litorâneas do nordeste brasileiro – marcadas por altas temperatura e umidade relativa do ar, características de seu clima quente e úmido – a ventilação se destaca como um recurso bastante desejável na minimização dos desconfortos típicos deste clima, pois provoca sensações de alívio térmico. A este respeito, Olgyay (1998, p. 94) afirma que *“en lãs zonas climáticas calurosas, la ventilación tiene una importancia relevante como remedio contra las altas temperaturas y humedades”*.

A Carta Bioclimática de Givoni da cidade de São Luís (que poderá ser vista no Capítulo 3) evidencia a importância da ventilação no desenvolvimento do meio urbano desta cidade. Ela demonstra que os usuários no interior de uma edificação nesta cidade estariam na Zona de Conforto em apenas 0,3% das horas do ano, sendo possível, no entanto, promover conforto térmico em 36,1% deste tempo por meio do aproveitamento da Ventilação Natural e, em 63,9%, por meio Condicionamento Artificial. (BALANÇO TÉRMICO apud ALUCCI, 2005).

Além do recurso da ventilação, nas cidades de clima quente e úmido, faz-se importante estabelecer definições criteriosas em relação à implantação e ao partido arquitetônico relativo às edificações que mais se ajusta às peculiaridades do clima, bem como a todo o traçado urbano da área costeira. A justificativa para esta preocupação encontra-se na evidência de que o crescimento das cidades – determinado pelo aumento das áreas edificadas e pavimentadas – é um dos grandes responsáveis pela geração de calor e o conseqüente uso de energia, pois as “[...] verdadeiras massas de edificação modificam o curso natural dos ventos, prejudicando a ventilação natural no interior do núcleo”

(FROTA, SCHIFFER, 2003, p. 66). Ao passo que, “no que se refere ao arranjo das edificações nos lotes urbanos, elas devem estar dispostas de modo a permitir que a ventilação atinja todos os edifícios [...]” (FROTA, SCHIFFER, 2003, p. 71), sem, contudo, impedir sua ultrapassagem até o interior da cidade.

Entretanto, em algumas cidades litorâneas, as tipologias das edificações, bem como sua disposição nos lotes urbanos, têm levado muito pouco em consideração sua influência sobre o conforto térmico urbano, permanecendo alheias ao fato de que “as condições do vento local podem ser alteradas com a presença de vegetação, edificações e outros anteparos naturais ou artificiais” (LAMBERTS, 2004, p. 37). E o que se observam são determinados trechos de avenidas em orlas marítimas extremamente verticalizados, pois, como bem observou Villaça (2001, p. 157), existe uma tendência onde o perfil de edifícios de apartamento predomina

[...] em todas as áreas metropolitanas – e mesmo nas cidades médias litorâneas brasileiras com praia de alto-mar [...], as orlas estão sendo crescentemente ocupadas pelas camadas de alta renda: Balneário Camboriú, Santos – São Vicente – Guarujá, Rio – Niterói, Recife, Fortaleza, etc.

E é justamente em função do crescimento desse tipo de ocupação predominante nas orlas, que surge a preocupação não apenas com os locais já verticalizados mencionados – como é o caso de Fortaleza, Recife e Maceió – mas, principalmente com aqueles onde a verticalização ainda não se efetivou, como a Avenida Litorânea de São Luís/MA, especialmente pela possibilidade de se pensar em diretrizes para orientar as futuras ocupações, pois:

Considerando o vento como elemento climático que pode atuar como instrumento no planejamento urbano, no que se refere, entre outros, à dissipação do calor armazenado pelas superfícies que constituem o ambiente construído, é de fundamental importância conhecê-lo, a fim de que seja possível tomar decisões coerentes com as características climáticas e optar por um padrão de ocupação do solo urbano capaz de minimizar o rigor climático local (FERRAZ, SILVA, 2004).

No caso da orla ainda não verticalizada, foi escolhido um setor da cidade de São Luís, que se limita com a Praia do Calhau, onde existe a Avenida Litorânea, cuja ocupação vertical ainda não foi consolidada. Esta escolha se deu, em primeiro lugar, porque, especificamente para esta localização, ainda não existem estudos que estabeleçam a influência de determinados elementos de planejamento urbano e projeto arquitetônico nas condições de conforto ambiental, como por exemplo, as implicações da verticalidade¹ na ventilação natural em orlas marítimas. E, em segundo lugar, porque as edificações com vários pavimentos estão se aproximando rapidamente tanto dessa avenida costeira, por meio de suas avenidas posteriores, como também das dunas lá presentes.

Ao se listar brevemente alguns dos prejuízos que o desconforto térmico proveniente da implantação aleatória de edifícios altos pode determinar em uma cidade, têm-se conseqüências preocupantes tanto a curto, quanto a médio e longo prazos. Logo de imediato, observa-se o desconforto térmico decorrente da formação de ilhas de calor, caracterizada pelo aumento da temperatura externa. Como conseqüência, há um aumento na demanda por energia elétrica, para acionar mecanismos de resfriamento do ar no interior dos edifícios – e também, um aumento da poluição atmosférica em decorrência dos efeitos fotoquímicos da ilha de calor, que dificulta a diluição dos poluentes na atmosfera. Fatalmente, estaria comprometida a conservação de energia e, portanto, a preservação do meio ambiente.

Finalmente, acredita-se na relevância científica e social deste trabalho, na medida em que ele representará uma contribuição à área de conforto ambiental,

¹ O que não acontece apenas com esta cidade, pois Gonçalves (2003) afirma “[...] o impacto do edifício alto sobre o meio e a infra-estrutura urbana não tem sido abordado segundo preocupações de interesse coletivo”.

em função dos poucos estudos realizados nesta área de ventilação natural. É o que comprovam as pesquisas de Vianna (2001, p. 155) que, a partir da reunião de toda a produção dos cursos de pós-graduação das escolas de Arquitetura brasileiras até o ano de 2001, alerta para a “[...] enorme lacuna de conhecimento tanto no âmbito do edifício quanto da cidade [...]” na área de ventilação natural.

Dentre os estudiosos que se propuseram a verificar as consequências energéticas e ambientais desfavoráveis, como a perda de ventilação natural, resultante de adensamentos verticalizados, Mascaró (2001, p. 102) demonstra preocupação com o fato de que determinado bairro de Porto Alegre:

[...] poderá densificar-se com a aplicação do novo Plano Diretor Urbano Ambiental aprovado em 2000 [...] Simulamos – usando modelo computacional – as condições de ventilação natural urbana atuais, razoáveis, e as comparamos com os resultados obtidos nas simulações realizadas para o adensamento proposto, tomando como ano de referência o 2010 [...]; verificamos que a perda de ventilação no novo tecido urbano resultante é mais do que significativa em alguns bairros da cidade, condenando-os ao desconforto térmico ou ao hoje caro e restrito consumo de energia elétrica, que impacta forte e negativamente o meio ambiente em geral.

Analogamente, para Lamberts (2004, p.37), “devido aos obstáculos encontrados na cidade (como edifícios, por exemplo), a velocidade média do vento é mais baixa que em locais abertos (campo)”. E Moreno (2001) também reforça a importância da verticalidade nessa problemática de conforto, pois:

[...] os espaços livres públicos, como as vias, praças e parques, assim como os espaços privados, que são os espaços livres existentes nos lotes, em torno das edificações; têm perdido sua habitabilidade em consequência da verticalização e do adensamento urbano, mesmo com a aplicação da atual legislação de uso e ocupação do solo.

Paralelamente, Costa (2001) acredita que, em uma área totalmente verticalizada, “o vento vai considerar como chão o teto dos edifícios e não vai penetrar no local”. Da mesma forma, Rossana Honorato que, em entrevista a Júnior (2000, nº. 38), do Informativo Para’iwa, afirmou que o espigão ameaça a orla marítima de João Pessoa, na medida em que “[...] entre outras coisas,

impede a livre circulação das correntes de ar”. E ainda, chama atenção para o fato de que:

[...] há um novo valor urbano que já possibilita avaliações completamente desencantadas com o modelo de Boa Viagem e/ou Copacabana. Claro que ainda predominam visões de modernidade e desenvolvimento pautadas na altura das edificações, mas há também entre nós, mesmo que quantitativamente minoritariamente representados, esforços de instituições da sociedade civil organizada, como o Instituto de Arquitetos do Brasil (o IAB-PB), a APAN, a API (no passado), ou mesmo indivíduos e moradores da cidade, que estão ligados na questão da proteção contra a verticalização da nossa orla [...]

Entretanto, em importantes pesquisas realizadas na área de conforto térmico pela Universidade Federal de Alagoas, Bittencourt, Cruz e Lôbo (2007), trazem à tona a preocupação com a verticalização da orla marítima de Maceió e a preservação das condições de ventilação nas quadras posteriores a esta orla; e propõem-se a “investigar o efeito gerado pela altura dos edifícios na ventilação natural do tecido urbano”. E concluem que “[...] em relação à ventilação natural, mais importante que a altura das edificações é a distância horizontal entre as mesmas”.

Nesse sentido, espera-se que este trabalho também possa fazer uma confrontação entre as vertentes que atribuem o desconforto térmico principalmente à verticalização e aquelas que consideram a ausência de recuos mínimos como sua causa fundamental. E, quem sabe, chegue a um terceiro posicionamento que considere que o risco à ventilação existe tanto quando as distâncias entre uma edificação e outra são muito pequenas, como quando a verticalização dá-se de maneira indiscriminada, sem planejamento; pois, em se tratando de problemas relacionados ao desconforto térmico urbano, é mais provável que um único agente não tenha um peso tão determinante em relação ao outro, mas a combinação de ambos é que deve ser levada em consideração,

trazendo à tona discussões tão importantes para contribuir para o crescimento da área de conforto térmico no meio urbano.

1.2 Objeto de estudo

O objeto de estudo desta pesquisa é a relação entre a tendência à verticalização de um trecho da Avenida Litorânea e a ventilação natural no seu entorno, o interior do bairro Calhau, na cidade de São Luís/MA.

1.3 Objetivos da pesquisa

O objetivo geral desta pesquisa é construir diferentes cenários para verticalização em um trecho da Avenida Litorânea, localizado nas proximidades da orla marítima da Praia do Calhau, e verificar a implicação destes cenários nos padrões ventilação natural de determinado trecho do bairro do Calhau.

Seus objetivos específicos são:

- Identificar referências sobre conforto térmico urbano, principalmente as que relacionem verticalização de orlas e ventilação natural no meio urbano;
- Identificar na Legislação Urbanística Básica de São Luís, dentre os padrões de ocupação permitidos para a Avenida Litorânea, aqueles que estabeleçam relação com o conforto ambiental urbano;
- Identificar os seguintes elementos climáticos característicos da ventilação na orla marítima de São Luís: velocidade média e as predominâncias da direção dos ventos;

- Estabelecer cenários de ocupações verticalizadas para a Avenida Litorânea;
- Simular esses cenários de verticalização pré-estabelecidos no ANSYS CFX - Computational Fluid Dynamics Software;
- Analisar os resultados das simulações;
- Relacionar os cenários de verticalização propostos com as alterações provocadas nas características da ventilação natural e os efeitos de vento em decorrência da presença desses edifícios altos.

1.4 Recursos e restrições

Esta pesquisa contou com apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, no período de 01/08/2005 a 31/07/2007.

A coleta de dados primários deu-se por meio de viagem à cidade de São Luís/MA, financiada por esta instituição, onde foi feita medição in loco dos elementos climáticos de velocidade e direção dos ventos predominantes no local de estudo da Avenida Litorânea. Esta medição teve como restrições o tempo chuvoso no período da aferição das medidas e a dificuldade em conseguir voluntários para ajudarem nos procedimentos.

O deslocamento dos equipamentos utilizados na medição (estação meteorológica², sensor termo-higrômetro³, anemômetro de ventoinha³, bússolas

² Estação adquirida pela pesquisadora Alessandra Prata com Reserva Técnica FAPESP.

³ Termo-higrômetro e anemômetro de ventoinha adquiridos por Auxílio Financeiro, visando atender ao Projeto Didático e adquirir equipamentos de apoio para disciplinas da Graduação em 2003.

e tripé) foi autorizado pelo Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética – LABAUT da FAUUSP.

A segurança dos equipamentos e participantes da medição deu-se com o apoio da Prefeitura de São Luís, na pessoa do Sr. Raimundo da Silva Araújo Neto, Comandante da Guarda Municipal de São Luís, que atendeu a ofício para que fossem encaminhados guardas municipais ao local do procedimento.

Os dados secundários foram disponibilizados pelo Núcleo Estadual de Meteorologia e Recursos Hídricos da Universidade Estadual do Maranhão – NEMRH/UEMA, por intermédio do chefe do Laboratório Gunter de Azevedo Reschke, que disponibilizou os valores dos elementos climáticos aferidos pela Plataforma de Coleta de Dados (PCD) de São Luís referentes aos anos de 2003, 2004 e 2005. Esta etapa teve como restrições o período de greve na universidade de março a agosto deste ano, que inviabilizou obtenção de novos dados dos anos 2006 e 2007 em tempo hábil para o desenvolvimento das simulações.

Os artigos científicos, as dissertações e as teses referenciados neste trabalho foram consultadas no Catálogo On-line Global – Dedalus do Banco de Dados Bibliográficos da USP; na biblioteca da FAU, do orientador e de outros professores e pesquisadores do LABAUT; no *Science Direct* disponibilizado pelo LABAUT; no Portal Periódicos da CAPES; em coletâneas de eventos científicos e nos sistemas de busca informatizadas de outras universidades brasileiras.

O ANSYS CFX - Computational Fluid Dynamics Software foi utilizado para simulação da áreas de estudo por meio da obtida pelo LABAUT, que ainda realizou um workshop de introdução ao software ministrado pelo Profº Drº Alan Harries, engenheiro do escritório BDSP *Partnership* e professor colaborador da *Architectural Association Graduate School*, de Londres, nas suas instalações.

1.5 Metodologia

Constitui-se de uma pesquisa exploratória desenvolvida em diferentes etapas metodológicas (Organograma 1), a seguir:

Organograma 1: Processo metodológico.

- Atividades acadêmicas: cumprimento dos créditos obrigatórios através das disciplinas oferecidas pelo Programa de Pós-Graduação e dos Trabalhos Programados relacionados com a pesquisa; participação como monitora do Programa de Aperfeiçoamento de Ensino (PAE) em disciplinas da área de Conforto Ambiental.

- Pesquisa referencial de base bibliográfica e documental: levantamento de dados secundários em referências sobre ventilação natural e propriedades físicas do vento (mecânica dos fluidos) para elaboração do estado da arte;

levantamento dos elementos climáticos medidos pela PCD de São Luís de 2003 a 2005; levantamentos de mapas, da Planta de Referência Cadastral – Setor 8, elaborada a partir dos *overlayers* do cadastro de logradouros pelo Grupo Técnico Gestor da Prefeitura Municipal de São Luís em fevereiro de 99; levantamento de imagens de satélite da área de estudo no *Software Google Earth*; levantamento na “Legislação Urbanística Básica do Município e São Luís” (Plano Diretor; Lei de Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo e Código de Obras).

- Pesquisa de campo: levantamento de dados primários através de levantamento fotográfico, físico arquitetônico de gabaritos e de uso e ocupação do solo da área estudada (julho/06); medição in loco de elementos climáticos de velocidade e direção dos ventos predominantes na área estudada (janeiro/07).

- Definição dos cenários de verticalização: baseada nas pesquisas anteriormente desenvolvidas e na tendência de verticalização tanto da cidade de São Luís como de outras cidades litorâneas.

- Simulação dos cenários de verticalização no *ANSYS CFX - Computational Fluid Dynamics Software*.

- Análise dos dados simulados: observação das alterações provocadas nas características da ventilação natural e os efeitos de vento em decorrência da presença desses edifícios altos.

- Conclusão: relação entre os diferentes cenários de verticalização propostos e as alterações provocadas nos padrões de vento local.

1.6 Estrutura do trabalho

Este trabalho encontra-se dividido em seis capítulos, assim descritos:

- Capítulo 1: A introdução da pesquisa dá-se por meio da colocação e justificativa do problema estudado; da descrição de seu objeto e seus objetivos; da demonstração dos recursos aplicados e restrições encontradas durante o processo; e da metodologia desenvolvida.
- Capítulo 2: Procede-se à fundamentação teórica da pesquisa com base na revisão da literatura voltada para o estudo da ventilação natural no meio urbano e de ampla pesquisa sobre as propriedades físico-mecânicas do vento, aplicáveis aos estudos em arquitetura.
- Capítulo 3: Apresenta-se um minucioso estudo sobre a cidade de São Luís, no qual se observa, na legislação que rege o crescimento da cidade, os princípios que asseguram o conforto dos edifícios e do meio urbano. É descrito o processo de crescimento da cidade, e principalmente das áreas próximas à Avenida Litorânea, onde são identificadas diferentes formas de ocupação. Apresenta-se ainda um diagnóstico climático da cidade.
- Capítulo 4: Detalha-se a área estudada por meio de levantamentos físico, arquitetônico e fotográfico. A partir da ocupação atual e nos estudos dos capítulos anteriores, definem-se novos cenários de ocupação. Descreve-se ainda, o processo de medição realizado *in loco*.
- Capítulo 5: Define-se a metodologia para análise da interferência dos cenários propostos no vento. Todo o processo de simulação é explicado por meio da utilização do CFX Software.
- Capítulo 6: Apresentam-se as conclusões do trabalho, suas limitações e sugestões para a realização de pesquisas futuras.

CAPÍTULO 2

Fundamentação teórica

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Estado da arte

O homem tem demonstrado já ser consciente da importância do seu papel na preservação da natureza, do clima, do meio ambiente em geral. Entretanto, o que efetivamente vem sendo feito para minimizar, por exemplo, os impactos da “nova época climática” (IPCC, 2007) que se aproxima e está tão em evidência nos dias atuais sendo considerada fatal?

Ainda em 1988, o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) divulgou o primeiro relatório sobre a possibilidade de ocorrerem mudanças climáticas decorrentes do aumento da temperatura global, desencadeando uma espécie de responsabilização global contra a mudança climática.

Um pouco depois, em 1992, com a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (ECO 92), o conceito de desenvolvimento sustentável foi consagrado e deu-se uma ampla conscientização no sentido de que os danos ao meio ambiente são majoritariamente de responsabilidade dos países desenvolvidos, e que os países em desenvolvimento necessitam de apoio financeiro e tecnológico para avançarem na direção do desenvolvimento sustentável.

Mas foi só a partir de 1997, quando se iniciaram as discussões sobre o Protocolo de Kyoto, que foram definidos de fato compromissos na tentativa de tornar mínimos os impactos das já correntes mudanças climáticas, e os países desenvolvidos foram obrigados a reduzir a emissão dos (GEE) – considerados, de

acordo com a maioria das investigações científicas do IPCC, como causa do aquecimento global.

Responsabilização, conscientização e/ou estabelecimento de compromissos à parte, o fato é que o quarto relatório do IPCC, divulgado em fevereiro de 2007, afirmou que 90% das alterações no meio ambiente são antropogênicas e que o planeta entra em uma “nova época climática, que poderia ser mortal” (IPCC, 2007). De fato, o mundo passou encarar a questão energética não apenas como um problema real, mas, principalmente, urgente dos dias atuais.

No meio acadêmico, entre os arquitetos e urbanistas, por exemplo, o reflexo de toda essa caminhada descrita acima tem se evidenciado em abordagens sobre clima urbano e suas aplicações no planejamento das cidades, cada vez mais crescentes, tanto no Brasil, como no mundo afora. Percebeu-se que não basta apenas se tornar cidade, crescer e verticalizar, mas é imprescindível planejar a cidade considerando-se, antecipadamente, os possíveis impactos que estas possam causar ao meio ambiente.

Também preocupada com as mesmas questões que motivam a presente pesquisa, Assis (2005) promove uma “Abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória”, como o próprio nome do artigo diz. Trata-se de uma revisão crítica dos trabalhos da área de clima urbano voltados para aplicação no planejamento e projeto urbano, onde a autora atenta para o fato de que:

[...] embora se reconheça atualmente a importância da climatologia urbana para o planejamento e a preservação da qualidade ambiental do meio urbano, sua aplicação às atividades de planejamento e projeto das cidades ainda é muito limitada, em parte devido à uma abordagem fragmentada e desintegrada entre os diversos campos do conhecimento envolvidos, em parte devido ao fato de que a grande maioria dos trabalhos nessa área, tanto no Brasil como no exterior, são descritivos e, portanto, seus resultados ficam restritos ao caso em estudo. Além disso, em boa parte da literatura especializada, as recomendações para o planejamento e projeto urbano climaticamente responsáveis são muito genéricas (ASSIS, 2005).

No sentido de se estabelecer uma metodologia para o estudo do “vento como ferramenta no desenho do ambiente construído” aplicável ao Nordeste do Brasil, Silva (1999) desenvolveu uma metodologia para avaliar condições de ventilação natural urbana, tanto em áreas externas como internas para a cidade de João Pessoa/PB. Esta metodologia compreende etapas distintas, que se iniciam pela construção da orografia da cidade, pela construção do Atlas de vento a partir dos dados medidos na estação meteorológica do aeroporto local e pela confecção do mapa de rugosidade. Em seguida, o autor efetua medições in loco, simultâneas às do aeroporto, para então poder tratar os dados climáticos do aeroporto e integrá-los aos medidos in loco. Posteriormente, o autor realiza ensaios em túnel aerodinâmico do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Lisboa/ Portugal) que viabilizam uma avaliação qualitativa e quantitativa dos efeitos provocados no vento pela alteração do solo. Finalmente, Silva realiza uma correção dos dados medidos em campo calibrando os instrumentos de medição em túnel aerodinâmico.

Teorizando por linhas mais gerais, Saraiva, Silva e Silva (1997) fizeram um estudo sobre escoamento atmosférico em centros urbanos realizado nas instalações da Expo 98, às margens do rio Tejo na cidade de Lisboa. Os autores avaliaram os efeitos do desenvolvimento da paisagem urbana na ventilação natural dos edifícios e de suas áreas adjacentes. Interessante observar que foram medidos 5 perfis de velocidade em diferentes locais da área estudada, alguns na área urbanizada e outros na área não urbanizada, exatamente para que se pudesse comparar a influência das edificações na ventilação natural.

Essas medições foram utilizadas em ensaios de erosão a partir dos quais se construíram mapas de isolinhas de velocidades e, a partir destes, puderam-se determinar medidas para minimizar efeitos dos ventos fortes para proteção do

local. Assim como recomendado por Silva (1999), foram construídos mapas de orografia e de rugosidade para tratamento dos dados de direção e velocidade do vento, colhidos no aeroporto local. Finalmente, os autores concluíram que os cálculos efetuados para uma única direção de vento (velocidade mais alta) auxiliam na prevenção da pior situação viabilizando a garantia de uma condição de comodidade e segurança para os transeuntes, atenuando-se os efeitos de vento, dispondo-se árvores, jardins ou soluções construtivas.

Carvalho (1993), numa tentativa de relacionar parâmetros de ocupação urbana e seus impactos sobre o meio ambiente, também discute as transformações climáticas provocadas pela urbanização. O sítio estudado por ela foi o ecossistema de dunas e lagoas do Abaeté, na cidade de Salvador/BA, onde o empresariado de construção civil reivindica o direito de nele edificar. No entorno, ainda que queixas de desconforto térmico já tenham sido mencionadas e movimentos populares tenham ocorrido no sentido de sua preservação, já existem edificações consolidadas. Com o objetivo de verificar se, de fato, ocorreram transformações no clima local, e se estas transformações podiam ser atribuídas à urbanização, a autora procedeu a uma análise topoclimática considerando a insolação, a ventilação, as condições bióticas e abióticas do ecossistema, inclusive diferentes padrões de desenho urbano e ocupação, chegando a uma seleção de sete diferentes padrões esperados de micro-clima.

Dentre os outros parâmetros analisados, em relação à ventilação, verificou-se ainda que nas áreas em que a planície se encontra ocupada constatou-se um decréscimo de 2,0m/s na velocidade do vento tanto no verão como no inverno, refletindo em mudanças nas suas qualidades higrotérmicas para pior (CARVALHO, 1993). Além disso, a autora concluiu que esta tendência de ocupação do ecossistema de dunas e lagoas tem gerado desconforto térmico

e poderá até implicar no aparecimento de ilhas de calor. Neste sentido, a autora aconselha a preservação do topo das dunas, expostas à ação constante dos ventos, chegando a brisas fortes de 11,8m/s, que podem atuar na reativação da sua migração em decorrência da retirada da vegetação fixadora; e também recomenda que estas dunas não sejam ocupadas por edificações e sim preservadas.

Na mesma linha de Carvalho (1993), outros pesquisadores vêm estudando questões relacionadas à ventilação natural em relação às cidades litorâneas. Em termos práticos, Bittencourt, Cruz e Lôbo (1997) avaliaram a influência da relação entre a taxa de ocupação e número de pavimentos no potencial de ventilação natural dos ambientes internos e fechados. Foi feita uma comparação de diferentes alternativas de implantação de um edifício em lote típico da orla marítima de Maceió, por meio de simulação em CFD com duas direções de vento para se determinar o aproveitamento da ventilação natural como forma de refrigeração passiva.

A cidade de Maceió possui uma Legislação Municipal determinante na produção do espaço, que estabelece limites para construção que respeitem ventilação e insolação pelo estabelecimento de recuos progressivos e do estabelecimento de uma relação entre número de pavimentos e taxa de ocupação do lote. Entretanto, os empreendedores imobiliários aumentam o número de unidades habitacionais por andar e até mesmo colocam as unidades em orientações desfavoráveis, o que acaba comprometendo seu conforto.

Por conta disso, os autores desse artigo estabeleceram dois modelos de ocupação para a área estudada – sendo que um cumpre e o outro descumpe a legislação (com a redução da taxa de ocupação do lote de 50 para 25%, da ampliação do limite de pavimentos para doze andares, da manutenção do

coeficiente de aproveitamento 4, do recurso de pilotis completamente vazado e da manutenção dos recuos progressivos) – e simularam estes modelos no *software* de simulação computacional *Phoenix*. Concluíram que no modelo onde há maior proximidade entre as massas, ocorre uma redução da velocidade do vento; que é mais importante para melhorar a ventilação do tecido urbano o predomínio do fator recuo sobre o fator altura (ao contrário do que diz a legislação); e também que quanto maior o número de pavimentos associado à taxa de ocupação do lote, melhor a distribuição do fluxo de ar nos ambientes internos e externos.

Lopes (2003) desenvolveu uma tese partindo-se da hipótese que “o crescimento desordenado, que tem acompanhado algumas zonas de Lisboa nos últimos anos, pode fazer diminuir a velocidade média do vento” e mudar “os padrões térmicos das superfícies e energéticos”. A partir daí, o autor estudou as modificações dos campos de vento decorrentes do crescimento urbano e a ilha de calor de superfície e o balanço energético em vários locais desta cidade. Sua metodologia envolveu modelagem numérica, ensaios no túnel aerodinâmico do LNEC e a análise de imagens de satélites para avaliar as consequências previstas. Concluiu, em relação à velocidade do vento, que:

O norte de Lisboa forma uma barreira ambientalmente desfavorável para a cidade, porque limita a progressão dos ventos dominantes de norte e noroeste, em grande período do ano, modificando as condições de ventilação na cidade e o seu arejamento. Isto pode contribuir para o aumento da frequência de episódios de poluição e intensidade das vagas de calor (LOPES, 2003).

E em relação às ilhas de calor, Lopes (2003) concluiu que “há coincidência nos ritmos e intensidades entre as ilhas de calor de superfície e as do ar, pois observou “uma forte concordância entre muitas das suas características”. E demonstrou que “eles são claramente modificados pela cidade, quando

comparados com áreas suburbanas, ou com a área florestal de Monsanto”. E é a sua conclusão final, um dos maiores incentivos para esta pesquisa:

As modificações previstas para os próximos anos do balanço energético na cidade deverão ocorrer nos novos núcleos urbanos. Se esses núcleos forem planeados de acordo com regras ambientais, incluindo espaços verdes, o balanço radiativo terá características semelhantes aos bairros mais frescos e confortáveis da cidade. Se se mantiver a tendência actual de construção sem preocupações ambientais, os espaços exteriores serão termicamente mais desconfortáveis. Isso leva-nos a reflectir sobre a questão da racionalização do consumo de energia e da sustentabilidade urbana no futuro (LOPES, 2003).

Semelhantemente, Prata (2005) avaliou o impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural no meio urbano. A relação entre alterações de urbanização existente na cidade de Santos (mudança de gabarito/ altura/ número de pavimentos de edifícios) e sua influência no conforto do pedestre e no projeto arquitetônico foi analisada com o auxílio de ensaios em túnel de vento e simulações em *software* computacional.

Trata-se de uma valiosa contribuição nesta área de ventilação natural, uma vez que a autora desenvolve uma metodologia bastante completa, que não apenas compara a forma de obtenção dos resultados (túnel de vento e simulação computacional), como também e especialmente, compara os dados de ventos simulados (realizou as simulações tanto para dados de vento medidos *in loco* como para dados de vento obtidos em estação meteorológica), comprovando que os resultados das simulações são bastante próximos, tanto para os dados medidos no local, como para os provenientes de estação. Neste aspecto, em específico, a autora valida uma metodologia que, até então, dividia os pesquisadores da área em relação à necessidade de medição *in loco*, uma vez que já se têm dados provenientes de estação.

Também em linhas gerais, Cândido e Bittencourt (2005) apresentam uma introdução à ventilação natural de maneira bastante didática, de leitura fácil. Apesar de abordarem um assunto considerado complexo, os autores conseguem

tratar não apenas os aspectos de conforto relacionados ao tema, mas também, de mecânica dos fluidos. Relacionam ventilação e conforto e não se restringem ao interior do edifício, contemplando também o meio urbano, ainda que de maneira menos aprofundada. Merecem destaque a abordagem dos princípios do movimento de ar e a determinação de coeficientes de pressão em edifícios de até 03 (três) pavimentos, com diferentes relações entre comprimento e largura.

Além disso, outros pesquisadores vêm estudando questões relacionadas ao conforto térmico nas cidades mais centrais. É o caso, por exemplo, de Duarte (2000) que correlacionou a temperatura do ar (medida em diferentes locais da cidade de Cuiabá, de clima Tropical Continental) com algumas variáveis de planejamento urbano, e propôs parâmetros para regulamentar densidade construída, arborização e superfícies d'água em áreas urbanizadas. As medições foram realizadas em três horários diferentes 8h, 14h e 20h.

Em relação ao espaço construído, o coeficiente de correlação médio foi sempre positivo em relação à temperatura do ar, e, observou-se que, às 8h e às 20h, o espaço construído influencia mais na temperatura do ar no espaço urbano; e que, às 14h, por haver um maior número de trocas por convecção, conseqüentemente existe uma menor correlação entre espaço construído e temperatura do ar. Para as demais variáveis, arborização e superfícies d'água, o coeficiente de correlação médio foi sempre negativo em relação à temperatura do ar. Com isso, a autora concluiu que a quantidade de área verde deve ser distribuída no espaço urbano em função da densidade construída e não a densidade habitacional. Finalmente, a autora sugere um índice que envolve taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, superfícies d'água e arborização, para que "qualquer modelo de ocupação (seja ele vertical ou horizontal) seja adequado às condições de conforto higrotérmico da região" (DUARTE, 2000).

Outro exemplo é o de Trinta e Dantas (2005) que pretendem estudar de que maneira as alterações ocasionadas pela urbanização no bairro do Renascença II (uma área em crescente e rápida expansão na cidade, marcada por uma ocupação verticalizada descontrolada, que apresenta usos residencial, comercial, serviço e institucional), influenciam o conforto térmico da cidade de São Luis/MA, localizada na Região Nordeste de clima equatorial quente-úmido. Como metodologia, as autoras também se basearam nos estudos de Katzschner (1997), Oliveira (1988) e Romero (2001) que:

[...] sugerem a análise detalhada do meio físico, in loco e através de avaliação de mapas de topografia, altura das edificações, uso do solo, áreas verdes e tipo de cobertura do solo, para superposição e identificação de pontos para medição; a partir daí, uma análise quantitativa com aferição das variáveis ambientais (temperatura e umidade do ar, a velocidade e a direção dos ventos) nos pontos escolhidos e da sensação real de conforto térmico dos usuários de ambientes externos.

Seguindo a mesma linha de pesquisa, Souza (2006) estudou a influência da mudança na ocupação do solo urbano na cidade de Goiânia na ventilação e na eficiência energética em edificações. A autora escolheu o bairro residencial Jardim Goiás, pois “nos últimos anos seu uso do solo foi alterado de baixa densidade de construção (no máximo 4 pavimentos) para alta densidade de construção (mais de 20 pavimentos)”. Indicou “possíveis propostas de ocupação do solo” e as analisou com auxílio de simulação computacional no “MicroFlo do *software Integrated Environmental Solutions Limited – Virtual Environment* (IES – VE)”, de modo que pôde ponderar “qualitativa e quantitativamente a ventilação natural urbana nesta área em estudo, de acordo com cada tipo de ocupação do solo”.

Por fim, apresenta uma preciosa avaliação de quais propostas de ocupação do solo “apresentam maiores proporções de baixa velocidade do vento para conforto térmico na região urbana”, sem desconsiderar que isto pode prejudicar a ventilação no interior dos edifícios. E sugere que, como “o comportamento do

vento é alterado de acordo com o tipo de ocupação do solo, obstáculos do entorno e direção de vento incidente, são necessários novos estudos particulares para cada nova proposta.

Para Kofoed e Gaardsted (2004), “um dos mais importantes fatores que influenciam as condições de conforto dos pedestres em espaços externos abertos é o vento” e julgam que os dados de vento mais importantes a serem considerados em espaços abertos são a velocidade, a direção e a ocupação durante todo o ano. Para melhor explicar como isto acontece, realizaram uma rigorosa descrição do vento, dos diferentes tipos de vento, de como se obtêm dados de ventos, dos fatores que os ocasionam e, inclusive, dos efeitos deles decorrentes. Em seguida, trazem um exemplo de uma análise de condições de vento em CFD, onde eles avaliaram o efeito de diferentes parâmetros (2 tamanhos diferentes de quadra, 2 velocidades diferentes do vento, 3 alturas diferentes dos edifícios e 4 direções de vento: 0°, 15°, 30°, 45°; e diferentes largura e local de quatro aberturas nas quadras estudadas) nas condições de vento ao nível do pedestre, em um espaço quadrangular cercado por edifícios, na Grécia.

Destaca-se o fato de que, para estes autores, as medições *in loco* representam um alto custo, pois o ideal seria medir por um período bastante longo para cobrir as combinações mais freqüentes da velocidade de vento e direção. Dentre as principais conclusões das simulações efetuadas está o fato de serem estabelecidas relações entre o tamanho da quadra com a velocidade e o fluxo de vento; os limites dos edifícios com a velocidade e a turbulência do vento; não há nenhuma relação clara entre a direção de vento global e a velocidade do vento na quadra; mas relaciona o ângulo de direção do vento e o

padrão de turbulência. Além disso, os autores elaboraram importantes diretrizes para a forma como as quadras deveriam ser projetadas.

Capeluto (2004) apresenta um processo de desenho de um complexo urbano projetado na entrada sul para a cidade israelense de Beer Sheva. O complexo inclui um parque temático e um centro comercial enquanto os espaços abertos são projetados para uso intensivo como uma continuação do espaço interno. Partem de um diagnóstico minucioso do clima de natureza muito extrema de Beer Sheva, caracterizado por baixa umidade relativa (UR) e alta amplitude térmica e ventos muito fortes no inverno – o que se constitui no principal fator para o método proposto basear-se em uma análise qualitativa do regime dos ventos, a partir de dados climáticos obtidos em estações meteorológicas distribuídas por Israel. Embora concordando que temperatura (T) e UR sejam os principais fatores que afetam o conforto térmico, o autor considera que o vento também é importante e pode ser alterado pela disposição dos edifícios circunvizinhos – o que determinou uma estratégia climática de projeto no sentido de permitir a ventilação e proteção contra ventos – e recomenda tomar a decisão no estágio inicial do processo de projeto a partir da observação de rosas de ventos. Finalmente, o autor conclui que o desenho do edifício e sua relação com as direções predominantes podem contribuir para o resfriamento natural das edificações e das áreas abertas entre elas; e atenta para a dificuldade na análise do regime dos ventos de um lugar.

Como forma de relacionar alguns aspectos do comportamento físico do vento com a presença da cidade, Santamouris (2001), a partir de uma breve introdução acerca da distribuição dos fluxos de ar irregulares no ambiente urbano que são causados por pequenas diferenças de topografia, e com base na definição de Oke (1987) para Canopy Layer a variação de vento com a altura

permite definir dois sublayers em cima das cidades: Obstructed sublayer – estende-se da superfície de chão até a altura dos edifícios e Free surface layer ou urban boundary layer – camada limite – sobre os topos de telhado, determinada pela rugosidade do local), explica as características gerais do fluxo de ar nesta camada. Estabelece fórmulas para determinação do vento geostrófico⁴ ($VG = -1/(\rho f) \theta_p/\theta_x$ – relacionando força de Coriolis, densidade atmosférica e gradiente de pressão horizontal); da relação entre este e a velocidade de vento correspondente a uma dada altura; da variação da velocidade do vento com a altura (descrita por uma lei exponencial usada para descrever fluxo de ar em baixo de pálios de floresta); da determinação do comprimento da rugosidade.

Freixanet e Viqueira (2004) apresentam cálculos básicos para aproveitamento da ventilação natural como estratégia de desenho, desenvolvendo uma importante metodologia de determinação de uma sombra de vento formada na parte de trás de uma edificação sob a qual incide um fluxo do vento predominante. Os autores também procuram especificar os parâmetros que são importantes na determinação da sombra de vento: dimensões do edifício; altura (H); largura (W); profundidade (L); velocidade do vento (V); viscosidade do ar (μ); rugosidade superficial; etc. E restringem as variáveis da forma do edifício e da direção do vento a um paralelepípedo regular com vento incidindo perpendicularmente a uma das fachadas. Diferencia todos os padrões de fluxo de ar em cada fachada ao redor do edifício (ex: formação de uma zona de alta pressão na fachada a barlavento; de zonas de baixa pressão nas fachadas laterais e na fachada a sotavento; e localiza os padrões de fluxo de ar turbulento, em forma de esteira e sombra de vento). Permite avaliar qualitativa e quantitativamente as alterações que a implantação de um edifício com as

⁴ O vento geostrófico é um vento horizontal, não acelerado, que sopra ao longo de trajetórias retílineas, que resulta de um equilíbrio entre a força de gradiente de pressão (horizontal) e a força de Coriolis. (GRIMM, 1999).

proporções mencionadas pode provocar nos padrões de fluxo de ar de seu entorno.

Ainda em termos práticos, outros pesquisadores têm limitado suas investigações ao interior do edifício, o quê, apesar de não ser o foco desta pesquisa, agregou alguma contribuição ao seu desenvolvimento, ora pelo fato de que os locais estudados serem áreas litorâneas, mas, principalmente por recorrerem a simulações em CFD's.

É o caso de Lima, Oliveira, Pedrini e Araújo (2005) que, em análise do interior de edificações naturalmente ventiladas, fazem uma revisão dos principais índices de conforto térmico em conjunto com uma discussão da aplicabilidade da zona de conforto de Givoni (1992) e de alguns modelos adaptativos para o clima tropical quente e úmido de Natal/RN, ao passo que reforçam a importância da determinação dos limites de umidade e velocidade do ar especificamente para climas quentes. Os autores atentam para o fato de que, em se tratando de regiões de orla marítima no Nordeste do Brasil, não há como não se considerar a abundância das velocidades dos ventos, mesmo que para avaliação de ambientes internos.

Ainda nesse sentido, Cóstola (2006) formulou um método para prever a ventilação natural por ação dos ventos, que ele definiu como sendo um:

[...] procedimento para a quantificação da vazão do ar promovida pela ação do vento no interior do edifício, em climas quentes [...] dividido em cinco partes: obtenção dos dados de vento, transposição dos dados de vento da estação meteorológica para a área de interesse, determinação dos coeficientes de pressão no edifício, determinação dos coeficientes de descarga das aberturas, e o cálculo da vazão no interior do edifício.

Interessante observar o domínio pelo autor das ferramentas utilizadas na execução de cada etapa e a maneira criteriosa com que ele expõe e discute detalhadamente os experimentos realizados em túnel de vento e nos *software* CFX e TAS, este último tendo influenciado sobremaneira na presente pesquisa.

Traça uma minuciosa trajetória desde o tratamento de dados de vento de estação meteorológicas, transpondo-os até o local do projeto com sua devida correção de rugosidade. As etapas de “obtenção e tratamento dos dados de vento” e “transposição dos dados de vento para o local do projeto” – definidas na sua metodologia – foram discutidas e trabalhadas para as particularidades desta pesquisa. Por fim, o autor conclui que “estão disponíveis aos projetistas um amplo conjunto de ferramentas para a predição da ventilação natural no interior do edifício, e que somente pelo seu uso criterioso, as conclusões são passíveis de uso no projeto arquitetônico”.

Na mesma linha de pesquisa, Drach (2007) desenvolveu modelagem computacional e simulação numérica para avaliar o conforto de projetos de arquitetura, propondo melhorias nos mesmos. Ela, dentre outras coisas, simulou ambientes comuns nas cidades, como um módulo de conjunto habitacional, torres e captadores de vento e duas casas de vila – estes dois últimos já existentes. Além de avaliadas as condições atuais e de projeto, foram também feitas inúmeras alterações – alterando a disposição e as dimensões das aberturas, a forma das envoltórias e colocando anteparos externos para direcionar a penetração do vento no interior do edifício – em cada um dos ambientes estudados. Avaliou não apenas modificações nos fluxos de vento, como na temperatura e eventuais gases tóxicos.

A autora concluiu, dentre muitas outras coisas, que tanto a forma da parede, bem como as texturas aplicadas a elas, como anteparos localizados no exterior das edificações devem ser consideradas pois influenciam na distribuição e intensidade do ar no interior dos ambientes. Também definiu um índice de circulação global como um critério para avaliar o incremento ou decréscimo das ventilação entre os projetos existentes e as alterações por ela propostas. Enfim,

atenta para que “a modelagem computacional como forma de definir intervenções na qualidade de um ambiente construído é uma elemento dinâmico por permitir a constante adequação e ajuste entre o desejado e o obtido” (DRACH, 2007).

Finalmente, pode-se concluir, salvo raras exceções dentre os trabalhos apresentados, a necessidade de que novos trabalhos desenvolvam critérios e métodos de projeto de caráter menos geral para aplicação no processo de síntese da forma urbana, contemplando o uso de modelos para a simulação de variações a partir de uma análise espacial da realidade urbana. Neste sentido, este trabalho, partindo da análise de uma orla não verticalizada, como a Avenida Litorânea em São Luís/MA, e, consciente de que a maioria das orlas das áreas litorâneas do nordeste já são verticalizadas, pretende avaliar a influência da verticalização na orla do litoral de uma maneira mais criteriosa.

2.2 Ventilação natural no meio urbano

2.2.1 Origem do vento

O vento, que nada mais é que o ar em movimento, origina-se a partir da diferença na pressão atmosférica e tem sua direção alterada pelo movimento de rotação da Terra (MELARAGNO apud PRATA, 2005, SARAIVA, 1999).

No primeiro caso, a Terra se aquece de uma maneira diferente, e cada trecho de sua superfície, ou cada altitude, apresenta uma diferente temperatura. Essa diferença de temperatura cria zonas de alta pressão (anticiclone) e zonas de baixa pressão (ciclones) e por conta deste gradiente de pressão, o ar se movimenta horizontalmente, em linha reta, originando o vento. Um exemplo

bastante comum do vento ocasionado por diferença de pressão são as brisas diurnas (mar-terra ou marítima) e noturnas (terra-mar ou terrestre) (FROTA, 2003) – Figura 1:

Figura 1: Brisas marítima e noturna. Fonte: Wikipédia, 2007.

No segundo caso, o movimento de rotação da Terra ocasiona o Efeito de Coriolis que provoca uma deflexão nos ventos, fazendo com que eles desviem da trajetória prevista em forma de curva (Figuras 2,3 e 4). Exemplos deste efeito podem ser vistos na atmosfera onde os ventos para o norte tendem a se tornar ventos para nordeste durante seus percursos; no hemisfério norte, onde os aviões se desviam levemente para a direita e, portanto precisam estar constantemente corrigindo sua rota; e nos movimentos das águas, pois no hemisfério norte elas tendem a assumir o sentido horário, enquanto no hemisfério sul, o desvio é anti-horário.

Figura 2: Deflexão nos ventos pelo efeito Coriolis. Fonte: Geocities, 2006.

Figura 3: Terra parada. Fonte: Geocities, 2006.

Figura 4: Terra em rotação. Fonte: Geocities, 2006.

2.2.2 Tipos de vento

Como se vê em Frota (2003), “sobre cada hemisfério há cintos de alta e baixa pressão atmosférica, podendo ser permanentes ou cíclicos”. No nível global, estes cintos podem ser entendidos como faixas onde os ventos possuem a mesma origem, localização nos hemisférios, direção de deslocamento e características.

Figura 5: Circulação global idealizada no modelo de circulação de três células. Fonte: UFPR, 2006.

Os ventos, ou correntes atmosféricas, são divididos em três grupos (Fig 5):

- Os Ventos Alísios: Originam-se nas regiões subtropicais de alta pressão; situam-se entre 30° e 35° de latitude, nos dois hemisférios, Norte e Sul; dirigem-se para SO no hemisfério norte e para NO no hemisfério sul; são fracos e formam o cinto de calmas equatoriais de baixa pressão no Equador.
- Ventos Oeste: Originam-se nas regiões subtropicais de alta pressão; situam-se entre 30° e 60° de latitude, nos hemisférios Norte e Sul; dirigem-se para SE no

hemisfério sul e para NE no hemisfério norte; são rápidos e se deslocam através das regiões subárticas de baixa pressão.

- Ventos Polares: Originam-se nas regiões polares e árticas de alta pressão; situam-se entre a latitude de 60° até os pólos, nos hemisférios Norte e Sul; dirigem-se para SO no hemisfério sul e para NO no hemisfério norte; são tempestuosos, pois são formados por massas de ar frio.

No Brasil, predominam os ventos Alísios de Sudeste, assim chamados em função da direção de onde são originados. No nível local, estas correntes de ar sofrem influência da topografia, das diferenças de temperaturas e da vegetação. (FROTA, 2003).

Paralelamente, Oliveira (1993) aponta as seguintes características da forma urbana como influenciadoras, especialmente, da ventilação natural: rugosidade (altura e forma dos edifícios); porosidade (relação de espaços abertos por onde o vento permeia e fechados); tamanho (altura e dimensão horizontal) da estrutura urbana; ocupação do solo (proporção de áreas verdes).

Complementarmente, para Romero (2000), determinam as correntes locais de ar a localização de barreiras naturais ou construídas, de declividades naturais, de caminhos das águas da chuva, a presença da água; a forma urbana (separação das construções, altura das edificações); as ruas (tamanho, orientação) e seus elementos (alinhamento dos edifícios, porosidade); os lotes (orientação, dimensão, forma, fechamentos, alinhamento); dentre outros.

Dentre as características que alteram a ventilação local, acima indicadas por Frota (2003), Oliveira (1993) e Romero (2000), serão consideradas, neste trabalho, a rugosidade, a porosidade e o tamanho da estrutura urbana, ou seja, a forma urbana, que serão mais bem detalhadas na etapa das simulações.

2.2.3 Espectro do vento atmosférico

O vento pode ser considerado como resultando da sobreposição de movimentos relativamente independentes, caracterizados por escalas de comprimento compreendidas num intervalo que, em extensões horizontais, varia desde alguns milhares de quilômetros (caso de fenômenos meteorológicos, como os grandes ciclones e anticiclones, ou o movimento das superfícies frontais) aos milímetros (caso das escalas dissipativas dos fenômenos de turbulência local), passando por valores intermediários, como é o caso das brisas marinhas e terrestres ou os escoamentos de vale e de montanha (SARAIVA, 2005).

De acordo com a teoria da turbulência (SARAIVA, 1993), estas escalas de comprimentos podem ser associadas a escalas de tempo, são elas:

- Escala Macro-meteorológica ou sinótica:

Com dimensões superiores a 500km ou intervalos de tempo superior a 2 dias, resultantes da circulação atmosférica global;

- Escala Meso-meteorológica:

Entre as duas outras e muito claramente separada das micro-escalas pelo chamado vazio espectral, que se estende entre a 1 e 8 horas, e que correspondem a circulações locais de que as brisas são o melhor exemplo, quer sejam induzidas pelas diferentes características da superfície (água e terra sólida) quer sejam associadas à topografia (vales e montanhas).

- Escala Micro-meteorológica ou local;

Abrangendo movimentos de dimensão característica inferior a 20 km ou escalas de tempo inferiores a 1 hora onde, as estruturas ambientais, nomeadamente as modificadas por ação do Homem, podem ter um papel determinante;

A representação da variação da velocidade do vento em função do tempo (período) ou seu inverso, baseada na teoria estatística da turbulência, constitui o espectro de vento (Figura 6). Por meio dele, é possível entender o comportamento do vento, compreendendo-se que os seus picos podem representar tanto a sobreposição de movimentos independentes que vão desde

alguns milhares de quilômetros, como os movimentos associados a centros de baixa pressão e anticiclones, com extensões de alguns milímetros, por exemplo os ocasionados pela rugosidade local (SARAIVA, 1997).

Figura 6: Espectro do vento atmosférico, latitudes médias do hemisfério Norte. Fonte: Saraiva, 1997.

Primeiramente, observam-se (Figura 6a) três picos de frequência bem marcados: um equivalente a aproximadamente 4 dias (escala macro-meteorológica ou sinóptica), outro cerca de 12 horas (escala meso-meteorológica) e um terceiro, inferior a uma hora e situado na casa dos minutos (escala micro-meteorológica).

O primeiro máximo está associado às mudanças dos sistemas meteorológicos ligados à frente polar nos climas temperados; o segundo, às variações diárias do vento; e o terceiro, à turbulência atmosférica (regime de rajada) (LOPES, 2003). Entre as escalas meso e micrometeorológica existe um vazio espectral, compreendido, em termos de escalas temporais, entre 1 e 8

horas. Observam-se ainda dois outros picos, relacionados com os fenômenos naturais que afetam o clima, considerados especulativos: um de grande amplitude, correspondente ao período de **1 ano**, associado ao movimento de translação da Terra; e o outro menor, no período de **6 meses**, equivalente à inclinação do eixo terrestre. Também se percebe o período de **12 horas** correspondente à sucessão de dias e noites, mas a sucessão dos dias (**24 horas**) não é visível porque esse efeito não se faz sentir na altura em que as medições foram efetuadas (LOPES, 2003).

Medições mais recentes (Figura 6b) confirmam a existência do pico máximo diário, ou sucessão dos dias (**1 dia**) e dos mencionados picos semestral e anual (SARAIVA, 1997). Além disso, pode-se justificar o período em torno dos 4 a 6 dias para as regiões temperadas como sendo correspondente às passagens de superfícies frontais, com pequenas variações quer temporais em energia nos períodos de Inverno e de Verão.

O vento possui, portanto, uma natureza cíclica, pois, como se pode ver nos espectros, os picos estão associados a fenômenos naturais que, por sua vez, também são cíclicos. “[...] isto significa que é possível gerar a partir das representações espectrais séries temporais que respeitam essas origens e que têm a vantagem nítida de corresponderem a representações em que as características das fontes são preservadas” (SARAIVA, 2005).

2.2.4 Parâmetros aerodinâmicos: velocidade e direção

Velocidade do vento é uma grandeza que inclui não apenas velocidade, mas também direção (MELARAGNO apud PRATA 2005), que podem ser caracterizadas como:

- Velocidade: Velocidade de Pico de Vento, que é a Velocidade da Rajada; Velocidade registrada num dado período de anos; e Gradiente de Velocidade, que é a velocidade acima da altura (altura gradiente) onde a força de atrito da superfície não é mais atuante (PRATA, 2005).
- Direção: (ângulo em graus de incidência do vento). Neste trabalhos, consideraram-se os seguintes intervalos: N = Norte = entre 338° e 22°; NE = Nordeste = entre 23° e 67°; L ou E = Leste = entre 68° e 112°; SE = Sudeste = entre 113° e 157°; S = Sul = entre 158° e 202°; SO = Sudoeste = entre 203° e 247°; O ou W = Oeste = entre 248° e 292°; NO = Noroeste = entre 293° e 337°.

2.2.5 Escoamento Laminar e Turbulento

Em 1883, Osborne Reynolds realizou um experimento (Figura 7) que demonstrou a existência de dois tipos de escoamento de um fluido e descreveu como podem ser visualizados, na tradução da redação original:

“O primeiro onde os elementos do fluido seguem-se ao longo de linhas de movimento e que vão da maneira mais direta possível ao seu destino, e o outro em que se movem em trajetórias sinuosas da maneira mais indireta possível”.

Figura 7: Experimento de Reynolds: o escoamento da água em um tubo. Fonte: POLI-USP, 2003.

Como se viu na redação original, o escoamento laminar é aquele em que o fluido apresenta um movimento suave em lâminas ou camadas. O oposto chama-se de escoamento turbulento, ou simplesmente, turbulência, onde o fluido desenvolve movimentos tridimensionais e aleatórios, em uma completa desorganização (FOX, 2001), caracterizada por vórtices locais e um grande aumento na resistência ao escoamento (UFSM, 2006).

Em termos práticos, ao se observar o que acontece com o escoamento do ar no meio urbano, percebe-se que, em função do tipo de rugosidade característica do meio urbano, predomina, nele, o escoamento turbulento, onde o ar sofre constantes desvios que mudam sua direção e velocidade quando encontra os edifícios. Os gráficos 1(a) e (b) diferenciam estes dois escoamentos.

Gráfico 1: Escoamento Laminar (a) e Turbulento (b). Fonte: Fox, 2001.

2.2.6 Turbulência e Número de Reynolds

Acredita-se que os primeiros estudos sobre turbulência ocorreram por volta de 1500, como mostram rascunhos de Leonardo Da Vinci (Figuras 8 e 9).

Figura 8: Água em piscina de natação. Fonte: fem.unicamp.br

Figura 9: Formações de vórtices em zonas de separação. Fonte: Silva, 1999.

Mais tarde, já no século XIX, quando, Reynolds demonstrou experimentalmente a existência de dois tipos de escoamento para a água por um tubo, como se viu anteriormente, ele estabeleceu uma quantidade adimensional que determina qual regime de escoamento o fluido apresenta, se laminar ou turbulento, o Número de Reynolds (Re):

$$Re = \rho D [V] / \mu \quad (\text{Equação 01})$$

Onde:

ρ é a densidade do fluido;

D é o diâmetro do tubo;

$[V]$ é o módulo da velocidade média do escoamento;

μ é a viscosidade dinâmica do fluido;

A relação entre o número de Reynolds e o tipo de escoamento é:

$Re < 2000$ → Escoamento **LAMINAR** (fluido de grande viscosidade a uma pequena velocidade).

$2000 < Re < 4000$ → **TRANSIÇÃO** do escoamento laminar para o turbulento.

$Re > 4000$ → Escoamento **TURBULENTO** (fluido de pequena viscosidade a uma alta velocidade).

Outros números adimensionais, como Nusselt, Prandtl, Grashof, Rayleigh não são relevantes para esta pesquisa em específico, pois o foco desta está principalmente nas alterações dinâmicas do fluxo de ar e não no gradiente de temperatura decorrente destas alterações.

2.2.7 Camada Limite Atmosférica (CLA)

O conceito de camada limite é atribuído à Froude, que em 1870 levou a cabo uma série de experiências para estudar as forças de atrito e resistência de um prato fino e plano quando posto em movimento sobre uma superfície de água. O termo terá sido introduzido três décadas depois por Prandtl, ao estudar o escoamento de fluidos sobre superfícies sólidas (LOPES, 2003).

De acordo com Lopes (2003) a CLA, em condições de estabilidade neutra, possui uma estrutura típica (Figura 10):

A estrutura típica da CLA, em condições normais de estratificação neutra é composta [...] por duas regiões distintas: a camada interna ou de superfície (*inner* ou *surface layer*) e a camada externa ou Ekman (*outer layer*). Nesta, o fluxo apresenta uma fraca dependência da natureza da superfície e a rotação da Terra, que origina a força de Coriolis, é bastante importante.

Figura 10: Estrutura da CLA em condições de estabilidade neutra. Fonte: Garrat, 1994.

Em termos práticos, à proporção que se vai afastando do topo dos edifícios, a interferência no escoamento do ar fica cada vez menor, e o escoamento cada vez menos perturbado, até que chega um ponto em que a rugosidade deixa de influenciar no escoamento. Este ponto, onde a rugosidade deixa de alterar a velocidade do vento, corresponde à Camada Limite Atmosférica, que se situa abaixo da altura gradiente (PRATA, 2005) e apresenta diferentes perfis de acordo com o escoamento (Figura 11).

Figura 11: Comparação dos perfis de camadas limites em escoamento laminar e turbulento, respectivamente. Fonte: Fox, 2001

Para Oke (1987) a variação de vento com altura permite definir dois *sublayers* em cima das cidades: *Obstructed Sublayer* – se estende da superfície de chão até a altura dos edifícios e *Free Surface Layer* ou *Urban Boundary Layer* – comumente chamada de camada limite – sobre os topos de telhado, determinada pela rugosidade do local (Figura 12).

Figura 12: Estrutura da camada de ar sobre a cidade. Fonte: Oke, 1987.

Para Alcoforado apud Prata (2005), na *Obstructed Sublayer*, ou *Urban Canopy Layer* (UCL), também conhecida como Camada Limite Urbana ao nível das Coberturas ou Atmosfera Urbana Inferior, os fenômenos atmosféricos estão relacionados à escala do nível das ruas e dos afastamentos entre os edifícios. E,

na *Urban Boundary Layer* (UBL), ou Camada Limite Urbana ou Atmosfera Urbana Superior, os fenômenos atmosféricos são de natureza local/regional.

2.2.8 Rugosidade Aerodinâmica e Perfil de Velocidade

O campo de vento da camada limite atmosférica é controlado pelo balanço das forças de atrito, exercidas pela superfície sobre o fluxo de ar e pelo gradiente de pressão atmosférica. O atrito retarda o fluxo de ar à medida que se aproxima da superfície, diminuindo a sua velocidade média horizontal. Na ausência de efeitos térmicos, a influência do atrito depende da rugosidade da superfície. A turbulência mistura continuamente o fluxo de ar das camadas mais baixas com o ar em movimento mais rápido e toda CLA, de modo que toda ela é afetada pelo atrito da superfície. (STULL, 1988).

O vento, por ser um fluido newtoniano⁵, quando em contato com uma fronteira sólida, adquire a mesma velocidade desta fronteira por causa da sua condição de não-deslizamento. Esta condição é chamada por Munson apud Cóstola (2006) de condição de não escorregamento. Ao passo que, no caso de a fronteira estar parada, a velocidade do fluido é a mesma da fronteira, portanto, zero; por exemplo, uma rajada de vento ao encontrar um edifício, que logicamente se encontra parado, perde sua velocidade inicial, que chega a zero.

Dessa maneira, se um único edifício isolado é capaz de influenciar a velocidade do vento que incide sobre si, pode-se imaginar o quanto é grande o efeito do conjunto de edifícios nesta velocidade. Este conjunto de edifícios ou a ausência deles em uma cidade ou no campo, determina o que se entende por rugosidade (Z_0). Stull (1988) atribui a diferentes áreas, diferentes rugosidades, com valores dados em metros, de maneira que se poderá traçar um perfil de velocidade para o local estudado (Figura 13).

O conceito de rugosidade aerodinâmica é usado para caracterizar o efeito de uma superfície em um escoamento, mas os resultados desta análise só são válidos acima da altura dos elementos de rugosidade. No caso do ambiente urbano, os resultados que derivam da aplicação do conceito de rugosidade só se aplicam à região acima dos edifícios [...] (RAUPACH apud CÓSTOLA, 2006).

⁵ De acordo com Fox (2001), fluido newtoniano é aquele que apresenta uma taxa de deformação diretamente proporcional à tensão de cisalhamento nele empregada.

Figura 13: Rugosidade Aerodinâmica de alguns tipos de terreno. Fonte: Stull, 1988.

Portanto, como se vê em Souza (2006), quanto mais rugoso o solo, maior o atrito que ele oferece ao escoamento e menor a velocidade do vento, principalmente ao nível do piso; por isso, a velocidade de deslocamento das massas de ar é menor sobre a cidade do que sobre a superfície rural e, assim, configuram-se diferentes perfis de vento, determinados pela rugosidade. (Figura 14).

Figura 14: Perfis de Vento: Efeito da rugosidade no perfil de velocidade do vento. Fonte: Souza (2006) adaptado de Mascaró.

De acordo com Prata (2005), "[...] a variação da velocidade média do vento com a altitude constitui o perfil transversal de velocidade, que pode ser descrito pela lei logarítmica de Prandtl:

$$\bar{U} = \left(\frac{u^*}{\kappa} \right) \ln \left[\frac{z}{z_0} \right] \quad (\text{Equação 02})$$

Onde:

$\bar{U}$: = velocidade média do vento

u^* = velocidade de atrito

κ = constante de Von Kármán (0,40)

Z = altura da cota

Z_0 = rugosidade aerodinâmica

2.2.9 Efeitos do vento

Segundo Souza (2006) “a aerodinâmica classifica alguns efeitos do vento, de acordo com a composição dos edifícios no espaço urbano em relação à direção do vento”. Tomando como base os estudos de Mascaró (1986), Hertz apud Souza (2006), Romero (2000) e Cândido et al. (2005), a autora compilou estes efeitos com suas respectivas características, como se observa abaixo e na Figura 15:

- Efeito Barreira ou de barra: ocorre quando o edifício funciona como uma barreira à passagem do vento, criando um desvio em espiral;
- Efeito Venturi: fenômeno de funil formado por dois edifícios próximos, cujos eixos formam um ângulo agudo ou reto na direção do vento, acelerando a velocidade do vento no estrangulamento entre os edifícios;
- Efeito das Zonas de Pressão Diferentes ou de ligações de pressão: formado quando os edifícios estão ortogonais à direção do vento e quincunce⁶ às massas de pressão diferentes, interligando-se transversalmente, resultando em movimento de ar no sentido das pressões decrescentes;
- Efeito Malha ou armadilha: formado quando há uma justaposição de edifícios de qualquer altura, fazendo um alvéolo cujo número de lados não é limitado, e onde a(s) abertura(s) da malha não excede 25% do seu perímetro;
- Efeito Pilotis ou de passagens inferiores: ocorre quando o vento entra sob o edifício de maneira difusa e sai em jato;
- Efeito Esquina ou de Canto: aceleração da velocidade do vento nos ângulos do edifício;

⁶ Disposição de edifícios ou elementos de forma que tenham distribuição espacial alternada. Os doze prédios que compõem os ministérios em Brasília têm uma disposição em quincunce.

- Efeito de Canalização: formado quando a ventilação flui por um canal (corredor) a céu aberto formado pelos edifícios;
- Efeito Esteira: ocorre quando há circulação do ar em redemoinho na parte posterior em relação à direção do vento (fachada em zona de baixa pressão), sendo esta limitada pelas linhas saídas das arestas.
- Efeito Pirâmide: formado quando os edifícios, por sua forma piramidal, não oferecem grande resistência à passagem do vento;
- Efeito Redemoinho ou Sombra de Vento ou Zona de Sucção: ocorre quando o fluxo de vento se separa da superfície dos edifícios, formando uma zona de redemoinho ou estagnação do ar a sotavento;

Figura 15: Efeitos aerodinâmicos, devido à forma do edifício. Fonte: Gandemer apud Mascaró, 1996.

Efeito armadilha **Efeito de passagens inferiores****Efeito de esquina** **Efeito de canalização** **Efeito de esteira** **Efeito de pirâmide** **Efeito de abrigo**

Continuação da Figura 15: Efeitos aerodinâmicos, devido à forma do edifício. Fonte: Gandemer apud Mascaró, 1996.

CAPÍTULO 3

Estudo de caso

3. ESTUDO DE CASO: A CIDADE DE SÃO LUÍS

3.1 Localização

São Luís (Figura 16) localiza-se no litoral do estado do Maranhão e encontra-se na latitude $02^{\circ}32' S$, longitude $44^{\circ}17' W$, com altitude de 32m acima do nível do mar e possui uma área de 827,14km².

Figura 16: Maranhão em destaque no Brasil e Ilha de São Luís. Fonte: Google Earth.

De acordo com o Governo do Estado do Maranhão (199?), o litoral maranhense (Figura 17) apresenta uma extensão de 640km, a segunda maior extensão do Brasil. A ilha de São Luís faz parte da "Aglomeração urbana de São Luís" da qual também fazem parte os municípios de São José de Ribamar, Raposa e Paço do Lumiar, com uma grande quantidade de praias.

Figura 17: Mapa Ilha de São Luís. Fonte: <http://www.guiasaoluis.com.br>

O acesso (Figura 18) à capital insular maranhense dá-se por via aérea, pelo aeroporto internacional “Marechal Cunha Machado”; ou por via rodoviária, pela BR-135 (onde há apenas uma ponte para veículos) e pelas estradas de ferro da Companhia Ferroviária do Nordeste (CFN) e Companhia Vale do Rio Doce (CVRD). Destaca-se, ainda, a presença, no estado, do Porto do Itaqui, do Terminal da Ponta da Madeira e do Terminal da Alumar.

Figura 18: Mapa de acesso à São Luís. Fonte: <http://www.ecoviagens.com.br>

O relevo do estado do Maranhão apresenta planaltos no interior, costa recortada e planície litorânea com dunas, onde se localiza a ilha, com sua topografia ondulada com altitude média de 25m, o ponto mais elevado fica na região do aeroporto. Além disso, a ilha apresenta coberturas vegetais variadas: florestas amazônicas na região Noroeste; cerrados nas regiões Centro e Sul; zonas semi-áridas, no Nordeste do Estado.

Os dois principais rios da ilha são o Anil e o Bacanga. A norte e oeste do Rio Anil ficam os bairros mais modernos e com melhor infra-estrutura da cidade. Ao sul do Rio Bacanga, está o distrito industrial da ilha. Nas zonas centro e norte

da região metropolitana estão os grandes bairros populares. Nos extremos norte e leste a ocupação é esparsa, são áreas de praias desertas e manguezais fechados. No lado oeste da ilha, ficam os bairros mais prósperos, as praias mais freqüentadas e com melhor infra-estrutura. As avenidas Litorânea e dos Holandeses ligam os bairros da zona oeste entre si e à zona norte onde fica o município de Raposa. A Avenida Jerônimo de Albuquerque formou um eixo de expansão para onde foi levado o desenvolvimento urbano da cidade, liga a área do São Francisco/ Renascença à Cohab e em suas margens surgiram vários bairros residenciais e estabelecimentos comerciais. Os outros dois eixos importantes são os formados pela Avenida dos Guajajaras ligando a zona sul às oeste e norte, e a estrada de Ribamar, que liga o centro da ilha aos bairros da região norte e às sedes dos municípios de Paço do Lumiar e São José de Ribamar.

3.2 Legislação Urbanística Básica do Município de São Luís

A Legislação Urbanística Básica do Município de São Luís⁷ é composta por um conjunto de leis que regulamentam a gestão, a organização espacial, o crescimento e as transformações da cidade, nos aspectos sociais, políticos, econômicos, administrativos, físico-ambientais e urbanos. Dentre estas leis, encontram-se leis fundamentais para o desenvolvimento urbano da cidade, através do estabelecimento de diretrizes para todas as ocupações da cidade. São o Plano Diretor; a Lei de Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo e o Código de Obras de São Luís.

⁷ É sabido que a Legislação Urbanística Básica de São Luís encontra-se em processo de reformulação. Infelizmente, ainda não são encontradas referências publicadas das alterações sofridas nas legislações existentes estudadas, pois a nova legislação ainda não foi editada. Ressalta-se que, até o final da pesquisa, continuar-se-á aguardando a edição da nova legislação para que se possa atualizar a pesquisa.

Por se tratarem de leis que regem todas as construções da cidade, acredita-se que estas leis devam conter diretrizes que garantam o conforto ambiental tanto do espaço edificado, como do espaço urbano aberto, em todas as suas esferas: ergonomia, conforto acústico, conforto luminoso, conforto térmico, onde se encontra a ventilação natural do meio urbano – objeto de estudo deste mestrado.

Dessa maneira, a seguir se procederá a uma análise minuciosa das três leis mencionadas anteriormente, em busca das diretrizes que asseguram a ventilação natural no ambiente urbano da cidade de São Luís e que se refiram especificamente à Avenida Litorânea.

3.2.1 Lei do Plano Diretor

Trata-se da Lei nº 3.252, de 29 de dezembro de 1992 e é um instrumento básico e regulador do processo de planejamento municipal urbano. Nela foram identificados os seguintes aspectos com o objetivo de assegurar a ventilação natural no meio urbano:

- Art. 6º – Entende-se por ambiente saudável o convívio de todos os seres vivos, vegetais e animais e o meio físico que lhes serve de substrato, livres de quaisquer tipos de poluição – das águas, da atmosfera, do solo, sonora, visual, radioativa e pelo uso de defensivos.

Este artigo pode ser compreendido como uma preocupação em assegurar os confortos térmico, luminoso e acústico, em linhas gerais, através da garantia da ausência de poluição de qualquer poluição que perturbe um destes confortos.

- Art. 8º – Constituem objetivos políticos:
VIII – A coibição da especulação imobiliária.

No caso da Avenida Litorânea, a especulação imobiliária apresenta-se como um responsável pela falta de planejamento e o conseqüente crescimento desordenado. Isto pode ser evidenciado com os inúmeros edifícios altos que têm surgido nas avenidas posteriores à orla e em sua direção, sob o atrativo de proporcionar ao futuro morador uma bela vista para o mar, sem que haja um estudo de previsão do impacto de sua implantação nas condições de conforto ambiental do entorno imediato e da cidade como um todo.

- Art. 10 – Constituem objetivos físico-ambientais:

IV – A indução da ocupação do solo, de modo a conservar os recursos naturais e obter um desenvolvimento harmônico da cidade;

As dunas da Avenida Litorânea, como se verá a seguir, localizam-se em uma área de Proteção Ambiental. Supõe-se que esta condição de área protegida assegure sua salvaguarda. No entanto, agentes externos, como a especulação imobiliária, não têm demonstrado a preocupação com a preservação das mesmas, pois os edifícios têm sido construídos cada vez mais perto dos lotes mais próximos da Avenida Litorânea, e também de suas dunas.

V – O equilíbrio das áreas destinadas ao uso coletivo e áreas verdes, como condição ao adensamento e à eventual verticalização de bairros;

Acima, uma evidência da importância de preservar o equilíbrio entre áreas verdes e massa construída como uma condição à construção e à verticalização. Nesse sentido, poder-se-ia questionar a necessidade de verticalizar uma área que ainda possui tantos lotes desocupados e vazios urbanos, como é o caso da área estudada. Entretanto, prefere-se investir em um planejamento para esta nova tendência de construção.

- Art. 15 – Constituem Diretrizes Físico-Ambientais:

II – A coibição de loteamento em áreas de alta declividade e de solo inadequado, assim como em áreas de preservação ambiental;

Neste caso, retoma-se a questão das dunas e de outras áreas de declividade acentuada na orla e da necessidade de preservá-las intactas.

3.2.2 Lei de Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo

Trata-se da Lei nº 3.253, de 29 de dezembro de 1992 e dispõe sobre o zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo. Nela foram identificados alguns aspectos com o objetivo de assegurar a ventilação natural no meio urbano.

Como se verá no decorrer deste trabalho, identificaram-se quatro áreas de estudo caracterizadas por diferentes formas de ocupação na Avenida Litorânea. Estas áreas, de acordo com a presente lei, encontram-se em pelo menos cinco zonas distintas: Zona Residencial 8 (ZR8), Zona Residencial 9 (ZR9), e Zona Turística 2 (ZT2) e Zona de Proteção Ambiental 2 (ZPA2); já a Avenida Litorânea, cujo nome oficial é Avenida Atlântica, caracteriza-se como um Corredor Secundário 2 – CS2, cujas especificações interessantes ao trabalho encontram-se organizados na Tabela 1 (Anexo):

Tabela 1: Zonas. Fonte: adaptado da Lei 3.253.

ZONAS					
	ZR8	ZR9	ZT2	ZPA2	CS2
USOS PERMITIDOS	R1, R2, todos C1, C2.1, C2.2, todos S1, S2.1, S2.3, S2.4, S2.5, S2.6, todos E1,	R1, R2, todos C1, C2.1, C2.2, C2.3, todos S1, S2.1, S2.3, S2.4, S2.5, S2.6,	R1, R2, todos C1, C2.1, C2.2, C2.3, S1.4, S1.5, S2.1, S2.3, S2.4, S2.5,	C2.2	R1, R2, C2.2, S1.4, E1.2

Continuação da Tabela 1: Zonas. Fonte: adaptado da Lei 3.253.

		ZONAS				
		ZR8	ZR9	ZT2	ZPA2	CS2
USOS PERMITIDOS		E2.1, E2.2, E2.5, E3.2	S2.7, E1, E2	S2.6, S2.9, todos E1, E2.2, E2.5, E3.2		
L	ÁREA MÍNIMA (m²)	800,00	450,00	1.000,00	—	800,00
O	TESTADA MÍNIMA (m)	20,00	15,00	20,00	—	20,00
T	A.T.M.E. (% da área do terreno)	100	210	270 (hospedagem) 210 (demais)	—	100
E	A.L.M.L. (% da área do terreno)	50	40 (unifamiliar) 50 (demais)	50	—	50 (unifamiliar) 60 (demais)
D	AFASTAMENTO FRONTAL MÍNIMO (m)	5	5 (≤ 4 pav.) 8 (demais)	5 (≤ 4 pav.) 8 (demais)	—	20,00
I	GABARITO MÁXIMO (nº de pavimentos)	03	10	15* (hospedagem) 12 (demais)	—	03
F	Faixa de área <i>non aedificandi</i>	—	—	—	50m a partir da margem	20m a partir do eixo da via

Outros dois aspectos importantes à análise da ventilação enquanto um meio de assegurar o conforto térmico – vãos para iluminação e afastamentos – estão presentes nesta lei nas Tabelas 2 e 3:

Tabela 2: Vãos de Iluminação. Fonte: adaptado da Lei 3.253.

VÃOS DE ILUMINAÇÃO						
DENOMINAÇÃO	NÚMERO DE PAVIMENTOS					
	1	2-3	4-5*	6-8**	9-12**	13-15**
POÇOS DE ILUMIN. E VENTILAÇ. (m²)	2,25	4,00	9,00	16,00	30,25	49,00
LARG. MÍNIMA (m)	1,50	2,00	3,00	4,00	5,50	7,00
POÇOS DE EXAUSTÃO (m²)	2,25	2,85	8,75	12,25	25,00	30,00
LARG. MÍNIMA (m)	1,50	1,80	2,50	3,50	5,00	6,00

*Com até mais um pavimento de garagem.

** Com até mais de dois pavimentos de garagem.

Tabela 3: Afastamentos. Fonte: adaptado da Lei 3.253.

TABELA DE AFASTAMENTOS						
AFASTAMENTO	NÚMERO DE PAVIMENTOS					
	1	2-3	4-5*	6-8**	9-12**	13-15**
LATERAL PRINCIPAL (m)	1,50	2,50	3,50	5,00	7,00	10,00
LATERAL SECUNDÁRIA (m)	1,50	2,00	3,00	4,00	6,00	9,00
FUNDOS (m)	1,50	2,00	3,0	5,00	7,00	10,00

*Com até mais um pavimento de garagem.

** Com até mais de dois pavimentos de garagem.

Entretanto, essa Lei 3.253, em momento algum, justifica como estes valores foram estabelecidos, de maneira que se pode questionar sua eficiência, assim como Cóstola (p.12; 2006) questiona as diretrizes em relação à ventilação natural estabelecidas pela Norma de Desempenho Térmico de Edificações, a NBR 15220-3: "... a norma adota uma postura simplista, e estabelece que as aberturas do edifício em uma dada zona climáticas serão pequenas, médias, ou grandes. Esta classificação é questionável na medida que ignora elementos importantes ao desempenho da ventilação."

3.2.3 Código de Obras de São Luís

Trata-se da Lei nº 3.254, de 29 de dezembro de 1992 e estabelece a implantação das operações urbanas no município de São Luís. Nela foram identificados os seguintes aspectos relevantes para a garantia da ventilação natural no meio urbano:

- Art. 1º – Fica entendido como operação urbana o procedimento onde a Prefeitura aumenta a Área Total Máxima da Edificação (ATME) e o Gabarito Máximo de terrenos particulares no Município de São Luís, a partir de propostas de seus proprietários, desde que estes se obriguem a financiar

infra-estrutura e melhoramentos urbanos em troca das modificações destes índices urbanísticos de seus terrenos.

- Art. 2º – A Prefeitura pode modificar a Área Total Máxima da Edificação (ATME) e o Gabarito Máximo de terrenos municipais, abrindo concorrência pública para particulares interessados em empreendimentos nestes terrenos, tendo como contrapartida o financiamento de infra-estrutura e melhoramentos urbanos.
- Art. 21 – A Área Total Máxima de Edificação (ATME) por lote só poderá ser modificada nas zonas específicas e com o respectivo aumento, apresentadas em tabelas anexadas a esta Lei.

Abaixo, partes das tabelas das operações urbanas para os acréscimos de ATME e Gabarito a que se referem os artigos acima, contendo apenas as zonas envolvidas no estudo:

Tabela 4: Operações Urbanas – Zonas. Fonte: Lei 3.254.

OPERAÇÃO URBANA – ZONAS				
ZONA	ATME SOLO CRIADO	ACRÉSCIMO (%)	GABARITO SOLO CRIADO	ACRÉSCIMO (Nº PAV.)
ZR8	*	*	*	*
ZR9	300	90	15	05
ZT2	330	60	01	03
ZPA2	*	*	*	*

*Zonas não aparecem na tabela, ao passo que se conclui que não são permitidas operações urbanas para as mesmas.

Tabela 5: Operações Urbanas – Corredores. Fonte: Lei 3.254.

OPERAÇÃO URBANA – CORREDORES				
CORREDOR	ATME SOLO CRIADO	ACRÉSCIMO (%)	GABARITO SOLO CRIADO	ACRÉSCIMO (Nº PAV.)
CS2	*	*	*	*

*Corredor não aparece na tabela, ao passo que se conclui que não são permitidas operações urbanas para os lotes localizados no CS2.

Percebe-se uma legislação muito preocupada em esclarecer a contrapartida, especialmente a questão econômica nela envolvida. Na Lei, fala-se que a aprovação da operação urbana é justificada por pareceres urbanístico e econômico, sem que sejam esclarecidos o quê exatamente esses pareceres

levarão em consideração. Não fica evidente se o interessado na realização da operação urbana deverá comprovar, através de princípios da ventilação natural, por exemplo, que o incremento de gabarito no seu edifício não acarretará prejuízos aos edifícios de seu entorno. Acredita-se que o pedido de aumento de Gabarito, por exemplo, deveria vir acompanhado de um relatório de impacto da operação no entorno próximo.

3.3 Crescimento e verticalização na cidade de São Luís

Determinados bairros da cidade de São Luís que possuem limite com a Baía de São Marcos vem sendo os alvos preferidos da especulação imobiliária sob a forma de edifícios verticalizados, de uso multifamiliar, em sua maioria, ou comercial.

Morar em edifícios de apartamentos multifamiliares em São Luís virou uma tendência, à qual aderiram especialmente as famílias de classes média e alta. A combinação torna-se mais promissora ainda, quando os edifícios altos localizam-se nas áreas mais nobres da cidade com este tipo de ocupação, hoje a Ponta D'Areia, o Renascença II e, mais recentemente, o Calhau.

Mas não foi nestes três bairros que as primeiras edificações verticalizadas surgiram, mas sim no São Francisco, onde, os primeiros edifícios altos, com 5 pavimentos, datam da década de 80. Alguns voltados para a Baía de São Marcos, outros não, no geral, poucos são os exemplares, pois apenas aproximadamente uma dúzia de prédios foi construída.

Como se trata de um bairro com uma ocupação bastante consolidada, a ausência de terrenos livres onde se possam construir grandes prédios deve ter contribuído para que a especulação imobiliária levasse os edifícios altos para

outros locais. Soma-se a isto o fato de se encontrar vizinhança de baixo poder aquisitivo, o que desvalorizou o local.

Processo inverso ao do São Francisco aconteceu com o bairro Ponta D'Areia, ocupado inicialmente por moradores de classe baixa em sub-moradias. Hoje, com a urbanização da Lagoa da Jansen, inaugurada no final de 2001, a área foi supervalorizada e os moradores de baixa renda vêm desaparecendo gradativamente. Logo ao lado da Ponta D'Areia, o bairro Renascença II é a maior "coqueluche" em morar nas alturas.

No final da década de 70, o Renascença II possuía uma configuração completamente diferente da atual. Tratava-se de uma área inóspita, sem infra-estrutura e com ruas de terra batida. Com o passar do tempo, foram surgindo algumas edificações residenciais unifamiliares de um a dois pavimentos e, mais tarde, multifamiliares de cinco a dez pavimentos. Com isso vieram os primeiros investimentos em infra-estrutura, como o asfaltamento das ruas e a iluminação pública. Já na década de 80, a área onde hoje estão localizados os shoppings Tropical e Monumental foi aterrada e logo teve início a construção do primeiro. Com ele, foram construídos o edifício multifamiliar Costa Azul e o edifício comercial Carrara. Como se não bastasse o apelo comercial do shopping valorizando a área, a especulação imobiliária e a mudança de gabarito foram fatores decisivos para que explodisse uma 'febre' desenfreada de edifícios residenciais e comerciais com doze e mais tarde quinze pavimentos (LEITE, 2003).

Logo ao lado do Renascença II, já no bairro do Calhau, a partir do ano 1998, começaram a ser construídos edifícios multifamiliares em avenidas paralelas à Avenida Litorânea, a uma distância de aproximadamente 500m da mesma, como é o caso da avenida dos Holandeses, onde foram construídos inicialmente três edifícios multifamiliares, cada um com 15 pavimentos, respeitando-se o gabarito máximo permitido pela legislação específica.

Poucos anos mais tarde, como em uma disputa pela vista para o mar – no momento, um dos pré-requisitos mais poderosos em atrair moradores – começaram as obras de alguns prédios um pouco mais perto da Avenida Litorânea, ainda na avenida dos Holandeses, mas agora no lado oposto àquele em que foram construídos os três primeiros prédios.

E essas construções desordenadas surgiram ainda na rua Engenheiro Rui Mesquita, a cerca de 200m da cobiçada avenida e separada desta apenas por uma área de dunas. A seguir, uma foto aérea e uma panorâmica dos bairros mencionados:

Figura 19: O processo de verticalização de alguns bairros de São Luís. Fonte: *Google Earth* e *TourMA*.

3.4 A Avenida Litorânea

3.4.1 Breve histórico

A urbanização da Avenida Litorânea foi concluída no ano de 1996. Nesse período, apenas algumas poucas residências, juntamente com bares e pequenos restaurantes ocupavam a área que, rapidamente, se tornou um importante local de diversão, lazer e ponto turístico.

Configurava-se um grande marco divisor onde de um lado encontrava-se a praia de São Marcos e do outro, alguns terrenos e grandes dunas pertencentes, de acordo com a Legislação Urbanística da cidade de São Luís, à Zona de Proteção Ambiental (ZPA2).

Rapidamente, algumas poucas edificações multifamiliares, hotéis e flats passaram a ocupar os terrenos que até então se encontravam vazios, contribuindo para o crescimento da especulação imobiliária e o conseqüente interesse pela área, razão pela qual tem início a preocupação deste trabalho.

Por volta de 2003, a avenida passou por um processo de reurbanização recebendo, de acordo com o Governo do Estado, investimentos da ordem de R\$ 5 milhões, com os quais foram reformados o canteiro central e o calçadão; implantadas barracas, quiosques e construídas praças com tratamento paisagístico e áreas de lazer com espaço para a realização de shows, entre outros empreendimentos.

Hoje, as barracas dispõem de água encanada e tratada; banheiros higiênicos interligados diretamente na rede coletora de esgoto da região.

Seus aproximados 11 quilômetros de extensão que acompanham o sinuoso contorno da costa da ilha – da praia de São Marcos à Calhau – representam hoje um dos pontos turísticos mais atrativos e mais freqüentados por turistas e por maranhenses.

3.4.2 Formas de ocupação

A definição da área de estudo deste mestrado deu-se, não apenas, a partir da análise anterior do processo de verticalização dos bairros vizinhos, mas, especialmente, da identificação dos trechos da Avenida Litorânea com ocupações mais representativas de seu incipiente processo de verticalização.

Foram identificadas três áreas com ocupações diferentes, às quais se chamaram: Área 1, Área 2 e Área 3, como se pode ver na Figura 20:

Figura 20: Identificação das diferentes ocupações para escolha da área de estudo. Fonte: Google Earth.

A Área 1, ampliada na Figura 21, é a ocupação mais antiga, onde tanto os lotes da avenida como os que ocupam os terrenos posteriores, já estão a maioria construídos. Trata-se de uma área pertencente, de acordo com a Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo, à ZR8 (os lotes delimitados pelo retângulo amarelo) e à ZPA2 (os lotes voltados para a Avenida Litorânea).

Nos lotes voltados para a avenida, abaixo na imagem aérea, encontram-se principalmente residências com um a dois pavimentos, bares, restaurantes, pizzarias, sorveterias, casas noturnas, hotéis, flats e edifícios multifamiliares que ainda não excederam o gabarito máximo permitido pela norma, de três pavimentos, como se vê nas fotos da Figura 21.

Já, as edificações que ocupam os terrenos posteriores à avenida (demarcadas pelo retângulo amarelo), além de ficarem em uma cota mais acima em relação à via, são ocupadas predominantemente por residências de um a dois pavimentos (Figura 22).

Figura 21: Área 1: Edificações da Avenida Litorânea. Fonte: Google Earth (imagem), a autora (fotografias).

A Área 2, ampliada na Figura 22, é marcada por uma ocupação antiga e já consolidada, à frente da qual têm surgido os primeiros exemplares de edifícios com mais de dois pavimentos. Assim como a Área 1, de acordo com a Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo, a Área 2 também pertence à ZR8.

Na área de ocupação consolidada, a predominância é de residências unifamiliares de um a dois pavimentos, sendo que também se encontram escritórios de advocacia, consultórios de odontologia, creches, igrejas, casa de festa, restaurantes, lojas de automóveis, de móveis, de materiais de construção, lava a jato e outros estabelecimentos comerciais que também não excedem dois pavimentos, principalmente voltados para a Avenida dos Holandeses, localizada no interior do conglomerado, aproximadamente no mesmo sentido da Litorânea.

Entretanto, à frente destas residências, existem lotes com localização bastante privilegiada, em um dos pontos mais altos da região, com vista para boa parte da Avenida Litorânea. E é justamente nestes lotes que vem sendo

construídos edifícios com térreo mais 3 pavimentos, como mostram as fotos e o detalhe da Figura 22 abaixo.

Figura 22: Área 2: Edificações do bairro Ipem Calhau. Fonte: *Google Earth* (imagem), a autora (fotografias).

A Área 3, ampliada na Figura 23, é marcada por uma ocupação mais recente e ainda não consolidada, onde predominam os edifícios mais altos da região. Nesta área, podem-se identificar duas zonas distintas.

De acordo com a Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo, os edifícios delimitados pelo círculo amarelo fazem parte da ZR9 e seus gabaritos excedem o máximo de 10 (dez) pavimentos permitidos e chegam a até 15 (quinze); enquanto os prédios delimitados pelo círculo verde pertencem à ZT2 e, atingem 17 pavimentos, sendo que pela legislação deveriam alcançar no máximo 15 (quinze) pavimentos, apenas aqueles destinados à hospedagem e, os demais, 12 (doze). Nesse caso, é possível que o incremento no gabarito destas áreas tenha se dado mediante operação urbana.

Na ZR9, além dos edifícios residenciais multifamiliares, têm-se residências, salão de beleza, lava a jato, lojas de móveis, farmácia e escolas de idiomas. Já na área que pertence à ZT2, predominam os edifícios residenciais multifamiliares, sendo que existe também no local, um clube, a Associação Atlética Banco do Brasil (AABB), um centro empresarial, um restaurante e poucas residências. Trata-se da área que despertou o interesse pelas consequências de uma verticalização não planejada que vem acontecendo na Avenida, como mostram as fotos abaixo.

Figura 23: Área 3: Edificações de 17 pavimentos. Fonte: Google Earth (imagem), a autora (fotografias).

A área a ser simulada no presente trabalho, será a Área 2 (Figura 22). Ela foi considerada uma área de grande relevância para estudo, especialmente por conter duas formas de ocupação bem distintas, as residências de no máximo 2 pavimentos em contraste com os edifícios de térreo mais 3 pavimentos, sendo que estes se localizam à frente dos primeiros e recebem toda a brisa marítima diurna.

Soma-se a isso, o fato de que, na Área 1, a diferença de nível entre as duas áreas – onde os lotes que recebem a brisa marítima diurna ficam abaixo dos lotes posteriores – aliado ao baixo gabarito e à existência de afastamentos entre os edifícios da avenida são fatores favoráveis ao alcance da brisa marítima às áreas posteriores também. Finalmente, ainda que a Área 3 seja aquela que apresenta os edifícios mais altos de todos, ela não será simulada pois se considera que não existe uma área posterior a ela que possa vir a sofrer o impacto da presença destes edifícios.

Entretanto, chama-se a atenção para o fato de que esta Área 3 merece um estudo mais aprofundado no sentido de planejar o surgimento de novos prédios, considerando sempre a existência de afastamento entre eles e o impacto representado pela presença de tantos prédios altos e próximos uns aos outros, em termos de avaliar a formação de cânions urbanos, zonas de turbulência e outros fenômenos que podem ser originados a partir deste tipo de ocupação.

3.4.3 Levantamento fotográfico

Durante os dias 12 e 13 do mês de julho de 2006, foi realizado o levantamento fotográfico da Avenida Litorânea. No primeiro dia, o céu apresentava-se com uma quantidade considerável de nuvens, podendo ser classificado, apenas a título de caracterização do ambiente de estudo, como um

céu encoberto. Já, no segundo, a quantidade de nuvens era bem menor e o céu, parcialmente encoberto.

O procedimento metodológico do levantamento fotográfico deu-se através de duas visitas ao local. No primeiro dia, o tempo nublado com a insistente ameaça de chuva impediu que fossem tiradas muitas fotos e os poucos registros foram feitos à pé a partir da areia da praia, para que se pudesse ter uma visão mais panorâmica da Avenida, como mostra a Figura 24:

Figura 24: Fotografia Panorâmica da Área de Estudo 3. Fonte: a autora.

Já, no segundo dia, o levantamento foi realizado percorrendo-se a própria avenida em um veículo com carroceria, de onde a pesquisadora e um colaborador tiraram as fotos, de maneira que foi possível registrar as construções atuais do local estudado (Figuras 25 e 26):

Figura 25: Imagem aérea com indicação das fotos tiradas na Fig. 26. Fonte: adaptado do Google Earth.

Figura 26: Fotos aleatórias tiradas na Avenida Litorânea. Fonte: a autora.

Continuação da Figura 26: Fotos aleatórias tiradas na Avenida Litorânea. Fonte: a autora.

As fotos (Figura 26) foram tiradas a cada 300 metros, a partir da faixa mais próxima da praia, do final da avenida em direção ao seu início, pois essa faixa é mais distante das construções, o que permite maior uma visibilidade das mesmas. Em seguida, percorreu-se o sentido contrário da Avenida, na outra faixa, do início em direção ao fim, desta vez registrando um filme⁸.

⁸ Os equipamentos utilizados no levantamento fotográfico foram: uma câmera digital modelo D-535 de 3.2 megapixels de resolução da marca Olympus; um notebook utilizado para descarregar as fotos sempre que a memória da câmera atingia seu limite máximo; software *SC Free Vídeo Decompiler*, que extrai frames de vídeos e os transforma em arquivos de imagem; *software Cool 360* – para montar imagens panorâmicas com as fotos tiradas.

3.5 Diagnóstico climático de São Luís

O Maranhão, por sua localização geográfica, entre a Amazônia e o Nordeste, e por sua grande extensão na direção sul-norte, dentre outros, apresenta vários padrões climáticos, todos tropicais, mas com diferentes quantidades de precipitações pluviométricas[...] (GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO, 2007).

De acordo com o Atlas do Maranhão (2002), a cidade de São Luís apresenta o tipo climático B1WA'a' da classificação de Thorntwaite (1948) apud GEPLAN. Trata-se de um clima Úmido do tipo (B1), com moderada deficiência de água no inverno, entre os meses de junho a setembro, Megatérmico (A'), ou seja, temperatura média mensal sempre superior a 18°C, sendo que a soma da evapotranspiração potencial nos três meses mais quentes do ano é inferior a 48%, em relação à evapotranspiração potencial anual (a').

Os diversos elementos climáticos representativos do clima local da cidade encontram-se disponíveis em diferentes fontes, dentre elas, o Banco de Dados Climáticos do INMET, os Arquivos Climáticos da INFRAERO, o Atlas do Potencial Eólico Nacional – ELETROBRÁS e, principalmente, o banco de dados medidos pela Plataforma de Coleta de Dados (PCD) de São Luís, utilizados nesta dissertação.

O **Banco de Dados Climáticos do INMET** possui dados equivalentes ao período de 1961 a 1990 e encontra-se acessível no *Software Climaticus*⁹, juntamente com estratégias de projeto para 58 cidades brasileiras.

De acordo com esse banco de dados, a cidade de São Luís apresenta uma temperatura média anual de 26,1°C, sendo a máxima anual de 30,4°C e a mínima anual de 23,1°C, resultando em uma amplitude térmica anual de 7,3°C.

Possui uma alta umidade relativa, de 85%, e um grande período de insolação de 2.354h durante o ano. O mês de menor insolação, com 194h, é

⁹ *Software* elaborado pela aluna de Iniciação Científica FAPESP Gabriela Audi, sob orientação da professora Márcia Alucci, em 2003.

janeiro, que apresenta ainda alta nebulosidade, de 7,2 em uma escala de 0-10; e o mês de maior insolação, com 260h, é agosto, com nebulosidade baixa, de 4,7, na mesma escala.

Caracteriza-se por duas estações distintas que, na região, convencionou-se chamar de verão o período quente com ventos frescos, que vai de julho a dezembro; e, de inverno, o período de chuvas que vai de janeiro a junho. (Tabela 6 e Gráficos 2, 3 e 4).

cidade	Lat (s)	Long. (W.Grw.)	Alt. (m)										
São Luis	2,32	44,2	50,8										
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Pressão Atmos (hPa)	1004	1004	1005	1005	1005	1006	1007	1006	1006	1005	1004	1004	1005,1
Temperatura Média (°C)	26,1	25,7	25,8	25,8	25,9	25,9	25,7	26	26,4	26,6	27	26,8	26,1
Temperatura Máxima (°C)	30	29,4	29,4	29,6	30,1	30,4	30,2	30,7	31	31,2	31,4	31,1	30,4
Temperatura Mínima (°C)	22,3	23,1	23	23,1	23,1	22,9	22,6	23	23,5	23,7	24	22,9	23,1
Temp Máx Absoluta (°C)	33,6	33,2	32,8	33	33,2	33,1	32,7	33,2	34	33,2	34,4	33,8	34,4
Temp Mín Absoluta (°C)	20	20,1	17,9	21,1	20,2	20,6	18,1	20,3	21,1	20,7	21,6	20	17,9
Precipitação Total (mm)	256	382	422	473	320	171	138	32	20	10,7	10,5	91,8	2325,1
Precip-Máx em 24h (mm)	139	210	151	177	110	96,2	85,1	45,2	62,8	40	56,2	130	210
Evaporação Total (mm)	79,9	52,6	53,1	46,4	57,7	68,4	74,7	95,6	117	132	129	114	1010,3
Umidade Relativa (%)	85	88	89	90	89	86	86	84	81	81	79	81	85
Insolação Total (horas)	194	114	107	114	163	213	238	260	250	252	244	206	2354,3
Nebulosidade (0-10)	7,2	7,8	7,9	7,7	6,9	5,7	5,3	4,7	4,6	4,9	5,1	5,8	6,1

Tabela 6: Dados de São Luís. Fonte: Normais Climatológicas (1961-1990) do Ministério da Agricultura e Reforma Agrária/Secretaria Nacional de Irrigação/ Departamento Nacional de Meteorologia (1992) apud Alucci (2005).

Gráfico 2: Insolação mensal. Fonte: Alucci (2005).

Gráfico 3: Nebulosidade mensal. Fonte: Alucci (2005).

Gráfico 4: Precipitação mensal. Fonte: Alucci (2005).

Como se pode ver nos Gráficos 5 e 6 e na Tabela 7, o vento incide com um ângulo de 90° (direção Leste (E)), durante 7 (sete) meses; e, durante 4 (quatro) meses, provém do Nordeste (NE), principalmente a 60°. No entanto, a média da primeira predominância corresponde a um vento E e, da segunda, vento NEE.

Gráfico 5: Distribuição mensal da direção de vento (1ª pred.)

Fonte: Tabelas climatológicas V.1 (1961-1965) do Ministério da Aeronáutica/ Diretoria de Rotas Aéreas apud Alucci (2005).

Gráfico 6: Distribuição mensal da direção de vento (2ª pred.)

Fonte: Tabelas climatológicas V.1 (1961-1965) do Ministério da Aeronáutica/ Diretoria de Rotas Aéreas apud Alucci (2005).

cidade São Luis				
mês	Primeira predominância		Segunda Predominância	
	Direção(°)	Veloc(m/s)	Direção(°)	Veloc(m/s)
jan	60	2,50	90	4,50
fevereiro	90	3,50	60	3,00
março	60	3,00	90	3,00
abril	60	3,00	30	3,50
maio	90	3,50	60	2,50
junho	90	3,00	60	3,00
julho	60	3,00	90	3,00
agosto	60	3,00	60	2,50
setembro	90	5,00	60	4,00
outubro	60	4,00	90	3,50
novembro	60	3,00	60	4,00
media/ano	90	3,50	60	3,50

Tabela 7: Dados de vento.

Fonte: Alucci (2005).

Em relação à distribuição das velocidades dos ventos nas duas predominâncias percebe-se que os ventos provenientes de E chegam a alcançar uma velocidade de 5m/s, enquanto que os de NE, 4,5m/s (Gráficos 7 e 8).

Gráfico 7: Distribuição mensal da velocidade de vento (1ª predominância). Fonte: Alucci, 2005.

Gráfico 8: Distribuição mensal da velocidade de vento (2ª predominância). Fonte: Alucci, 2005.

Esta mesma leitura pode ser traduzida com auxílio das rosas dos ventos vistas a seguir. A distribuição dos ventos por frequência de ocorrência, na rosa dos ventos da esquerda, mostra que mais de 45% dos ventos nos meses correspondentes à primavera e 40% no verão, são provenientes da primeira

predominância, Leste. E 30% dos ventos na primavera e mais de 15% dos ventos no verão provém da direção NE, segunda predominância. Em relação à velocidade dos ventos, percebe-se uma pequena diferença das tabelas acima para as rosas dos ventos dos Gráficos 9 e 10, onde tanto os ventos predominantes de E, como os de NE chegam a alcançar uma velocidade de 6m/s.

Gráfico 9: Rosa dos ventos – São Luís (direção).
Fonte: Software SOL-AR.

Gráfico 10: Rosa dos ventos – São Luís (velocidade). Fonte: Software SOL-AR.

Finalmente, de acordo com a classificação climática segundo Mahoney, em São Luís, tanto durante o dia como à noite, em todos os meses do ano, o clima é considerado quente (Figura 27).

Figura 27: Classificação Climática segundo Mahoney. Fonte: Alucci (2005).

Aqui, o Método de Mahoney Tradicional (MMT) foi citado, pois ele parte da análise dos dados climáticos do local, ainda que tenha sido desenvolvido com o objetivo de adequar as características construtivas da edificação às condições climáticas da região (SENA, 2004, p.14), e seja indicado para se obter recomendações do partido arquitetônico (ALUCCI apud SENA) e não para o meio

urbano. Essa classificação, se analisada juntamente com a Carta Bioclimática de Givoni (Gráfico 11) permite reafirmar a importância da ventilação no desenvolvimento do meio urbano da cidade de São Luís, especialmente por ela ser recomendada como uma estratégia de projeto muito importante para alcançar uma Zona de Conforto no interior da edificação.

Gráfico 11: Carta Bioclimática de Givoni. Fonte: Alucci (2005).

Além disso, o Balanço Térmico (Tabela 8) mostra que os usuários estariam na Zona de Conforto em apenas 0,3% das horas do ano, sendo possível, no entanto, promover conforto térmico em 36,1% deste tempo por meio do aproveitamento da Ventilação Natural e, em 63,9%, por meio Condicionamento Artificial (Tabelas 8).

Balanço Térmico						São Luís						
hora	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
0	CA	CA	CA	CA	CA	CA	ZV	CA	CA	ZV	CA	ZV
2	ZV	CA	CA	CA	CA	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV
4	ZV	CA	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV
6	CA	CA	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV
8	ZV	CA	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV
10	ZV	CA	CA	CA	CA	ZV	ZV	ZV	ZV	ZV	CA	ZV
12	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA
14	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA
16	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA
18	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA
20	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA
22	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA

Tabela 8: Balanço Térmico – São Luís. Fonte: Alucci (2005).

Os **Arquivos Climáticos da INFRAERO**, por sua vez, são disponibilizados pelo LabEEE, que revisou e corrigiu os dados climáticos já existentes, obtidos na década de 1990, medidos em aeroportos de 14 capitais brasileiras por intermédio da ABRAVA/IBF junto ao Centro Técnico Aeroespacial – Instituto de Aeronáutica e Espaço, CTA/IAE (GOULART apud CARLO, LAMBERTS, 2005).

Semelhante ao que se viu no *Software Climaticus*, no arquivo climático de 1966 da cidade de São Luís, observa-se uma distribuição média de radiação diária alta ao longo dos meses do ano, especialmente em agosto e outubro, onde um dia chega a apresentar uma radiação média de aproximadamente 5mil Wh/m² (Gráfico 12). E o dia de máxima radiação global chega a receber aproximadamente 1.100 W/m² entre 12h e 14h (Gráfico 13).

Gráfico 12: Média mensal de radiação diária.
Fonte: Carlo, Lamberts (2005).

Gráfico 13: Dia de radiação global máxima.
Fonte: Carlo, Lamberts (2005).

Em relação à temperatura de bulbo úmido, atenta-se para o Gráfico 14, onde Dezembro, assim como na análise anterior, é o mês mais quente. Finalmente, na Tabela 9 a seguir, alguns

Gráfico 14: Médias mensais de temperatura. Fonte: Carlo, Lamberts (2005).

dados médios de ventilação natural, com media das mínimas de 0m/s e média das máximas de 15m/s, diferente do que se viu no *software* anterior.

Média dos dados horários							
	tbs	tbu	pressão	neb	rad global	rad direta	veloc.do ar
	(oC)	(oC)	(kPa)		(Wh/m ²)	(Wh/m ²)	(m/s)
Máxima	35	28.1	101.1	10	1099	1018	15
Média	26.7	24.1	100.5	5.2	229.5	159.9	3.2
Mínima	20.3	19.9	99.8	0	0	0	0

Tabela 9: Média dos dados horários. Fonte: Carlo, Lamberts (2005).

O **Atlas do Potencial Eólico Nacional – ELETROBRÁS** (1987) apresenta dados medidos no Anemógrafo do INMET na Estação Anemométrica de São Luís correspondentes a um período de observação de 5 anos, que apontam para um vento predominantemente de NE, com velocidades média de 3,23 m/s e máxima de 18,01m/s, estes últimos oriundos da atuação da Convergência Intertropical.

As velocidades médias dos ventos no Nordeste Setentrional, ou seja, do Maranhão ao Rio Grande do Norte tendem a diminuir do norte para o sul, isto é, do litoral para o interior. Esta ocorrência, como já se esclareceu, na análise das estações meteorológicas, é decorrente da interferência do relevo. Em alguns casos surgiram ilhas de menor velocidade ou de maior velocidade no interior. No primeiro caso deve-se à posição da estação meteorológica à sotavento de um relevo mais proeminente e, no segundo caso, à situação da estação meteorológica sobre um relevo bastante elevado. Assim, no Maranhão e Piauí, a velocidade média dos ventos decresce de 5 m/s no litoral até 1 m/s no interior (ATLAS, 1987).

Além disso, os maiores valores de potência média bruta da energia eólica do país “encontram-se no litoral setentrional do Nordeste e eles decrescem do litoral para o interior. No Maranhão o potencial decresce de 123,07 Wh/m² em Alcântara, no litoral, para 5,91 Wh/m² em Carolina, no sudoeste do Maranhão” (ATLAS, 1987). Já a distribuição das calmarias aumentam do litoral para o interior.

No Maranhão e Piauí elas apresentam uma frequência média de 10% no litoral, aumentando em direção ao vale Parnaíba, onde alcançam 86,23% de frequência média em Teresina, em função da posição geográfica local, ou seja, por influência orográfica. A seguir os valores declinam em direção a sudoeste, para novamente se elevar no extremo sudoeste do Maranhão, atingindo 70,10% em Carolina (ATLAS, 1987).

Finalmente, os dados que servirão de referência para esta dissertação foram medidos na **Plataforma de Coleta de Dados¹⁰ (PCD) de São Luís** que

¹⁰ As **PCDs** - **Plataformas de Coleta de Dados** são aparelhos eletrônicos de alto nível de automação, que podem ser interligados diretamente a um sistema de computadores ou a satélites de coleta de dados, e que têm a capacidade de armazenar e transmitir para estes satélites ou sistema de computadores, dentro de níveis

faz parte de uma rede da Rede Automática de Coleta de Dados do Estado do Maranhão composta por 13 PCDs, onde cada uma delas envia os dados medidos para o Satélite SCD2 que envia estas informações para a Estação de Recepção de Cuiabá, que os repassa para a Estação de Recepção do Centro de Missão de Coleta de Dados em Cachoeira Paulista/SP para processamento, armazenamento e disseminação para os usuários. Finalmente, após este processo os dados são recebidos na Universidade Estadual do Maranhão pelo Laboratório de Meteorologia – LabMet do Núcleo Geoambiental – NuGeo via Internet, armazenados e disseminados posteriormente na página da UEMA¹¹.

A PCD de São Luís localiza-se em uma área urbana com ocupação consolidada onde predominam edificações de 1 pavimento, na Latitude 02°35'S e Longitude 44°12'W. (Figura 28). Sua distância linear até a área de estudo desta pesquisa é de aproximadamente 13 km (Figura 29).

Figura 28: Localização e fotografia da PCD de São Luís. Fonte: Google Earth e UEMA.

Figura 29: Distância Linear entre Área de Estudo e PCD de São Luís. Fonte: adaptado do Google Earth.

bastante altos de confiabilidade, parâmetros ambientais, hidrológicos, meteorológicos e agrometeorológicos, captados por sensores específicos para este fim, conectados às PCDs e instalados em suas cercanias. (<http://tempo.cptec.inpe.br:9080/PCD/>)

¹¹ Em abril de 1996 foi criado pelo Decreto Governamental nº 14.986 o Núcleo Estadual de Meteorologia e Recursos Hídricos - NEMRH, com o qual o Estado do Maranhão foi integrado ao "Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos", estruturado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT com a assessoria do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC. Fazem parte da composição do NEMRH o LabMet; o NuGeo, vinculado ao Centro de Ciências Agrárias - CCA/UEMA; o LabGeo e o LabHidro. Este Núcleo tem subsidiado vários setores da economia, dos meios de comunicação, do ensino e da população em geral do Estado do Maranhão com informações agrometeorológicas e com a previsão de dados climáticos divulgados diariamente.

CAROLINA GASPAR LEITE _____ Mestrado FAUUSP/ Bolsa FAPESP

Os elementos climáticos disponibilizados pelo NEMRH referem-se ao período de 2002 a 2006. Entretanto, nesta pesquisa, foram trabalhados apenas os dados referentes aos anos de 2003 a 2005, em função de os períodos anteriores possuírem muitos dados incompletos¹². O ano de 2002, por exemplo, só possuía medidas referentes a três meses e, por isso, foi descartado completamente para a geração de gráficos. Além disso, ainda em função da ausência de determinados dados e da existência de erros em alguns dados medidos, foi necessário que se fizessem algumas alterações, a seguir:

- Em função da ausência de dados da velocidade de vento no intervalo do dia 06 de fevereiro de 2003 às 19:00h até o dia 13 de fevereiro de 2003 às 13:00h, foi excluído o registro 3092;
- Em função da ausência de dados da velocidade de vento no intervalo do dia 09 de março de 2004 às 19:00h até o dia 30 de abril de 2004 às 10:00h, foi excluído registro 12439;
- Foi excluído registro 21089 por estar vazio.

Essa análise contou com a colaboração do Analista de Informação e Sistemas Marcio Henrique dos Santos Rosa do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) que desenvolveu um sistema adotando tecnologia de *software* livres (PHP e MySQL) a partir da base de dados disponibilizada. O sistema referido é um protótipo que permite realizar uma análise dos dados gerando gráficos com informação das médias, mínimas e máximas da velocidade e direção dos ventos, umidade relativa e temperatura, permitindo uma comparação visual dos anos referidos, que será vista a seguir.

Em relação à velocidade dos ventos, observa-se que a velocidade média é de 6m/s nos três anos; a mínima, de zero e a máxima de 16m/s em 2003 e de

¹² Infelizmente, os dados referentes aos anos de 2006 e 2007 não foram disponibilizados pelo NEMRH/UEMA.

13m/s nos dois anos seguintes. A TBS permanece bastante estável nos três anos, com médias em torno dos 27°C, mínimas e máximas por volta de 20°C e 34°C, respectivamente. A umidade relativa média varia entre 77 e 78% nos três anos; a mínima varia entre 39% em 2003 e 44 em 2004; e a máxima cresce gradativamente ao longo dos anos, sendo 96% em 2003, 97% em 2004 e 99% em 2005 (Tabela 10).

Tabela 10: Comparação dos dados da PCD de São Luís nos anos 2003, 2004 e 2005. Fonte: adaptado dos arquivos cedidos pela UEMA.

COMPARAÇÃO DOS ELEMENTOS MEDIDOS PELA PCD									
ELEMENTOS CLIMÁTICOS	MÉDIA			MÍNIMA			MÁXIMA		
	2003	2004	2005	2003	2004	2005	2003	2004	2005
VELOCIDADE (m/s)	6	6	6	0	0	0	16	13	13
TBS (°C)	27,2	27,1	27,5	21	20	20,5	34	34	35
UR (%)	78.8	77.6	77,7	39	44	40	96	97	99

Em relação à frequência de ocorrência de cada velocidade aferida, observa-se que nos três anos mencionados, o vento apresentou velocidade entre 5 e 6m/s. (Gráf. 15). Nos três anos, também se observou que as direções Leste e Nordeste corresponderam à primeira e segunda predominâncias nesta ordem. Sendo que, em 2003, houve 957 registros de direção E e 933 de NE; em 2004, 956 registros de E e 859 de NE; em 2005, 976 registros E e 763 NE (Gráf. 16).

Gráfico 15: Frequência de ocorrência da velocidade de vento medida pela PCD São Luís.

Gráfico 16: Frequência de ocorrência da direção de vento medida pela PCD de São Luís.

CAPÍTULO

4

Área de estudo

4. DETALHAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Levantamento físico-arquitetônico da Área 2 (Ipem Calhau)

Como se viu no capítulo anterior, a área de estudo pertence à Área 2, e nesta foi feito um levantamento arquitetônico no mês de julho de 2006, percorrendo-se todo bairro Ipem Calhau e registrando-se o gabarito e o uso de cada edificação. Em seguida, foi coletada uma Planta de Referência Cadastral – Setor 8, elaborada a partir dos *overlayers* do cadastro de logradouros pelo Grupo Técnico Gestor da Prefeitura Municipal de São Luís em fevereiro de 1999; e uma imagem de satélite da área de estudo do *Software Google Earth*.

Os lotes e as edificações observadas nas imagens de satélites foram digitalizados na planta existente e, dessa maneira, foram geradas as plantas de gabarito e de uso e ocupação do Solo que serão vistas a seguir.

A partir do levantamento de gabarito, percebe-se que, no local, há um predomínio de edificações de um a dois pavimentos, nas cores vermelho e azul respectivamente. Também foram encontradas construções com mezanino, na cor laranja; com três pavimentos em amarelo, com quatro pavimentos, na cor verde, e com cinco pavimentos, na cor magenta (Figura 30).

Já o levantamento de uso e ocupação do solo evidencia um uso predominantemente residencial, com residências uni e multifamiliares, mas onde também se encontram a sede da Secretaria de Meio Ambiente; lojas de automóveis, de móveis, de materiais de construção; algumas papelarias; restaurantes; igrejas; escolas; posto de saúde; xerox; lavanderia; lava jato; escritório de advocacia; agência de publicidade e clínica de cirurgia plástica – estes usos não residenciais voltados para a Avenida dos Holandeses (Figura 31).

Figura 30: Planta de Gabarito da Área 2. Fonte: adaptado do Google Earth e da PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LUÍS (1999).

Figura 31: Planta de Uso e Ocupação do Solo da Área 2. Fonte: adaptado do Google Earth e da PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LUÍS (1999).

4.2 Delimitação da área de estudo

Dentro da área 2, foi escolhido um conjunto de 22 (vinte e duas) quadras, que corresponde à **área de estudo** propriamente dita, para as quais foram feitas todas as simulações computacionais apresentadas a seguir. Em um terreno desta área (localizado mais próximo à Avenida Litorânea) foi feita a medição de elementos de vento para ajustar o valor da velocidade para as simulações. Em quatro outras quadras foram propostos diferentes cenários de verticalização e as seis quadras internas do conjunto foram avaliadas após as simulações (Fig.32).

Figura 32: Delimitação da Área de Estudo. Fonte: adaptado do Google Earth e da PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LUÍS.

4.3 Definição dos cenários de verticalização

A definição dos cenários de verticalização deu-se a partir da observação do que vêm acontecendo tanto nas orlas de algumas capitais do nordeste brasileiro, como Fortaleza, Natal, Recife e Maceió (Figura 33) – algumas com edifícios com mais de 30 pavimentos – como na própria capital ludovicense, onde a tendência é a construção de edifícios com até 17 pavimentos (ver Lei nº 3.253, Capítulo 3).

Figura 33: Fortaleza (1 e 1'), Natal (2 e 2'), Recife (3 e 3') e Maceió (4 e 4'). Fonte: Imagens aéreas do Google Earth. Fotografias: G.E., Eduardo Figueiredo, Sergio Menezes e Aldemar Castro, respectivamente.

Os cenários de verticalização foram definidos variando-se o gabarito, os afastamentos laterais e a tipologia dos edifícios localizados nas quatro quadras destacadas na cor azul na Figura 32. O gabarito foi alterado para 04 (quatro) e 17 (dezessete) pavimentos, tanto porque já se encontram prédios de térreo + 03 pavimentos no local, como porque a tendência de crescimento do entorno é de 17 pavimentos.

Em relação aos afastamentos, foram propostos edifícios de 04 (quatro) pavimentos com o afastamento mínimo exigido pela Lei de Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo – de 3,5m (ver Tabela 3 do Capítulo 3) para cada prédio (que corresponde ao mínimo necessário para se manter a Área Livre Mínima do Lote – A.L.M.L.) totalizando 7m entre dois prédios; e com um afastamento total maior que este primeiro, de 11m entre dois prédios, definido aleatoriamente.

Para as edificações com 17 (dezessete) pavimentos alteraram-se afastamento e tipologia. Foram usados os afastamentos mínimos para lateral principal e secundária exigidos pela Lei de Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo – 10 e 9m, respectivamente (ver Tabela 3 do Capítulo 3), totalizando 19m entre dois prédios.

Em outro cenário manteve-se o mesmo afastamento e a mesma altura dos prédios de 17 (dezessete) pavimentos, sendo que no pavimento térreo foram feitos pilotis.

O último cenário representa um misto dos cenários anteriores. Ele foi construído com prédios de diferentes gabaritos, com 04 (quatro), 06 (seis), 10 (dez) e 17 (dezessete) pavimentos, dispostos de maneira escalonada, com os prédios mais baixos a leste e os mais altos a oeste. Os cenários de verticalização encontram-se resumidos no Quadro 1.

CENÁRIOS DE VETICALIZAÇÃO (perspectiva SO)

Cenário atual		Cenário 1	
Geometria existente simplificada		04 pavimentos	Afastamento= 7m

Cenário 2		Cenário 3	
04 pavimentos	Afastamento=11m	17 pavimentos	Afastamento=19m

Cenário 4		Cenário 5	
Pilotis+16pav.	Afastamento=19m	04,06,10,17pav.	Afastamento=variado

Quadro 1: Resumo dos cenários de verticalização. Fonte: a autora.

4.4 Medições *in loco* de elementos climáticos de velocidade e direção do vento, temperatura e umidade relativa

4.4.1 Preparação para a medição

A preparação para o trabalho de Campo teve início em outubro de 2006 com a solicitação de apoio para o Chefe do Laboratório de Meteorologia do Núcleo de Meteorologia e Recursos Hídricos da Universidade Estadual do Maranhão – NEMRH/UEMA, o professor Gunter de Azevedo Rescke.

Ele autorizou a participação de duas estagiárias do NEMRH na pesquisa, as estudantes de Agronomia Isis Lorena M. Rozário e Ladyanne Pinheiro Asevedo. Além das graduandas, auxiliaram nas medições o estudante Maycon Milton Furtado Serra Galvão e o vigia José da Conceição Ferreira Neto.

Para garantir a segurança dos pesquisadores, dos equipamentos e um bom andamento do trabalho, solicitou-se ao Sr. Raimundo da Silva Araújo Neto, comandante da guarda municipal de São Luís, que fossem encaminhados guarda-municipais ao local, por se tratar de uma área relativamente deserta.

Ainda neste período, tratou-se de reunir todos os equipamentos do LABAUT que seriam levados até São Luís e utilizados no campo:

-01 Estação meteorológica¹³ (Figura 34) marca Oregon Scientific modelo Cable Free WMR 968, com 01 Anemômetro de copo de direção (a) e velocidade do vento (b), e sua respectiva célula fotovoltaica (c);

-01 Sensor Termo-higrômetro (d) e sua respectiva célula fotovoltaica (e); e 01 tripé (f) para a estação;

-03 Kits de Conforto compostos por: 01 Termo-higrômetro¹⁴ (g) marca Homis; 01 Anemômetro de ventoinha (h) marca Homis; e 01 Bússola (i) (Fig35).

¹³ Estação adquirida no doutorado da pesquisadora Alessandra Prata com Reserva Técnica FAPESP.

Figura 34: Estação Meteorológica.

Figura 35: Kit Conforto.

Outra providência tomada foi a preparação de ferramentas a serem utilizadas durante a pesquisa e a montagem dos equipamentos levados. Foram comprados 50m de fios e tomadas para a confecção de uma extensão (j) que transferisse a energia da residência até o terreno, onde estaria o notebook (l); hastes metálicas (m) e canos de PVC (n) com os quais foram preparados suportes para os kits de conforto (Figuras 36 e 37).

Figura 36: Extensão.

Figura 37: Suporte.

Procurou-se informar aos moradores do entorno sobre o procedimento de medição que se realizaria no local, para que a presença dos alunos e dos equipamentos não causasse estranheza e os moradores não atrapalhassem a tomada de medidas.

Além disso, foi solicitada, aos habitantes locais, a disponibilidade de um ponto de energia dentro de suas propriedades, onde fosse possível alimentar um

¹⁴ Termo-higrômetros e anemômetros de ventoinha adquiridos pelo Projeto Didático com o apoio da Pró-Reitoria de Graduação da FAUUSP em 2002.

notebook para descarregar os dados medidos; e a permissão para a entrada eventual dos pesquisadores, em suas residências, para o uso de um sanitário. Felizmente, dentre as quatro residências contatadas, duas se dispuseram a ajudar, uma disponibilizando energia e outra, liberando o acesso até o sanitário.

Uma última medida que faltava solucionar era a aquisição de um mastro¹⁵ de pára-raios com 10m de altura onde pudesse ser fixado o anemômetro de copinho para ser colocado no terreno e procuraram-se empresas locais relacionadas a serviços náuticos, pesca e pára-raios que pudessem alugar ou vender tal equipamento. Infelizmente, a única empresa local encontrada que trabalhava com a confecção de pára-raios, só fornecia mastros que pudessem ser fixados no local em base de concreto. E, como não se conseguiu entrar em contato com o proprietário do terreno, decidiu-se não instalar o mastro sem o seu consentimento.

Sem que fosse viável aferir os parâmetros de vento a 10m de altura, colocaram-se todos os aparelhos a uma altura de 1,10m – correspondente ao “centro de massa térmica da pessoa” (MONTEIRO, 2005) – recomendada pela Norma ISO 7726 de 1998 para avaliar o conforto do usuário. Alerta-se para o fato de que, ainda que a preocupação inicial deste trabalho não seja avaliar o conforto ao nível do pedestre, mas sim a dinâmica do fluido alterada pela ocupação verticalizada, a adoção da altura de 1,10m para tomada das medidas justifica-se pela possibilidade de utilização dos dados aferidos em um trabalho futuro sobre conforto do usuário que complemente esta pesquisa; pelo fato de que outros pesquisadores – Prata (2005) e Monteiro (2005) – cujos trabalhos embasaram este procedimento, mediram em áreas abertas e também adotaram

¹⁵ O Labaut possui um mastro metálico desmontável – adquirido no doutorado da pesquisadora Alessandra Prata com Reserva Técnica FAPESP – cujo transporte era inviável de ser feito por avião, em função do seu peso; e por ônibus, pelo tempo demandado.

o mesmo valor; e também pela ausência, dentre as referências pesquisadas, normas que recomendem outra altura para instalação dos sensores (Figura 38).

AMBIENTES HOMOGÊNEOS - CLASSES CONFORTO E ESTRESSE

Figura 38: Posição dos sensores normalizada pela ISO7726/98 para medição dos parâmetros físicos do ambiente homogêneo. Fonte: Adaptação de Mueller (2006).

Finalmente, antes que se iniciasse a pesquisa, foi feito um teste *in loco* com os equipamentos no dia 28 de janeiro de 2007. Neste teste, foram escavadas algumas aberturas no solo do terreno, onde seriam fixados os suportes dos kits de conforto (as hastes metálicas), para facilitar sua instalação antes das medições.

Também foi feita uma comparação entre as leituras de velocidade do vento e de temperatura entre os instrumentos do kit e a estação. Esta comparação fez-se necessária, pois, como a estação meteorológica não havia sido calibrada antes das medições por estar emprestada para uso de outros pesquisadores do Labaut, procurou-se aferir seus dados simultaneamente com o kit de conforto, colocando-os lado a lado, e percebeu-se que não existiam variações significativas entre os dados, o que possibilitou sua utilização.

4.4.2 O terreno da medição

Inicialmente, pensou-se em aferir os parâmetros de vento a partir da orla da praia, colocando-se a estação e os kits de conforto na areia. Entretanto,

percebeu-se que não se poderiam instalar os equipamentos na areia, pois a variação de maré poderia dificultar e até inviabilizar a estabilização dos mesmos.

Da ilha de São Luís, no Maranhão, até o Cabo Orange, no limite com a Guiana Francesa, há uma costa com características bem singulares, dominada por marés que variam até 8 metros em São Luís, chegando a três em Cabo Orange, é a chamada costa de macro marés [...] Qualquer variação no nível da água inunda grandes áreas. (SBPC, 2006).

Com isto, concluiu-se que o melhor seria instalar os equipamentos em local mais seguro e menos vulnerável à variação de maré, e foi escolhido um terreno (Figura 39) desocupado bem à frente da área de estudo, a uma altura de 11m acima do nível do mar, de forma trapezoidal com dimensões aproximadas de 110x185m, totalizando uma área de quase 18.758m².

Figura 40: V1: Residência unifamiliar vizinha. Fonte: a autora.

Figura 39: O terreno de medição e seu entorno. Fonte: Adaptado do Google Earth.

Figura 42: V3: Hotel do entorno. Fonte a autora.

Figura 41: V2: Construções da Rua Alpercatas. Fonte: a autora.

Os limites do terreno escolhido são: uma residência unifamiliar (o) de dois pavimentos a oeste (Fig. 40), a Rua das Alpercatas (p) (Fig. 41) – onde se localizam residências unifamiliares e edifícios multifamiliares de 02 (r), 03 (s) até

06 (t) pavimentos (Fig. 41) e a leste a Rua Avicênia (q) (Figura 41), onde se encontra um hotel de 04 (quatro) pavimentos (Fig. 42).

4.4.3 Os pontos de medição

Os pontos de medição foram distribuídos de duas maneiras diferentes, de acordo com a quantidade de pessoas disponíveis nos locais nos dias de pesquisa.

Na primeira organização, como se tinha o maior número de pessoas, foram colocados 04 pontos diferentes (PCasa, PHotel, PCentral e PEstação), incluindo-se o da estação, que não exigia a tomada dos dados manualmente.

Já, nos demais dias, o número de pessoas era tão reduzido que só foi possível aferir medidas de um ponto (PComp), além do ponto da estação (PEstação). Todos os pontos podem ser vistos na Figura 43 acima. Abaixo (Figura 44), os pontos fotografados durante a medição:

Figura 43: Pontos de medição.

Fonte: Adaptado do Google Earth.

Figura 44: PCasa, PCentral, PHotel, posto de apoio, PComp, PEstação, PHotel. Fonte: a autora.

Além da quantidade de participantes na medição, a definição dos pontos e sua localização também buscaram uma comparação entre a influência de diferentes elementos construtivos, sua ausência e a presença de vegetação, nos parâmetros aferidos.

Procurou-se local pelo menos o pontos PEstação a uma distância mínima (Figura 45) correspondente a aproximadamente

Figura 45: Redução na velocidade do vento devido à presença de obstáculo. Fonte: Troen e Petersen (1989) apud Cóstola (2006).

20 (vinte) vezes a altura desta barreira ($h=11\text{m}$), que é o único obstáculo encontrado à frente do terreno. Isto para evitar que a presença da barreira, que se localiza a barlavento, modifique o fluxo do vento incidente:

A principal dificuldade no posicionamento de anemômetros é encontrar áreas livres de obstáculos. Pereira apud Troen e Petersen (1989) fornece resultados de estudos de vento que indicam que obstáculos influenciam, de maneira significativa, áreas localizadas a uma distância de até 20 vezes a altura do obstáculo a sotavento[...] Assim, a presença de construções térreas e barreiras baixas de árvores pode interferir na intensidade do vento a até 60 m de distância desses obstáculos. A colocação de anemômetros no topo de edifícios também fornece leituras distorcidas pela presença do mesmo. (CÓSTOLA, 2006).

O ponto PCasa localiza-se na porção oeste do terreno, em campo aberto e distante do obstáculo e da construção mais próximos em aproximadamente 36m e 33m, respectivamente. A sotavento deste ponto encontra-se uma vegetação esparsa de pequeno porte, formada principalmente por arbustos. Nas suas proximidades, encontra-se uma residência. Seus dados foram aferidos manualmente, anotados em planilhas pelos participantes.

O ponto PCentral localiza-se na região norte do terreno, em campo aberto e distante do obstáculo e da construção mais próximos em aproximadamente 42m e 78m, respectivamente. A sotavento deste ponto encontra-se uma

vegetação de pequeno porte, formada principalmente por gramíneas. Nas suas proximidades, ausência de construções, apenas vegetação. Seus dados foram aferidos manualmente, anotados em planilhas pelos participantes.

O ponto PHotel localiza-se na porção leste do terreno, em campo aberto e distante do obstáculo e da construção mais próximos em aproximadamente 43m e 78m, respectivamente. A sotavento deste ponto encontra-se uma vegetação de pequeno porte, formada principalmente por gramíneas. Nas suas proximidades, uma via asfaltada. Seus dados foram aferidos manualmente, anotados em planilhas pelos participantes.

O ponto PEstação localiza-se na região central do terreno, em campo aberto e distante do obstáculo e da construção mais próximos em aproximadamente 75m e 45m, respectivamente. A sotavento deste ponto encontra-se uma vegetação de pequeno porte, formada por arbustos e gramíneas. Nas suas proximidades, ausência de construções, apenas vegetação. Seus dados foram descarregados diretamente no notebook.

O ponto PComparação, localiza-se na região central do terreno, em campo aberto e distante do obstáculo e da construção mais próximos em aproximadamente 46m e 45m, respectivamente. A sotavento deste ponto encontra-se uma vegetação de pequeno porte, formada por arbustos e gramíneas. Nas suas proximidades, ausência de construções, apenas vegetação. Seus dados foram aferidos manualmente, anotados em planilhas pelos participantes.

4.4.4 Os dias de medição

A pesquisa de campo teve duração de cinco dias. Em apenas dois deles, 30 de janeiro e 01 de fevereiro, a medição durou 12 horas contínuas. Nos dias 31 de

janeiro e 07 de fevereiro, a medição restringiu-se ao período da manhã até às 9:30h e às 12:10h, respectivamente, porque choveu e o procedimento foi interrompido. Já no dia 02 de fevereiro, foi necessário retirar os equipamentos aproximadamente meia hora após sua colocação por causa da chuva. (Ver Tabela 11 a seguir).

Tabela 11: Resumo dos dias de medição. Elaborada pela autora.

MEDIÇÕES – JANEIRO E FEVEREIRO/2007										
	30/01/07		31/01/07		01/02/07		02/02/07		07/02/07	
	Pts	Horas	Pts	Horas	Pts	Horas	Pts	Horas	Pts	Horas
Período	PE	7:25h-19:21h	PE	5:54h-9:30h	PE	6:01h-18:07h	PE	6:02h-6:59h	PE	6:56h-12:10
	PCe	7:45h-		6:00h-		6:05h-		6:00h-		6:01h-
	PH	19:05h	PComp	9:05h	PComp	18:05h	PComp	9:05h	PComp	12:05
	PCa	(5'/h)		(5'/h)		(5'/h)		(5'/h)		(5'/h)
Participantes	Carolina Ledyanne Isis (tarde) Maycon Neto		Carolina Ledyanne Maycon		Carolina Ledyanne (manhã) Isis (tarde)		Carolina Ledyanne Maycon		Carolina Ledyanne Maycon	
Aprov. dados	SIM		NÃO		SIM		NÃO		NÃO	
OBS	—		Estação retirada entre 6:28h e 6:46h, pois choveu.		—		Estação retirada entre 6:21h e 6:26h, pois choveu.		Estação retirada entre 6:48h e 6:53h, pois choveu.	

A sucessão de dias de muita chuva deveu-se à chegada da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a partir de 31 de janeiro, caracterizando a estação chuvosa do estado.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um dos mais importantes sistemas meteorológicos atuando nos trópicos. Devido à sua estrutura física, a ZCIT tem se mostrado decisiva na caracterização das diferentes condições de tempo e de clima em diversas áreas da Região Tropical. Sua influência sobre a precipitação no continentes africano, americano e asiático tem sido aceita e mostrada em vários trabalhos como Hastenrath e Heller (1977), Lam (1978), Silkka e Gadgil (1985), entre outros. No caso específico do norte do nordeste brasileiro, Uvo (1989) apresenta um estudo bem detalhado da ZCIT e sua importância nas precipitações no setor norte do nordeste do Brasil.

Entre as latitudes de 30° N e 30° S, a atmosfera destaca-se por apresentar fracas amplitudes de temperatura, conseqüentemente, trata-se também de uma região de predomínio de ventos fracos. Tais ventos, de nordeste no hemisfério norte e de sudeste no hemisfério sul são genericamente conhecidos como ventos Alísios. A região intertropical apresenta características globais de grande relevância meteorológica capazes de influenciar o tempo e o clima, não somente nessa faixa do globo mas estendendo-se mesmo às regiões polares. (<http://www.nemrh.uema.br/meteoro/itcz.htm>)

4.4.5 Análise dos elementos climáticos aferidos

Todos os elementos aferidos durante as medições (Anexo) – Velocidade e Direção do Vento; Temperatura de Bulbo Seco (TBS) e Umidade Relativa (UR). A seguir, uma rápida comparação entre os dois dias de medição (Tabela 12):

Tabela 12: Médias, mínimas e máximas dos dados nos dois dias de medição. Elaborada pela autora.

ELEMENTOS	PONTO DA ESTAÇÃO					
	MÉDIA		MÍNIMA		MÁXIMA	
	30 jan	01 fev	30 jan	01 fev	30 jan	01 fev
VELOCIDADE (m/s)	3,8	4,3	2	0	6	7
DIREÇÃO	62	65	28	0	94	357
TBS	30,8	30,8	28,6	27,9	33,2	35,2
UR	69	70	60	54	82	85

Observam-se, nos dois dias, valores médios muito próximos em todos os elementos, com velocidade em torno de 4m/s; direção NE, temperatura de +/- 30°C e UR por volta de 70%.

O mesmo não acontece com as mínimas nos dias 30 e 01, respectivamente: a velocidade é de 2m/s e 0m/s; a direção é NE e N; a temperatura e umidade relativa mantêm-se equilibradas. Já as máximas diárias de velocidade, temperatura e umidade relativa, nos dois dias de medição, são mais elevadas no dia 01 que no dia 30.

Em relação aos dados de vento, também nos dois dias, observa-se maior frequência de ventos variando entre 4 e 5m/s (66% e 51%, respectivamente) (Gráfico 17). A primeira predominância de direção (NE) de vento também não se altera. Entretanto, a segunda predominância no dia 30/jan é de vento Leste (34%) e, no dia 01/fev, de vento Norte (32%) (Gráfico 18).

As direções de vento foram trabalhadas respeitando-se os seguintes intervalos de ângulos (em graus): N = Norte = entre 338° e 22°; NE = Nordeste = entre 23° e 67°; L = Leste = entre 68° e 112°; SE = Sudeste = entre 113° e 157°; S = Sul = entre 158° e 202°; SO = Sudoeste = entre 203° e 247°; O = Oeste = entre 248° e 292°; NO = Noroeste = entre 293° e 337°.

Gráfico 17: Frequência (%) de ocorrência da veloc. do vento (m/s) nos dois dias de medição.

Gráfico 18: Frequência (%) de ocorrência da direção do vento nos dois dias de medição.

4.4.6 Comparação entre os dados: estação Oregon e PCD de São Luís

Ao lado e abaixo, os gráficos com as médias, mínimas e máximas diárias dos dados de velocidade do vento, temperatura e umidade relativa registrados diariamente pela Estação Oregon e anualmente pela PCD de São Luís.

Velocidade do vento (m/s)

Gráfico 19: Velocidade – comparação entre Estação Oregon e PCD São Luís.

Temperatura (°C)

Gráfico 20: Temperatura – comparação entre Estação Oregon e PCD São Luís.

Umidade Relativa (%)

Gráfico 21: Umidade Relativa – comparação entre Estação Oregon e PCD São Luís.

Os gráficos a seguir relacionam o número de ocorrências da velocidade e da direção do vento medidos diariamente pela Estação Oregon e anualmente pela PCD de São Luís.

Sabe-se que o ideal seria que os dados acima fossem comparados com os dados medidos simultaneamente pela PCD de São Luís, e não de anos anteriores, mas infelizmente o NMRH não disponibilizou os dados horários da plataforma. Como a pesquisa não podia esperar, decidiu-se, em relação à velocidade dos

ventos, adotar o valor médio de **4m/s**, por ele ter sido o valor com maior frequência de ocorrência nos dois dias de medição e por ele ter tido uma alta frequência de ocorrência durante os três anos analisados. Em relação à direção, observou-se que, nos dias de medição, NE corresponde à 1ª predominância de ventos e, nos três anos avaliados, E corresponde a primeira predominância. Desta maneira, para efeito de simulação, como as medições dos 3 anos pelas PCD oferece maior número de resultados, adotar-se-á a direção **E (90°)**, como 1ª predominância e a NE (45°) como 2ª predominância.

4.4.7 Transposição da velocidade do vento para o local do projeto

É sabido que o perfil de vento típico de uma região urbana – como é a Avenida Litorânea, no bairro Calhau – difere tanto do perfil do Aeroporto Marechal Cunha Machado, como da PCD de São Luís.

Os aeroportos, onde ficam boa parte das estações meteorológicas, são em geral caracterizados por uma rugosidade baixa ($z_0=0,01$), um ambiente plano e rugosidade uniforme. Quando o vento deixa o aeroporto, ele sofre alterações devidas à topografia e às mudanças na rugosidade da superfície terrestre, que alteram o seu perfil de velocidades e de turbulência, assim como a sua direção (CÓSTOLA, p.59, 2006).

Figura 46: Efeitos topográfico e de rugosidade no perfil do vento. Fonte: Cóstola, 2006.

Como o vento incidente do mar foi medido à altura de $Z=1,10\text{m}$, é necessário traçar o seu perfil para a altura de 150m (alta o bastante para não haver interferência da rugosidade), para que se possa utilizar a velocidade como dado de entrada nas simulações, pois “[...] a variação da velocidade média do

vento com a altitude constitui o perfil transversal de velocidade, que pode ser descrito pela lei logarítmica de Prandtl" (PRATA, 2005):

$$\bar{U} = \left(\frac{u^*}{\kappa} \right) \ln \left[\frac{z}{z_0} \right] \quad (\text{Equação 03})$$

Onde:

$\bar{U}$ = 4m/s (velocidade média medida a 1,10m)

U^* = velocidade de atrito

$K = 0,40$ (Constante de Von Kármán)

$Z = 1,10\text{m}$ (altura onde foi efetuada a medida)

$Z_0 = 0,002$ (rugosidade para o caso do vento vindo do mar)

Como resultado, tem-se que: $U^* = 0,25\text{m/s}$

Este valor, agora passa a ser a velocidade média do vento, para que a uma altura de 150m, se obtenha a velocidade com que se vai simular:

$$\bar{U} = \left(\frac{u^*}{\kappa} \right) \ln \left[\frac{z}{z_0} \right] \quad (\text{Equação 04})$$

Onde:

$\bar{U}$ = velocidade média medida a 150m, ou velocidade de simulação

$U^* = 0,25\text{m/s}$

$K = 0,40$ (Constante de Von Kármán)

$Z = 150\text{m}$ (altura gradiente)

$Z_0 = 0,002$ (rugosidade para o caso do vento vindo do mar)

Como resultado, a **velocidade de referência da simulação será de 7m/s.**

CAPÍTULO
5

Simulação computacional

5. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO VENTO NO MEIO URBANO: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL/CFD

Optou-se por avaliar os cenários propostos por meio de simulação computacional no *Ansys CFX Software*, que se trata de uma ferramenta para a qual o LABAUT possui licença acadêmica. Além da disponibilidade, sua escolha deveu-se ao fato de ele já haver sido utilizado em trabalhos concluídos neste laboratório: doutorado de Prata (2005) e mestrados de Cóstola (2006) e Figueiredo (2007); e também em trabalhos em andamento: doutorado de Rafael Brandão e pós-doutorado de Alessandra Prata. Soma-se à facilidade de troca de informações com os referidos pesquisadores que utilizaram ou utilizam este instrumento, o fato de o referido laboratório ter promovido um treinamento do *software* que viabilizou o desenvolvimento da presente pesquisa.

O *CFX* é um *software* de dinâmica de fluidos computacional da *ANSYS*, com uso incipiente na arquitetura, para a simulação de ventilação mecânica e ou natural do edifício e do espaço urbano, com a possibilidade de verificação conjunta das trocas térmicas. É uma ferramenta importante de simulação aplicável tanto na fase de desenvolvimento de projetos bem como para avaliação de edifícios existentes, que vem sendo utilizado em centros de pesquisa de referência internacional na área ambiental, tais como o *Martin Centre da University of Cambridge*, a *Architectural Association Graduate School* e escritórios atuantes na área de conforto ambiental e energia na Europa e nos Estados Unidos (ANSYS, 2003 e 2007)

Este *software* se vale de certas equações fundamentais de fluxo – Equação da Conservação de Massa (Equação da Continuidade), Equação da Conservação de Momento (Equações de *Navier-Stokes*), Equação da Conservação de Energia

(no caso de simulações de térmicas), Equação de Conservação Escalar (no caso de modelagem de poluição e fumaça), e Equações de Turbulência – para solucionar as propriedades do escoamento de um fluido, calculando determinados pontos/ elementos em um volume de controle (volumes finitos), conhecidos como malha (HARRIES, 2005).

Sendo as equações de *Navier-Stokes* as mesmas para todos os fluidos, o que diferencia a solução obtida para diferentes escoamentos é o conjunto de condições de contorno fornecido, ou seja: as fronteiras sólidas (lisas, rugosas, estáticas, móveis); e o vento – direção, intensidade e turbulência (CÓSTOLA, 2006).

Como se verá a seguir, a utilização do *CFX* será demonstrada exemplificando-se como foi feita a simulação da área estudada nesta pesquisa. De maneira que serão descritas etapas distintas da simulação e determinantes para a confiabilidade dos resultados obtidos.

Inicialmente são construídos a geometria e o domínio, dando origem ao modelo. No **ANSYS Icem CFD**, este modelo será adaptado no para a criação da malha (*mesh*). No **CFX-Pre**, são definidas as condições iniciais, as condições de contorno (*initial e boundary condition*) e o modelo de turbulência (*turbulence model*) adotados nas simulações. A simulação é processada no **CFX-Solver** e os resultados são analisados no **CFX-Post**.

5.1 Definição das simulações

A partir do estabelecimento dos cenários de verticalização, foram definidas simulações para as duas predominâncias de vento da cidade de São Luís (E e NE). A situação atual também foi simulada para que se pudesse compará-la com as alterações propostas. Infelizmente, como se verá a seguir, as simulações para

vento NE não atingiram resíduos aceitáveis de convergência, e por isso só serão retomadas a seguir, de modo que serão apresentadas 06 simulações (Quadro 2).

RESUMO DAS SIMULAÇÕES* (1ª predominância de vento/ E)

1ª simulação	Cenário atual Simplificação da geometria existente
--------------	---

2ª simulação	Cenário 1 Gabarito= 04 pavimentos Afastamento=7m
--------------	--

Quadro 2: Resumo das simulações. *Todos os modelos estão em perspectiva NE sem escala.

RESUMO DAS SIMULAÇÕES* (1ª predominância de vento/ E)

3ª simulação	Cenário 2
	Gabarito= 04 pavimentos
	Afastamento=11m

4ª simulação	Cenário 3
	Gabarito= 17 pavimentos
	Afastamento=19m

Continuação do Quadro 2: Resumo das simulações. *Todos os modelos estão em perspectiva NE sem escala.

RESUMO DAS SIMULAÇÕES* (1ª predominância de vento/ E)

5ª simulação

Cenário 4

Gabarito= pilotis+ 16 pavimentos

Afastamento=19m

6ª simulação

Cenário 5

Gabarito= 04/06/10/17 pavimentos

Afastamento variado

Continuação do Quadro 2: Resumo das simulações. *Todos os modelos estão em perspectiva NE sem escala.

5.2 Construção da geometria

A construção da geometria do modelo representativo da área de estudo deu-se no *software AutoCAD*, a partir dos levantamentos físico-arquitetônico, de gabarito, de uso e ocupação do solo e fotográfico das quadras. Todos os lotes e suas respectivas construções foram vetorizados no referido software (Figura 47) e, com o auxílio do *Google Earth* (Figura 48), foi representada de maneira simplificada a topografia dos terrenos das quadras simuladas (Figura 49).

Figura 47: Vetorização da área em Auto CAD.

Figura 49: Representação da topografia da área estudada.

Figura 48: Levantamento Topográfico simplificado em Google Earth. Fonte: adaptado do Google Earth.

No modelo elaborado, apenas o relevo da área de estudo e as edificações foram representados de maneira aproximada. Cada elemento teve de ser vetorizado com o máximo de precisão, o que levou a adaptação do relevo de modo que nenhuma edificação fosse interceptada por curva de nível. Para isto,

toda diferença de nível levantada foi transferida para as ruas paralelas à avenida estudada. Esta medida procurou evitar qualquer possibilidade de existir espaços mínimos entre suas superfícies, que provocassem erros no *CFX*.

Da mesma forma, não se representaram espaços entre as edificações inferiores a 5m e, quando isto acontecia, as edificações eram unificadas, preservando o máximo das suas características reais. Os recortes, curvas e faces com dimensões menores que este valor também foram simplificados. Além disso, os terrenos sem construções foram representados de duas maneiras diferentes: aqueles com vegetação de médio porte e mais densa foram representados como sendo um paralelepípedo com 3m de altura e os demais foram deixados como espaços vazios, pois acredita-se que a presença da vegetação muito fechada influencia no fluxo de ar de maneira diferente que uma área completamente aberta. A diferenciação entre os terrenos com e sem vegetação deu-se através de observação *in loco* e de fotografias aéreas disponíveis no *Google Earth*.

Toda esta simplificação foi necessária por se tratar de uma área urbana relativamente grande (20 quadras, em aprox. 524x713m), onde os pequenos detalhes, como altura de calçadas e espessura de muros, não puderam ser representados dadas as grandes proporções do modelo como um todo (Fig. 50).

Figura 50: Modelo da Situação Atual (Perspectiva NO).

5.3 Definição do domínio e concepção do modelo

Uma vez finalizada a geometria dos edifícios e o relevo do terreno, procedeu-se à elaboração do domínio, que é o volume de um espaço determinado por onde o fluxo escoar. Segundo Cóstola (2006), “a dimensão do domínio deve ser tal que não se faça sentir nas fronteiras a presença do edifício”, para isso, é recomendável que se adotem as seguintes relações entre a altura do maior elemento (H) e do domínio (FRANKE apud CÓSTOLA, 2006):

- Distância da entrada do vento, laterais e topo: $5H$ de qualquer obstáculo.

- Distância da saída do vento - $15H$ de qualquer obstáculo. Para Straw (2000), a distância a sotavento pode variar de 10 a $15H$.

Em geral, o domínio possui uma forma de paralelepípedo, prismática ou cilíndrica definida de acordo com a área modelada e o interesse da pesquisa. Inicialmente, definiu-se um domínio em forma de um prisma de base octogonal, pois ele permitia a geração de uma malha única para simular as duas predominâncias de vento de interesse da pesquisa. Entretanto, como este domínio octogonal demandou uma quantidade de elementos de malha muito grande e maior tempo de processamento da simulação, optou-se pelo domínio menor em forma de paralelepípedo – o que otimizou o tempo de simulação.

Durante a elaboração do domínio, em função do eixo das ruas da área estudada não ser perpendicular ao Norte, mas sim inclinado, traçou-se uma linha imaginária paralela ao sentido oeste-leste, a partir da qual foram lançadas as dimensões mínimas de afastamento do domínio (linha laranja nas Fig. 51 e 52).

As dimensões mínimas a partir das quais o domínio foi desenhado foram definidas com base no seguinte raciocínio: admitiu-se uma altura H correspondente à somatória da altura do maior edifício com a cota do nível mais

alto encontrada na área estudada. Foram definidos dois domínios de dimensões diferentes: um para as simulações cujo gabarito máximo é de 05 pav. e outro para aquelas cujo gabarito é de 17 pav. Em ambos foi somada a maior cota de nível medida com o auxílio do *Google Earth*, de 16m de altura. No primeiro caso, $H=31\text{m}$ e, no segundo, $H=67\text{m}$. Como se pode ver na Fig. 51, $5H=155\text{m}$, $15H=465\text{m}$; e na Fig. 52, $5H=335\text{m}$, $15H=1005\text{m}$. A base retangular do menor domínio totalizou, em planta, $1,3\text{km}^2$ e do maior, $2,6\text{km}^2$.

Figura 51: Dimensões do domínio da 1ª, 2ª e 3ª simulações.

Figura 52: Dimensões do domínio da 4ª, 5ª e 6ª simulações.

Fazendo-se uma associação com a Mecânica dos Fluidos, pode-se dizer que, no que diz respeito ao Método de Análise adotado nesta pesquisa, o que se entende por “sistema” (FOX, 2001) nada mais é que o ar, que escoa por um volume de controle (FOX, 2001) que será, daqui pra frente, chamado de domínio, no qual as *parts* (edificações e topografia) exercem influência sobre o fluxo de ar/ sistema.

Finalizados a vetorização da área de estudo e a elaboração do domínio, estes foram unidos em um único modelo (Figuras 51 e 52), de maneira que o piso do domínio passou a acompanhar (coincidir) com o relevo da área de estudo, através do comando *subtract*, eliminando-se todos os elementos externos às fronteiras do domínio. Assim como em uma simulação feita por Cóstola (2006), “com relação à modelagem do edifício e do domínio, cabe salientar que o volume do edifício não faz parte do domínio, uma vez que não será modelado o escoamento dentro dele”. Este domínio foi exportado em formato *Acis*, extensão **.sat*, compatível para ser aberto no *Icem CFD*.

5.4 ANSYS Icem CFD: construção da geometria e criação da malha

O *ANSYS Icem CFD*, ou apenas *Icem*, é um pré-processador que permite a aquisição de geometria elaborada em outros programas, a geração e edição de malhas a partir desta geometria e origina dados para a execução de simulação em *Computational Fluid Dynamics* (CFD), *Finite Element Analysis* (FEA) e *Computer Aided Engineering* (CAE) (ANSYS, 2003).

O *Icem* compreende duas fases: a correção da geometria e a geração da malha. A geometria finalizada no CAD é importada para o *Icem* em formato

Acis, extensão *.sat. e reparada. Suas curvas são apagadas, restando apenas as superfícies importadas, que são recolocadas em *parts*, totalizando 8 *parts* (Figura 53). Cada face do domínio corresponde a uma *part*: **DOM_PISO** e **DOM_TOPO** são as *parts* correspondentes ao piso e ao teto do modelo, respectivamente; **DOM_N** é a face voltada para o Norte, **DOM_E** volta-se para o Leste, **DOM_S**, volta-se para o Sul, **DOM_O** volta-se para o Oeste. Todos os prédios foram colocados na mesma *part* **PREDIOS**. Além disso, na *part* **BODY**, é gerada a malha por onde o ar escoa. Em seguida, as curvas originalmente apagadas são recriadas a partir destas novas *parts*.

Figura 53: Criação das *parts*. Fonte: ANSYS Icem CFD.

Definidas todas as *parts*, é possível então criar a malha que, dentro do volume de controle/ domínio, encontra-se contida na *part* **BODY**. Este momento de criação da malha através da qual o ar fluirá corresponde à *mesh creation*.

A malha é o conjunto de milhares de pequenos volumes discretizados no volume de controle solucionáveis através das equações de *Navier-Stokes* que,

como já se disse, o sucesso da simulação depende diretamente do seu refinamento (HARRIES, 2005; CÓSTOLA, 2006; ANSYS, 2003).

Dentre os elementos que formam uma malha, encontram-se tetraedros, pirâmides, prismas, e hexaedros (HARRIES, 2005). Estes elementos encontram-se distribuídos de forma regular, o que caracteriza uma malha estruturada em contraposição às não-estruturadas.

Deve-se dar preferência a malhas estruturadas formadas por hexaedros, em detrimento das formadas por tetraedros. No caso do uso de malhas com tetraedros, como é o caso do CFX, deve-se utilizar uma base de células prismáticas em todas as fronteiras sólidas. No CFX esta base é chamada "inflated boundary" (CÓSTOLA, 2005).

Em todas as seis simulações mencionadas, foram utilizados os mesmos parâmetros de malha: *maximum element* de 64 (tamanho do maior elemento da malha, estabelecido a partir de uma relação visual com o domínio); *natural size* de 2, (menor elemento em tamanho natural); *cells in gap* de 4 (mínimo de elemento nos espaços vazios). No domínio do cenário atual os parâmetros adotados originaram uma malha (Figuras 54 a 57) com mais de seis milhões de elementos (Tabela 13).

Figura 54: Malha no domínio em planta. Fonte: ANSYS Icem CFD.

Figura 55: Detalhe em 3D da malha nos prédios e no piso. Fonte: ANSYS Icem CFD.

Figura 56: Detalhe em corte da malha em uma edificação de 3 pavimentos. Fonte: ANSYS Icem CFD.

Figura 57: Detalhe da malha em 3D. Fonte: ANSYS Icem CFD.

Tabela 13: Quantidade de elementos de malha dos diferentes domínios. Fonte: ANSYS Icem CFD.

ELEMENTOS DE MALHA						
Cenário	Tipos de elementos					
	Tetra_4	Tri_3	Penta_6	Quad_4	Pyra_5	Total
Atual	5.557.806	294.346	289.149	327	360	6.171.325
1	5.399.907	294.400	289.247	332	319	6.013.474
2	5.338.495	295.060	289.919	332	325	5.953.526
3	6.360.696	352.262	347.207	308	333	7.093.908
4	6.504.810	358.074	352.999	309	324	7.249.438
5	6.066.015	340.604	335.619	308	329	6.774.973

Como a quantidade de elementos da malha é o parâmetro que define a demanda computacional de uma simulação (CÓSTOLA, 2006), são necessários 0.5GB de memória *RAM* para cada 1 milhão de células na malha (HARRIES, 2005). Nessas simulações, como a malha atingiu uma quantidade de aproximadamente 7milhões de elementos, foram utilizados 2 computadores em paralelo: um com processador QUAD CORE de 2.4 Ghz, com 4Gb de memória

RAM e outro com processador 2 DUO de 3.0Ghz e com 2Gb de memória RAM, totalizando 6 processadores e 6 Gb de memória RAM.

O refinamento representar um ponto crucial de toda simulação, por isso, “áreas com elevados gradientes, como as próximas a arestas vivas e outros pontos de descolamento da camada limite, devem receber uma malha mais refinada...” (CÓSTOLA, 2006). Desta maneira, procedeu-se a uma tentativa de alterar o máximo elemento das malhas detalhadas anteriormente de 64 para 32, com o objetivo de se ter uma malha duas vezes mais refinada que a primeiras. Entretanto, infelizmente a experiência fracassou ainda na etapa de geração de malha, com o travamento das máquinas ao atingir 16 milhões de elementos de malha em apenas 32% deste procedimento.

Diante da incapacidade dos processadores disponíveis, da ausência de tempo hábil para realizar mais tentativas, e, principalmente, das grandes proporções da área estudada, por se tratar de um estudo do meio urbano e não da escala do edifício, não se apresentam malhas com máximos elementos abaixo de 64. Ao final desta etapa de geração de malha, esta é exportada para o *CFX-Pre* em um arquivo de extensão *.msh.

5.5 CFX-Pre

O *CFX-Pre* é uma etapa de preparação do processamento da simulação. Nela, a malha gerada é importada e são definidas todas as questões físicas envolvidas no escoamento real que será simulado. Determinam-se as condições iniciais e as condições de contorno de cada elemento presente no modelo, como se verá a seguir:

5.5.1 Condições iniciais

Neste momento são definidas todas as condições iniciais com as quais se calculará o escoamento simulado. Aqui são explicitadas as características que dizem respeito ao fluido, às expressões e a todas as variáveis envolvidas na simulação, às unidades de grandezas, à forma de apresentação dos resultados, ao regime adotado na simulação e também são ditas as condições de contorno de cada *part* (que serão retomadas em seguida). Todas estas informações podem ser salvas em um arquivo único, de extensão *.ccl que pode ser gerado no próprio *CFX-Pre* ou importado de uma outra simulação e adaptado à esta nova. O domínio das simulações é definido para um regime constante (*steady state*), estacionário e sem trocas térmicas, onde se adota o modelo de turbulência *k* épsilon (Tabela 14).

Tabela 14: Características do domínio. Fonte: *CFX-Pre*.

CARACTERÍSTICAS DO DOMÍNIO	
Domain Type	Fluid (Air Ideal Gas)
Buoyancy Model	Non Buoyant
Domain Motion	Stationary
Reference Pressure	1 [atm]
Combustion Model	None
Heat Transfer Model	Isothermal
Thermal Radiation Model	None
Turbulence Model	<i>k</i> epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable

Para inicializar a simulação, adota-se uma velocidade nos componentes cartesianos x , y e z ($U = u_1$, $V = v_1$ e $W = 0$ m/s), que são definidos a partir da velocidade de referência de 7m/s, calculada no capítulo anterior, e da direção do vento. De acordo com Cóstola (2006), o valor da variável U deve ser calculado para cada altura e corrigido:

Em geral adota-se um perfil logarítmico correspondendo a CLP neutra, sem qualquer correção de caráter topográfico ou de rugosidade. Para tanto, as laterais do domínio são configuradas como aberturas, às quais é atribuída uma velocidade nas componentes cartesianas x, y, z . A velocidade na direção z é igual a zero, e as outras componentes são dadas em variáveis $u1$ e $v1$, cujo valor é definido, no caso do CFX, no arquivo CCL. Assim, é possível alterar a direção do vento apenas pela edição do arquivo CCL[...]

Juntamente com a velocidade, foi fornecida também uma turbulência de média intensidade (5%) na fronteira da entrada, pois:

No CFX, não é possível fornecer um perfil de turbulência, pode-se apenas informar níveis de turbulência (1, 5 ou 10%). No caso do uso de modelos de turbulência anisotrópicos, como o RSM, a turbulência na fronteira deve ser isotrópica, prejudicando o uso destes modelos. (CÓSTOLA, 2006).

São definidos ainda alguns parâmetros de controle da simulação, como o máximo número de 300 (trezentas) iterações, que corresponde à quantidade de vezes que os cálculos da simulação são feitos até que ela chegue ao mínimo de resíduos possível. De acordo com Cóstola (2006) "A solução de uma simulação de CFD é feita de maneira iterativa, na qual os cálculos são refeitos sucessivas vezes, e o resultado do cálculo anterior alimenta o seguinte". Como se pode ver na Tabela 15, a maior parte das simulações foi finalizada com menos de 125 iterações e mesmo aquelas com maior número de elementos de malha, demandaram menor número de iterações.

Tabela 15: Relação entre o tamanho da malha e a duração e o número de iterações das simulações.
Elaborada pela autora a partir de dados obtidos no *Software* CFX.

TAMANHO DA MALHA x NÚMERO DE ITERAÇÕES x DURAÇÃO DA SIMULAÇÃO				
Simulação	Cenário	Nº elementos malha	Total de Iterações	Duração
1	Atual	6.171.325	121	4h48'42"
2	1(4p af 7)	6.013.474	104	3h01'16"
3	2(4p af 11)	5.953.526	111	4h37'35"
4	3(17p af 19)	7.093.908	79	3h35'38"
5	4(17p af 10 pilotis)	7.249.438	87	4h21'06"
6	5(misto)	6.774.973	96	4h43'55"

Finalmente, o critério de convergência adotado foi o *Residual Target* = 10^{-4} e *Residual Type* = *RMS*, modelo de turbulência anisotrópico que "é uma medida estatística da magnitude de uma quantidade variável" (WIKIPÉDIA, 2008). No

caso destas simulações, as quantidades variáveis são a massa¹⁶, o momento¹⁷ e a turbulência que entram e saem em cada célula do *grid*.

O RMS é calculado elevando-se ao quadrado cada umas dessas quantidades e, em seguida, somam-se estes valores e tira-se a média deste resultado. Por fim, é calculada a raiz desta média, ou seja, o RMS é o desvio padrão das leituras das quantidades. (CÓSTOLA, 2006).

Por exemplo, quando se inicia a simulação (iteração=1), aplica-se uma velocidade no *inlet*, e a quantidade de massa entrando na célula é enorme. Entretanto, a velocidade na saída da célula ainda é zero, ou seja, a massa fica lá acumulada na primeira iteração. Tem-se um desbalanceamento nestas células que vai ser distribuído pelas células vizinhas na próxima iteração e assim sucessivamente até que todas elas tenham praticamente a mesma quantidade de massa na entrada e na saída (CÓSTOLA, 2006).

O RMS permite calcular a diferença média entra a massa que sai e a massa que entra em cada célula. Esta diferença é o resíduo, que não foi distribuída entre entrada e saída. No caso do momento é a mesma coisa, o RMS mede a diferença entre o produto (massa x aceleração) na entrada e na saída de cada célula, para saber se as forças estão em equilíbrio. O mesmo vale para a turbulência (CÓSTOLA, 2006).

5.5.2 Condições de contorno

As condições de contorno (*boundary conditions*) correspondem a um conjunto de parâmetros restritivos aplicados às *parts* do domínio, que interferem diretamente no escoamento. Em linhas gerais, estabelecer uma condição de

¹⁶ De acordo com a 2ª Lei de Newton, a massa de um corpo é o quociente entre o módulo da força que atua num corpo e o valor da aceleração a que ela produz neste corpo.

¹⁷ Momento é uma grandeza que representa a magnitude da força aplicada a um sistema rotacional a uma determinada distância de um eixo de rotação (WIKIPÉDIA, 2008).

contorno significa determinar uma característica para cada uma das faces das *parts* que definirá a maneira como esta face influenciará no escoamento.

Pode-se classificar as *parts* em quatro grupos diferentes de condições de contorno: parede (*wall*), entrada (*inlet*), saída (*outlet*), abertura (*opening*). As *parts* **DOM_TOPO**, **DOM_PISO** e **PREDIOS** foram classificados como parede; **DOM_E** como entrada; **DOM_N**, **DOM_S**, **DOM_O** como aberturas. Na Fig. 58, em destaque, no sentido anti-horário, as aberturas N, O e S, indicadas pelas setas de duplo sentido. As setas de único sentido apontam a direção de entrada (E) do vento.

Figura 58: Entrada e aberturas do domínio. Fonte: CFX-Pre.

Na Fig. 58, em destaque, no sentido anti-horário, as aberturas N, O e S, indicadas pelas setas de duplo sentido. As setas de único sentido apontam a direção de entrada (E) do vento.

Parede é uma condição de contorno referente à fronteira sólida que não permite a entrada nem a saída do fluido no domínio. Na tentativa de simular um escoamento real, as paredes exercem dois tipos de influência sobre o fluido: quando o fluido passa por elas e mantém sua condição de não-deslizamento, elas são classificadas como *no slip* (**PREDIOS** e **DOM_PISO**), ver Figura 59.

Já, quando o fluido escorrega ao passar pela parede, ela é considerada *free slip* (**DOM_TOPO**), ver Figura 60. Esta última é “para fins de simulação” (CÓSTOLA, 2006), pois os fluidos newtonianos caracterizam-se pela condição de não-deslizamento e, quando em contato com uma fronteira sólida, aderem a ela

e adquirem a mesma velocidade desta fronteira, ou seja, zero (FOX, 2001). Nas fronteiras classificadas como “com escorregamento”, o fluido não adere ao sólido e não há camada limite; esta condição minimiza os efeitos da presença daquela fronteira na simulação (CÓSTOLA, 2006).

Figura 59: PREDIOS e DOM_PISO: no slip/ smooth wall. Fonte: Software CFX.

Figura 60: DOM_TETO: free slip. Fonte: Software CFX.

As paredes *no slip*, na medida em que mantém a condição de não-escorregamento do fluido, afetam o arrasto e a camada limite e, por isso, precisam ter suas rugosidades previamente definidas. As paredes *no slip smooth* são lisas e as *rough* são rugosas.

Nesta simulação, como recomenda Franke apud Cóstola (2006), as *parts* **PREDIOS** e **DOM_PISO** são lisas. Para efeito de cálculo, considerou-se no arquivo ccl que a área a barlavento possui rugosidade relativa ao mar ($Z_0=0,002$), “para que o perfil de velocidades, utilizado como condição de contorno, se mantenha por todo o domínio” (CÓSTOLA, 2006).

Entrada, saída e abertura são condições de contorno referentes ao fluido e estabelecem quando este entra ou sai do domínio, como se percebe pelos nomes. Nesta pesquisa, como se viu na Figura 58, o fluido entra pela part **DOM_E** e as demais **DOM_N**, **DOM_S**, e **DOM_O**, são aberturas por onde ele tanto pode entrar como sair. Como se disse, para a entrada é definida uma

velocidade cartesiana calculada a partir da velocidade de referência de 7m/s; e para as aberturas, atribui-se uma pressão estática de 0 Pa (Figura 61).

Edit Boundary: ENTRADA in Domain: Domain 1		Edit Boundary: DOMOUTROS in Domain: Domain 1	
Basic Settings	Boundary Details Plot Options	Basic Settings	Boundary Details Plot Options
Flow Regime	Option Subsonic	Flow Regime	Option Subsonic
Mass And Momentum	Option Cart. Vel. Components	Mass And Momentum	Option Pressure and Direction (stable)
U	u1	Relative Pressure	0 [Pa]
V	v1	Flow Direction	Option Normal to Boundary Condition
W	0 [m s ⁻¹]	Loss Coefficient	
Turbulence	Option Medium (Intensity = 5%)	Turbulence	Option Medium (Intensity = 5%)

Figura 61: Características das parts ENTRADA e DOM_OUTROS. Fonte: Software CFX.

Para facilitar o entendimento e a visualização de todas as características definidas para as simulações que foram explicadas anteriormente, foi elaborada uma tabela com um resumo das condições de contorno de cada *part*, visando salientar sua influência no escoamento fluido (Tabela 16).

Tabela 16: Características das parts. Fonte: CFX-Pre.

CONDIÇÕES DE CONTORNO		
ENTRADA	Boundary Type	INLET
	Location	DOM E
	Flow Regime	Subsonic
	Mass and Momentum	Cartesian Velocity Components $U = u1, V = v1, W = 0 \text{ [m s}^{-1}\text{]}$
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
PISO	Boundary Type	WALL
	Location	DOM PISO
	Wall Influence on Flow	No Slip
	Wall Roughness	Smooth Wall

Continuação da Tabela 16: Características das *parts*. Fonte: CFX-Pre.

CONDIÇÕES DE CONTORNO

DOMTETO	Boundary Type	WALL
	Location	DOM TOPO
	Wall Influence on Flow	Free Slip
DOMOUTROS	Boundary Type	OPENING
	Location	DOM N,DOM O,DOM S
	Flow Direction	Normal to Boundary Condition
	Flow Regime	Subsonic
	Mass and Momentum	Pressure
	Relative Pressure	0 [Pa]
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
PREDIOS	Boundary Type	WALL
	Location	PREDIOS
	Wall Influence on Flow	No Slip
	Wall Roughness	Smooth Wall

Ao final desta etapa, a simulação salva com extensão *.cfx é exportada para o *CFX-Solver*.

5.6 Equation-Solving: CFX-Solver

Finalmente, é hora de iniciar o *CFX-Solver*, definir a simulação salva e iniciar seu processamento, que pode se dar em uma única máquina ou em várias, ou seja, em paralelo. Esta última, como já se disse, otimiza consideravelmente o tempo de simulação. Outra opção, no caso de se ter várias simulações para processar, é gerar um arquivo do tipo *batch* que permite que a simulação subsequente tenha início assim que a simulação em curso se encerre. Neste caso, este recurso implica na não utilização do *CFX-Solver*.

Retomando o processamento no *CFX-Solver*, quando a simulação começa a ser rodada, é possível acompanhar seu processamento através da tela do programa (Figura 62).

Do lado esquerdo desta tela, é possível observar a evolução do critério de convergência adotado, tanto para a massa e o momento, como para a turbulência. A seguir, observa-se o andamento do processamento da simulação.

Figura 62: Tela de início do processamento no *CFX-Solver*. Fonte: Software CFX.

5.7 Post-Processing: CFX-Post

Quando o processamento da simulação chega ao final, o *CFX* gera um arquivo de resultados com extensão *.res.

Este arquivo é manipulável no *CFX-Post*, onde se podem obter diferentes informações do escoamento, gerando-se, por exemplo, imagens dos vetores de direção de vento; imagens dos contornos das velocidades de vento; imagens dos coeficientes de pressão nas superfícies da área estudada; imagens das diferenças de temperatura da área simulada, etc., que poderão ser vistas em seguida.

Também é possível trabalhar o escoamento simulado variando-se certos dados de entrada da simulação, sem que o escoamento se modifique, mas apenas permitindo a elaboração de novas imagens para estudos comparativos.

Podem-se gerar as mesmas imagens acima mencionadas variando, por exemplo, a velocidade para a metade e para o dobro do valor adotado na simulação.

5.7.1 Convergência

A confiabilidade dos resultados gerados na simulação é observada através da convergência.

Para Cóstola (2006), “o principal sintoma apresentado por uma malha ‘grossa’, ou seja, não refinada o suficiente para garantir independência, é a dificuldade na simulação em atingir resíduos adequados”.

As simulações de CFD são programadas em geral para atingir certos níveis de convergência ou parar após um certo número de iterações caso a convergência desejada não seja alcançada, sendo assim fundamental checar qual a causa do término da simulação [...] COST (2004) aconselha que o RMS obtido na simulação seja igual ou inferior a 10^{-4} , enquanto CFX (2003) indica que resíduos acima de 10^{-4} , são muito pouco confiáveis. (CÓSTOLA, 2006).

Os gráficos apresentados a seguir, extraídos do *CFX-Post*, permitem observar Resíduos de Momento e Massa e Resíduos de Turbulência de todas as simulações realizadas, comprovando que, em todos os casos, o RMS esperado foi alcançado e as simulações encerraram-se em pouco mais de 100 iterações.

Gráfico 24: RMS de Momento e Massa Simulação 1
Run E3min 006

Gráfico 25: RMS de Turbulência Simulação 1.
Run E3min 006

Gráfico 26: RMS de Momento e Massa Simulação2.
Run E3mai 001

Gráfico 27: RMS de Turbulência Simulação 2.
Run E3mai 001

Gráfico 28: RMS de Momento e Massa Simulação3.

Gráfico 29: RMS de Turbulência Simulação 3.

Gráfico 30:RMS de Momento e Massa Simulação 4.
Run E17pil 001

Gráfico 31: RMS de Turbulência Simulação 4.
Run E17pil 001

Gráfico 32:RMS de Momento e Massa Simulação 5.
Run Emisto 001

Gráfico 33: RMS de Turbulência Simulação 5.
Run Emisto 001

Gráfico 34: RMS de Momento e Massa Simulação 6

Gráfico 35: RMS de Turbulência Simulação 6.

5.7.2 Análise dos resultados obtidos

Foram escolhidas as seis quadras internas de toda a área de estudo para analisar os resultados das simulações de maneira qualitativa e quantitativa (Figura 63). Para cada cenário proposto, observaram-se as alterações na velocidade, direção de vento e pressão no nível do pedestre.

Figura 63: Quadras analisadas.

A análise qualitativa deu-se por meio da geração de imagens dos vetores de velocidade em planta no nível do pedestre (planos P1, P2 e P3, ver Figuras 64) e em corte (planos BB', CC', DD', ver Figura 65) e dos os contornos de pressão em planta no nível do pedestre (planos P1, P2 e P3, ver Figuras 64), a uma altura de $h=1,50\text{m}$.

Figura 64: Planos no nível do pedestre.

Figura 65: Planos verticais.

Destaca-se que, como a área estudada possui um relevo acidentado, os planos P1, P2 e P3 têm origem em planos de diferentes níveis: P1 origina-se a partir de um plano a 16m de altura do nível do mar, estando, portanto a 17,5m;

P2 origina-se a partir de um plano a 15m de altura do nível do mar, estando, portanto a 16,5m; P3 origina-se a partir de um plano a 13m de altura do nível do mar, estando, portanto a 14,5m.

Ainda durante a análise qualitativa, foram identificados alguns efeitos de vento e destacados nas próprias imagens dos cortes de vetor de velocidade. Os contornos de pressão foram destacados com um retângulo laranja nas imagens de vetor de velocidade em planta e ampliados.

A análise quantitativa foi feita com o auxílio de monitor points – pontos estrategicamente distribuídos nas quadras escolhidas, locados também a 1,50m de altura, cujas alterações de velocidade e direção do vento foram monitoradas para cada alteração de cenário proposto (Figura 66).

Figura 66: Monitor Points. Fonte: CFX Solver.

Para cada simulação, foi montada uma página contendo todas as imagens das análises qualitativa e quantitativa mencionadas acima. A organização de cada uma destas páginas foi a mesma para todas as simulações: no início da página, uma tabela contendo os valores dos *monitor points* de velocidade (m/s) e pressão (Pa); abaixo da tabela, uma imagem em planta contendo os vetores de

velocidade no nível do pedestre (dos planos P1, P2 e P3) com as indicações dos *monitor points*, dos cortes AA', BB', CC' e DD', e dos contornos de pressão; à direita desta planta, o corte AA' para explicitar o cenário proposto; abaixo desta planta, os cortes BB', CC' e DD' nela indicados, contendo os vetores de velocidade; e abaixo destes cortes, a ampliação das plantas dos contornos de pressão destacados na planta dos vetores de velocidade.

A Figura 67 a seguir traz algumas imagens que possibilitam a avaliação do cenário atual. Na imagem “vetor velocidade em planta”, observa-se, dentre os pontos monitorados, que o vento atinge a velocidade mínima de 0,4m/s no ponto X24 e máxima de 5,1m/s no ponto X11. Há um significativo decréscimo na velocidade nas áreas a sotavento, algumas até sem nenhum movimento do ar, e um discreto incremento nesta velocidade nos pontos localizados a barlavento. É também nas áreas a sotavento que o vento tende a mudar de direção, especialmente no encontro com as arestas dos prédios, mas, em geral, não há muitas mudanças da direção do vento.

Na imagem “vetor velocidade em corte”, percebe-se melhor os efeitos de vento (destacados pelos retângulos pretos) ocasionados pela presença das edificações. São mais comuns o efeito de canto ou de esquina, com aceleração da velocidade do vento nas arestas das edificações; efeito de esteira, com circulação do ar em redemoinho na área a sotavento; e áreas onde o edifício dificulta e até impede a passagem do vento, provocando o efeito de barreira, criando sombras de vento.

A imagem “contorno de pressão” evidencia a presença de apenas seis pontos onde a pressão medida é positiva. Cinco deles encontram-se a barlavento (X3, X6, X10, X18, X19) e apenas o X4, a sotavento.

SIMULAÇÃO 1: PARÂMETROS DE VENTO NOS PONTOS MONITORADOS [velocidade (m/s) / pressão (Pa)]

X1 [2,1/-0,50]	X5 [2,7/-0,88]	X9 [2,3/-0,24]	X13 [2,2/-0,66]	X17 [1,9/-0,27]	X21 [1,8/-0,13]
X2 [1,4/-0,16]	X6 [2,2/+1,90]	X10 [2,5/+3,50]	X14 [0,5/-0,47]	X18 [3,7/+0,20]	X22 [1,2/-0,16]
X3 [2,8/+0,16]	X7 [1,1/-0,19]	X11 [5,1/-0,66]	X15 [2,4/-0,08]	X19 [2,1/+0,64]	X23 [2,2/-0,36]
X4 [1,1/+0,03]	X8 [0,9/-2,40]	X12 [1,5/-0,13]	X16 [0,8/-0,61]	X20 [2,4/-0,25]	X24 [0,4/-1,90]

Figura 67: Avaliação do Cenário Atual. Fonte: CFX-Post.

Continuação daFigura 67: Avaliação do Cenário Atual. Fonte: CFX-Post.

Algumas imagens que possibilitam a avaliação do cenário 1 – com prédios de 04 pavimentos afastados em 7m (ver corte AA”) – são apresentadas na figura 68. Na imagem “vetor velocidade em planta”, observa-se, dentre os pontos monitorados, que o vento atinge a velocidade mínima de 0,5m/s no ponto X8 e máxima de 4,4m/s no mesmo ponto da simulação 1 (X11), menor que a do cenário atual. Assim como no cenário atual, há um significativo decréscimo na velocidade nas áreas a sotavento, algumas até sem nenhum movimento do ar, e um discreto incremento nesta velocidade nos pontos localizados a barlavento.

Entretanto, a quantidade de áreas com ausência de vento ou velocidades muito baixas é menor que no cenário atual. Mas, ainda que existam mais áreas ventiladas, o vento entre os prédios atinge, em geral, velocidades baixas, assim como na simulação anterior. Como é sabido, é nas áreas a sotavento que o vento tende a mudar de direção, especialmente no encontro com as arestas dos prédios, mas, em geral, não há muitas mudanças da direção do vento, se comparado com o cenário atual.

Na imagem “vetor velocidade em corte”, observam-se os efeitos de vento (destacados pelos retângulos pretos) decorrentes da presença das edificações. São mais comuns o efeito de canto, com aceleração da velocidade do vento nas arestas das edificações, e o efeito de barreira, com a presença de áreas onde o edifício dificulta e até impede a passagem do vento, provocando sombras de vento.

A imagem “contorno de pressão” exhibe seis pontos de pressão positiva, sendo quatro localizados em zonas de alta pressão (X3, X6, X9, X10), a barlavento, e dois (X7 e X14) localizados em zona de baixa pressão, a sotavento. Como no cenário anterior havia um só ponto de pressão positiva a sotavento e no cenário 1 há dois, pode-se dizer que este possui áreas mais turbulentas.

Figura 68: Avaliação do Cenário 1. Fonte: CFX-Post.

Continuação da Figura 68: Avaliação do Cenário 1. Fonte: CFX-Post.

A Figura 69 reúne imagens para avaliação do cenário 2, com prédios de 04 pavimentos mais afastados que no cenário anterior, agora em 11m (ver corte AA"). Na representação do "vetor velocidade em planta", observa-se, dentre os pontos monitorados, que o vento atinge a velocidade mínima de 0,6m/s nos pontos X8 e X24 e máxima de 5,2m/s no mesmo ponto das simulações anteriores (X11). Assim como nos cenários anteriores, há um significativo decréscimo ou inexistência da velocidade nas áreas a sotavento, e um discreto incremento nesta velocidade nos pontos localizados a barlavento.

Assim como aconteceu no cenário 1, há uma diminuição ainda maior nas áreas com ausência de vento ou velocidades muito baixas, mas, também ainda são baixas as velocidades do vento entre os prédios. Como já foi dito, é também nas áreas a sotavento que o vento tende a mudar de direção, especialmente no encontro com as arestas dos prédios, mas, em geral, não há muitas mudanças da direção do vento, assim como nas simulações anteriores.

Os efeitos de vento (destacados pelos retângulos pretos) decorrentes da presença das edificações podem ser observados na imagem "vetor velocidade em corte". São mais comuns o efeito de esquina, com aceleração da velocidade do vento nas arestas das edificações, e o efeito de barreira, com a presença de áreas onde o edifício dificulta e até impede a passagem do vento, provocando sombras de vento.

Em relação ao cenário atual, a simulação do presente cenário mostra uma diminuição nos pontos de pressão positiva de seis para cinco pontos (X3, X4, X6, X10, X19), sendo quatro deles (X3, X6, X10, X19) localizados a barlavento e os demais a sotavento, demonstrando uma diminuição da turbulência em relação ao cenário 1 (ver imagem "contorno de pressão"), provavelmente devido ao aumento do afastamento entre os edifícios propostos.

Figura 69: Avaliação do Cenário 2. Fonte: CFX-Post.

A seguir, a Figura 70 apresenta algumas imagens da simulação 4 que possibilitam a avaliação do cenário 3. Na imagem “vetor velocidade em planta”, observa-se, em relação às simulações anteriores, uma redução considerável nas velocidades mínima e máxima do vento nos pontos monitorados, respectivamente 0,1m/s no ponto X8 e 4,3m/s no ponto X11.

Há um maior decréscimo na velocidade nas áreas a sotavento, e a quantidade de áreas sem nenhum movimento do ar é consideravelmente maior que todas as situações anteriores, de modo que nem nos pontos localizados a barlavento nota-se incremento na velocidade do vento.

Também nesta simulação, nas áreas a sotavento o vento tende a mudar de direção, especialmente no encontro com as arestas dos prédios. Mas, em geral, continua sem haver mudanças da direção do vento, se comparado com o cenário atual e com os demais.

Na imagem “vetor velocidade em corte”, observa-se um aumento da altura da camada limite em relação às simulações anteriores, decorrente do acréscimo do gabarito proposto. Os efeitos de vento mais comuns (destacados pelos retângulos pretos) decorrentes da presença das edificações também são o efeito de esquina, com aceleração da velocidade do vento nas arestas das edificações, e o efeito de barreira, com a presença de áreas onde o edifício dificulta e até impede a passagem do vento, provocando sombras de vento.

A imagem “contorno de pressão” demonstra que diminuíram ainda mais os pontos de pressão positiva para quatro (X2, X3, X6, X7), sendo três localizados em zonas de alta pressão a barlavento (X2, X3, e X7) e apenas o X6 em zona de baixa pressão, a sotavento. Trata-se, portanto de um cenário bem menos turbulento que os anteriores, provavelmente devido à diminuição da velocidade do vento.

Figura 70: Avaliação do Cenário 3. Fonte: CFX-Post.

Continuação da Figura 70: Avaliação do Cenário 3. Fonte: CFX-Post.

O cenário 4, com edifícios de gabarito de 17 pavimentos afastados em 19m, pode ser avaliados por meio da Figura 71 que apresenta algumas imagens da simulação 5. Na imagem “vetor velocidade em planta”, também se observa, assim como na simulação anterior, uma redução considerável nas velocidades mínima e máxima do vento nos pontos monitorados, se comparado ao cenário atual, respectivamente 0,5m/s no ponto X4 e 4,1m/s no ponto X11.

Também há um decréscimo na velocidade nas áreas a sotavento, e a quantidade de áreas de ar parado é consideravelmente maior que as simulações 1 a 3, de modo que nem nos pontos localizados a barlavento nota-se incremento na velocidade do vento. Há um discreto aumento na velocidade somente em relação à simulação 4, cuja diferença de cenário está apenas na presença dos pilotis no térreo, o que demonstra uma sensível melhoria no todo.

Nas áreas a sotavento, o vento também tende a mudar de direção no encontro com as arestas dos prédios, sofrendo apenas leves inclinações.

Assim como no cenário 3, na imagem “vetor velocidade em corte”, observa-se um aumento da altura da camada limite em relação às simulações anteriores, decorrente do acréscimo do gabarito proposto. Os efeitos de vento mais comuns (destacados pelos retângulos pretos) decorrentes da presença das edificações também são o efeito de esquina, com aceleração da velocidade do vento nas arestas dos edifícios, e o efeito de barreira, com áreas onde o edifício dificulta e até impede a passagem do vento, provocando sombras de vento.

A imagem “contorno de pressão” mostra cinco pontos (X2, X3, X6, X7, X8) de pressão positiva, sendo três localizados a barlavento (X2, X3, e X7) e dois (X6 e X8), a sotavento. A presença de um ponto de pressão positivo a mais que o cenário anterior deve ter se dado em decorrência da presença dos pilotis que facilitaram a passagem do vento, originando novas zonas de alta pressão.

Figura 71: Avaliação do Cenário 4. Fonte: CFX-Post.

Continuação da Figura 71: Avaliação do Cenário 4. Fonte: CFX-Post.

Pode-se avaliar o cenário 5, com edifícios de gabarito de 17 pavimentos e afastamentos variados, por meio da análise dos resultados da simulação 6, Figura 72 a seguir. Na imagem “vetor velocidade em planta”, observa-se, dentre os pontos monitorados, que o vento atinge a velocidade mínima de 0,3m/s no ponto X8 e máxima de 4,1m/s no ponto X11.

Como nas simulações 4 e 5, repete-se um significativo decréscimo na velocidade nas áreas a sotavento, algumas até sem nenhum movimento do ar, e um discreto incremento nesta velocidade nos pontos localizados a barlavento. É também nas áreas a sotavento que o vento tende a mudar de direção, especialmente no encontro com as arestas dos prédios, sem que haja, no entanto, muitas mudanças da direção do vento.

Na imagem “vetor velocidade em corte”, percebe-se uma diminuição da altura da camada limite em relação à simulação 5. Observam-se ainda os efeitos de vento (destacados pelos retângulos pretos) decorrentes da presença das edificações. É mais comum o efeito de canto ou esquina, com aceleração da velocidade do vento nas arestas dos edifícios; efeito de esteira aparece em menor numero que nos cenários anteriores, com circulação do ar em redemoinho na área a sotavento e um menor número de áreas onde o edifício dificulta e até impede a passagem do vento, pelo efeito de barreira, criando sombras de vento.

A imagem “contorno de pressão” mostra um aumento significativo de zonas de alta pressão, demonstrando um incremento na velocidade do vento decorrente da diferença de gabaritos dos edifícios implantados, que favoreceram o movimento do ar. São dez pontos de pressão positiva, sendo cinco deles localizados a barlavento (X2, X3, X6, X7 e X9) e a outra metade (X1, X4, X5, X10 e X12), a sotavento, em zonas de baixa pressão, indicando o maior aumento da turbulência de todos os cenários anteriores.

Figura 72: Avaliação do Cenário 5. Fonte: CFX-Post.

Continuação da Figura 72: Avaliação do Cenário 5. Fonte: CFX-Post.

Outra análise das simulações foi feita avaliando-se os resultados das pressões diretamente nas envoltórias dos edifícios propostos. Seu objetivo é demonstrar mais uma possibilidade de utilização destes resultados que não apenas para o meio urbano, mas para o projeto e detalhamento do edifício.

Foram geradas duas imagens em perspectivas para cada simulação mostrando, em cada uma delas, duas fachadas adjacentes de cada prédio. Por meio desta avaliação é possível definir, por exemplo, a melhor quantidade e distribuição dos apartamentos em planta, e até as fachadas para melhor disposição das aberturas de entrada e saída de ar, precisando sua localização.

A Figura 73 traz duas perspectivas do cenário atual voltadas para Nordeste e Sudoeste respectivamente, onde se percebe que as pressões nas fachadas mais inclinadas para Norte, Oeste e Sul apresentam valores negativos e positivos entre -9 e +20 aproximadamente, sendo indicadas, a princípio, para aberturas de saída de ar e entrada. As pressões nas fachadas voltadas para Leste apresentam principalmente coeficientes positivos, sendo mais recomendadas para aberturas de entrada. Nos edifícios mais altos estão as maiores pressões.

Figura 73: Perspectivas NE e SO do Cenário Atual. Fonte: CFX-Post.

No Cenário 1, observado nas perspectivas da Figura 74, NE e SO respectivamente, as fachadas inclinadas para Norte, Oeste e Sul também

apresentam valores negativos e positivos entre aproximadamente -8 e $+5$, podendo receber tanto aberturas de entrada como de saída. As pressões positivas mais altas concentram-se nas fachadas voltadas para o Leste, que são mais indicadas, por exemplo, para a colocação de aberturas de entrada de vento. Recomendam-se pavimentos com dois apartamentos, voltados para N e S, para garantir a ventilação cruzada.

Figura 74: Perspectivas NE e SO do Cenário 1. Fonte: CFX-Post.

Na Figura 75 do Cenário 2, as perspectivas voltadas para Nordeste e Sudeste, respectivamente, mostram que as pressões nas fachadas mais inclinadas para Norte e Sul apresentam valores negativos e positivos entre aproximadamente -13 e $+7$, sendo indicadas, a princípio, para aberturas de entrada e saída de ar.

Figura 75: Perspectivas NE e SE do Cenário 2. Fonte: CFX-Post.

Além disso, as fachadas voltadas para Leste apresentam principalmente coeficientes positivos entre +2 e +23, sendo mais recomendadas para aberturas de entrada. Aqui também se recomendam dois apartamentos por pavimento, voltados para N e S, para garantir a ventilação cruzada.

No Cenário 3, observados nas perspectivas NE e SO da Figuras 76, as fachadas inclinadas para Norte, Oeste e Sul também apresentam valores negativos e positivos entre aproximadamente -7 e +5, podendo receber aberturas de entradas, mas principalmente de saída de ar. As fachadas voltadas para o Leste são mais indicadas, por exemplo, para a colocação de aberturas de entrada de vento, principalmente nos edifícios da fileira de trás, onde se encontram as maiores áreas com pressões positivas, chegando até +24. Aqui permanece a recomendação para a disposição de pavimentos com dois apartamentos, voltados para N e S, para garantir a ventilação cruzada.

Figura 76: Perspectivas NE e SO do Cenário 3. Fonte: CFX-Post.

Nas perspectivas NE e SO da Figuras 77 (Cenário 4), percebe-se que as fachadas inclinadas para Norte, Oeste e Sul também apresentam valores negativos e positivos entre aproximadamente -19 e +6. Voltadas para o Leste estão as fachadas mais indicadas para disposição de aberturas de entrada de ar,

principalmente nos edifícios da fileira de trás, onde também se encontram as maiores áreas com pressões positivas, chegando até +25. Para a ventilação ser cruzada, recomendam-se dois apartamentos por pavimento, voltados para N e S.

Figura 77: Perspectivas NE e SO do Cenário 4. Fonte: CFX-Post.

A Figura 78 do cenário 5 traz duas perspectivas voltadas para Nordeste e Sudoeste, respectivamente, onde se observa que as pressões nas fachadas mais inclinadas para Norte, Oeste e Sul apresentam valores negativos e positivos entre -18 e +6 aproximadamente, sendo indicadas, para aberturas de entrada e saída de ar. As pressões das fachadas voltadas para Leste apresentam coeficientes negativos entre -6 e -0,3 e, principalmente, positivos, entre +6 e +24, sendo mais recomendadas para aberturas de entrada.

Figura 78: Perspectivas NE e SO do Cenário 5. Fonte: CFX-Post.

Os edifícios de 6, 10 e, principalmente de 17 pav. recebem as maiores pressões positivas e, em todos eles, recomenda-se a distribuição de dois apartamentos por pavimento, voltados para N e S.

5.8 As limitações das simulações

Como foi dito, as simulações para a segunda predominância de vento não atingiram os valores mínimos de resíduos esperado (10^{-4}). Todos os resíduos da simulação do cenário atual, realizadas para o vento (E), ficaram dentro do mínimo aceitável, e o resíduo de massa foi o menor, igual a $9.8E^{-06}$ (Tabela 17).

Tabela 17: Quantidades do Cenário Atual – direção E.

QUANTIDADES DO CENÁRIO ATUAL DIREÇÃO (E)			
Variáveis	Equação	Início da simulação	RMS (iteração=121)
Momento e Massa	U-Mom	2.93712E+01	1.0E-04
	V-Mom	2.93712E+01	7.8E-05
	W-Mom	2.93712E+01	3.4E-05
	P-Mass	2.93712E+01	9.8E-06
Turbulência	K-TurbKE	2.93712E+01	1.1E-04
	E-Diss.K	2.93712E+01	5.0E-05

Os resíduos da simulação do cenário atual para a direção NE não diminuíram progressivamente, e aumentaram após contínuas iterações. Na última iteração (570), apenas as quantidades de momento (W-Mom) e massa (P-Mass) cobriram o valor mínimo de 10^{-4} , chegando a $5.0E^{-04}$ e $8.1E^{-04}$ (Tabela 18).

Tabela 18: Quantidades do Cenário Atual - direção NE.

QUANTIDADES CENÁRIO ATUAL DIREÇÃO (NE)			
Variáveis	Equação	Início da simulação	RMS (iteração=570)
Momento e Massa	U-Mom	3.05221E+01	3.0E-03
	V-Mom	3.05221E+01	3.1E-03
	W-Mom	3.05221E+01	5.0E-04
	P-Mass	3.05221E+01	8.1E-04
Turbulência	K-TurbKE	3.05221E+01	1.1E-03
	E-Diss.K	3.05221E+01	3.1E-03

Entretanto, a iteração 564 – anterior à iteração 570 – chegou a apresentar resíduos menores. A quantidades de momento (W-Mom) e massa (P-Mass) e turbulência (K-TurbKE e E-Diss.K) foram de $1.2E^{-04}$, $4.2E^{-04}$, $6.6E^{-04}$, $8.7E^{-04}$, respectivamente (Tabela 19).

Tabela 19: Quantidades do Cenário Atual - direção NE.

QUANTIDADES CENÁRIO ATUAL DIREÇÃO (NE)			
Variáveis	Equação	Início da simulação	RMS (iteração=564)
Momento e Massa	U-Mom	3.05221E+01	1.6E-03
	V-Mom	3.05221E+01	1.1E-03
	W-Mom	3.05221E+01	1.2E-04
	P-Mass	3.05221E+01	4.2E-04
Turbulência	K-TurbKE	3.05221E+01	6.6E-04
	E-Diss.K	3.05221E+01	8.7E-04

Os gráficos abaixo permitem visualização do que foi dito acima. Os gráficos de momento e massa da simulação do cenário atual com direção E e NE apresentam, respectivamente, uma linha de resíduos decrescente ao longo das iterações (Gráfico 36) e uma série de *loops* com picos e vales demonstrando ora uma grande, ora uma pequena quantidade de resíduos (Gráficos 37).

Gráfico 36: RMS de Momento e Massa Simulação 1 - direção E.

Gráfico 37: RMS de Momento e Massa Simulação 1 - direção NE.

Os gráficos de turbulência dessas mesmas simulações também apresentam, respectivamente, uma linha de resíduos decrescente ao longo das iterações (Gráfico 38) e uma série de *loops* com picos e vales demonstrando ora uma grande, ora uma pequena quantidade de resíduos (Gráficos 39).

Gráfico 38: RMS de Turbulência Simulação 1 - direção E.

Gráfico 39: RMS de Turbulência Simulação 1 - direção NE.

A primeira providência na tentativa de identificar possíveis causas da não convergência da simulação para a direção NE foi a verificação do perfil de velocidade do vento. Foram geradas imagens dos vetores de velocidade em planos a 25m, 50m, 75m, 100m, 125m e 150m de altura, a partir das quais se verifica que o perfil de velocidade do vento está correto, pois há um incremento da velocidade com o aumento da altura dos planos.

Nos planos mais baixos (25m e 50m), encontram-se as menores velocidades, entre 1 e 6m/s. Já nos planos mais altos, a velocidade é condizente com a velocidade de entrada de 7m/s, definida no arquivo ccl. Além disso, observa-se também a correta definição da direção do Nordeste, como área de entrada (Figuras 79, 80, 81, 82, 83, 84, extraídas do *CFX-Post*).

Figura 79: Vetor Velocidade (25m). **Figura 80: Vetor Velocidade (50m).**

Figura 81: Vetor Velocidade (75m). **Figura 82: Vetor Velocidade (100m).**

Figura 83: Vetor Velocidade (125m). **Figura 84: Vetor Velocidade (150m).**

Ainda que haja uma grande quantidade de resíduos na simulação NE, a verificação dos perfis de vento permite considerar os seus resultados como parcialmente confiáveis. Acredita-se que eles sirvam para se proceder a análises gerais e, dificilmente, para análises pontuais, pois não se pode afirmar que os resultados dos *monitor points* extraídos não tenham caído em células desbalanceadas – aquelas com uma quantidade de massa, momento ou turbulência na entrada muito diferente da saída. Podem-se fazer comparações úteis com os vetores de velocidade e direção dos ventos entre as duas direções.

Comparando-se as duas simulações – para direção E e NE – observa-se que os vetores de velocidade no nível do pedestre no plano P1 (16m) evidenciam uma equivalência em área com baixas velocidades de vento, principalmente na segunda fileira de quadras. Na simulação para direção NE, observa-se que as demais fileiras de quadras apresentam um melhor escoamento do ar, que atinge maiores alcances e maiores velocidades. Na simulação NE a área de varredura é maior e há uma pequena diminuição das áreas sem vento (Figuras 85 e 86).

Figura 85: Vetor Velocidade (P1) – direção E.

Figura 86: Vetor Velocidade (P1) – direção NE.

No plano P2 (15m), os vetores de velocidade no nível do pedestre da simulação NE apresentam áreas com menos velocidades baixas que na simulação

E, em todas as fileiras de quadras. Assim como no plano anterior, na simulação para direção NE, apresenta um melhor escoamento do ar, que atinge maiores alcances e maiores velocidades. Na simulação NE também há uma diminuição significativa das áreas sem vento, que ficam mais espaçadas (Figuras 87 e 88).

Figura 87: Vetor Velocidade (P2) – direção E.

Figura 88: Vetor Velocidade (P2) – direção NE.

No nível do pedestre do plano P3 (13m), as maiores alterações nas velocidades do vento observadas na simulação da direção NE encontram-se na primeira fileira de quadras, onde há um incremento considerável. No geral, a dinâmica do vento é muito parecida nas duas simulações (Figuras 89 e 90).

Figura 89: Vetor Velocidade (P3) – direção E.

Figura 90: Vetor Velocidade (P3) – direção NE.

Como se viu nas Figuras 85 a 90, o efeito de vento mais comum na simulação da direção NE é a sombra de vento, que ocorre quando o fluxo de vento se separa da superfície dos edifícios, formando zonas de estagnação do ar a sotavento. Pelo fato de o vento incidir praticamente nas quinas dos edifícios, observa-se também a formação de áreas marcadas pelo efeito de canto, com aceleração da velocidade do vento nos ângulos do edifício.

A observação das pressões em pontos monitorados, por sua vez, requer resultados com menor número de resíduos, pois, como foi dito, não se pode garantir que os valores medidos não sejam tomados em células desbalanceadas.

A partir de toda esta análise, verifica-se que os ventos que incidem com ângulos agudos nas fachadas e nas quinas dos edifícios – como no caso das simulações para direção NE (45°) – apresentam maior dificuldade de atingir a convergência que as simulações para direções que incidem com ângulos praticamente perpendiculares às fachadas, e áreas litorâneas.

Devido à necessidade de otimização da capacidade computacional para realizar simulações em áreas de dimensões urbanas, acredita-se que os fatores que tenham dificultado a convergência da simulação para a direção NE possam estar relacionados exatamente com os quesitos que não puderam ser checados. Apesar de terem sido rodadas simulações em até cinco computadores em paralelo, no LABAUT, não puderam ser verificados o refinamento da malha e aumento do domínio, que implicaria no número maior de elementos de malha e no maior tempo de processamento.

CAPÍTULO 6

Considerações finais

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preocupação inicial trazida por este trabalho residia na tendência à verticalização das avenidas litorâneas de cidades brasileiras consolidada em Fortaleza/CE, Recife/PE, Vitória/ES, Rio de Janeiro/RJ, Santos/SP, Balneário Camboriú/SC, etc. e que já iniciada nas proximidades da Avenida Litorânea, na cidade de São Luís/MA.

Durante seu desenvolvimento, na tentativa de estabelecer uma relação entre um processo de verticalização proposto para um trecho dessa avenida ludovicense e a ventilação natural no seu entorno, o interior do bairro Calhau, observa-se um esforço em conhecer o estado da arte da pesquisa, procedendo-se inclusive a estudos de Mecânica dos Fluidos – buscando-se conhecer as propriedades físicas do ar em movimento no meio urbano – e de simulação computacional.

Soma-se a este esforço, uma minuciosa pesquisa sobre a cidade de São Luís e seu clima; o bairro Calhau e as diferentes formas de ocupação encontradas na Avenida Litorânea; e o conjunto de leis que regem o seu crescimento, observando-se sempre a preocupação desta legislação em assegurar o conforto ambiental dos edifícios e da cidade.

Foi necessário também um detalhamento da área estudada que envolveu desde o levantamento fotográfico e físico-arquitetônico das edificações lá existentes, como um procedimento de medição *in loco* de elementos climáticos de velocidade e direção de vento, temperatura e umidade relativa do ar – dados estes comparados com os provenientes de estações de coleta de dados climáticos existentes nessa cidade.

A construção de todo esse repertório viabilizou a definição de cinco diferentes cenários de verticalização em um trecho determinado na área estudada, variando-se o gabarito, os afastamentos laterais e a tipologia dos edifícios. Em seguida, estes cenários foram simulados no *Ansys CFX Software*, para que se pudesse verificar sua influência nos padrões de velocidade e direção do vento e pressão no nível do pedestre monitorados em 24 pontos distribuídos em um conjunto de seis quadras do entorno (Tabela 20).

Tabela 20: Velocidade (m/s) e pressão (Pa) nos pontos monitorados.

VELOCIDADE (m/s) / PRESSÃO (Pa)						
Pontos	Cenário Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
P1	2,1/ -0,50	1,8/ -0,34	2,2/ -0,41	2,7/ -0,24	2,1/ -0,20	2,0/ +0,16
P2	1,4/ -0,16	1,3/ -0,10	1,7/ -0,17	3,2/+0,14	1,9/ +0,13	1,6/ +0,10
P3	2,8/ +0,16	3,3/ +0,59	3,3/ +0,19	3,6/ +0,38	3,3/ +0,69	3,5/ +0,81
P4	1,1/ +0,03	0,7/ 0,00	1,4/ +0,02	1,5/ -0,10	0,5/ -0,08	0,8/ +0,13
P5	2,7/ -0,88	2,7/ -0,77	3,1/ -0,59	4,1/ -0,45	3,7/ -0,16	3,7/ +0,27
P6	2,2/ +1,90	1,7/ +0,93	2,4/ +1,90	2,4/ +1,40	1,9/ +1,10	1,5/ +0,76
P7	1,1/ -0,19	1,3/ +0,08	1,3/ -0,11	2,2/ +0,04	1,4/ +0,26	1,8/ +0,34
P8	0,9/ -2,40	0,5/ -1,80	0,6/ -2,20	0,1/ -2,10	0,6/ -2,10	0,3/ -1,30
P9	2,3/ -0,24	2,5/ +0,15	2,5/ -0,26	3,4/ -0,49	2,7/ -0,38	2,7/ +0,12
P10	2,5/ +3,50	2,0/ +1,20	2,8/ +2,20	1,1/ -0,06	1,0/ +0,17	1,6/ +0,38
P11	5,1/ -0,66	4,4/ -0,43	5,2/ -0,63	4,3/ -0,24	4,1/ -0,22	4,1/ -0,18
P12	1,5/ -0,13	1,0/ -0,17	1,7/ -0,26	2,7/ -0,08	1,3/ -0,02	1,7/ +0,02
P13	2,2/ -0,66	2,0/ -0,67	2,1/ -0,71	1,5/ -0,30	1,5/ -0,25	1,9/ -0,01
P14	0,5/ -0,47	0,7/ +0,56	0,8/ -0,22	1,4/ -0,07	0,9/ -0,05	0,9/ -0,11
P15	2,4/ -0,08	1,6/ -0,51	2,5/ -0,15	1,3/ -0,69	1,3/ -0,65	1,4/ -0,48
P16	0,8/ -0,61	0,9/ -0,50	1,0/ -0,59	1,6/ -0,45	1,0/ -0,44	1,2/ -0,30
P17	1,9/ -0,27	1,7/ -0,23	1,5/ -0,23	0,9/ -0,29	1,2/ -0,18	1,0/ -0,27
P18	3,7/ +0,20	3,0/ -0,20	3,7/ -0,33	2,5/ -1,10	2,8/ -0,50	2,6/ -0,77
P19	2,1/ +0,64	1,5/ -0,05	2,0/ +0,55	1,3/ -0,37	1,4/ -0,20	1,3/ -0,14
P20	2,4/ -0,25	1,8/ -0,15	2,3/ -0,38	1,7/ -0,34	1,7/ -0,27	1,7/ -0,23
P21	1,8/ -0,13	1,2/ -0,25	1,2/ -0,33	1,0/ -0,35	0,9/ -0,31	1,0/ -0,25
P22	1,2/ -0,16	1,0/ -0,16	0,9/ -0,09	0,7/ -0,18	0,8/ -0,15	0,7/ -0,14
P23	2,2/ -0,36	2,4/ -0,02	2,6/ -0,25	2,4/ -0,29	2,2/ -0,19	2,2/ -0,18
P24	0,4/ -1,90	0,9/ -1,50	0,6/ -1,80	0,3/ -1,40	0,7/ -1,30	0,5/ -1,10

Inicialmente, objetivou-se simular tanto a primeira como a segunda predominâncias de vento características da cidade (E e NE), pois ambas

apresentam frequências de ocorrência bastante significativas, sendo caracterizada como primeira predominância, nos três anos de medição avaliados, a direção E, e, nos dois dias de medição *in loco*, a direção NE. De modo que, nesta pesquisa, a direção Leste foi definida como a primeira predominância e Nordeste, a segunda.

Em relação às simulações para o vento proveniente do Leste, foi possível estabelecer as seguintes relações entre o cenário atual e os cenários propostos na área estudada:

- quanto menores foram os afastamentos laterais entre os edifícios propostos, maiores foram a velocidade e o alcance do vento no nível do pedestre, conseqüentemente, houve uma redução nas áreas sem vento neste nível, como se observou no cenário 1;
- o aumento nos afastamentos laterais entre os edifícios propostos provocou uma diminuição nas áreas de pressão positiva (cenário 2);
- o aumento no gabarito dos edifícios propostos para quatro pavimentos provocou um incremento significativo na velocidade do vento no nível do pedestre (cenário 2);
- o acréscimo no gabarito dos edifícios propostos para dezessete pavimentos provocou o aumento da altura da camada limite, a diminuição na velocidade do vento e o aumento de áreas sem movimento de ar (cenário 3);
- a presença de pilotis nos prédios de 17 pavimentos provocou um incremento na velocidade do vento e maior alcance do mesmo (cenário 4).
- a combinação de edifícios com diferentes gabaritos (quatro, seis, dez e dezessete pavimentos) provocou um aumento significativo nas zonas de alta pressão, e o decorrente incremento na velocidade do vento, favorecendo a movimentação do ar (cenário 5).

- em todos os cenários, observou-se que, quanto maior a pressão positiva em áreas a sotavento, maior a turbulência nas mesmas.

Estabelecidas as relações acima, observa-se que a importância da utilização dos resultados obtidos dá-se tanto na fase inicial do planejamento urbano, como no momento de detalhamento do projeto do edifício, pois, estes resultados permitem:

- identificar e comparar os efeitos de vento provocados pela presença das edificações existentes e dos cenários propostos;
- estabelecer possível relação ótima entre altura e afastamento entre as edificações existentes e propostas, desde que propostos mais cenários para verificação de sua influência;
- avaliar pressão no nível do pedestre;
- avaliar pressão nas fachadas dos edifícios;
- a partir da avaliação da pressão, sugerir melhor distribuição dos apartamentos nos diferentes pavimentos, ou nos diferentes edifícios, dependendo de sua localização;
- a partir da avaliação da pressão, sugerir melhor localização de aberturas (entrada e saída de vento) nas diferentes fachadas em função também de sua localização;
- investigar os locais (quadras, fileiras de quadras) onde a verticalização pode trazer efeitos positivos ou negativos, como turbulência, zonas de alta pressão, que comprometam o conforto do pedestre, dentre outros.

Em relação ao vento proveniente do Nordeste, infelizmente, na simulação realizada para esta segunda predominância, a convergência adotada não atingiu o mínimo de resíduos recomendado, igual ou inferior a 10^{-4} (FRANKE, 2004) e estes não diminuíram progressivamente. O que se observou foi que, nestas

CAROLINA GASPAR LEITE _____ Mestrado FAUUSP/ Bolsa FAPESP

simulações, os perfis de velocidade e direção de vento foram simulados corretamente, de maneira que seus resultados são parcialmente confiáveis, podendo ser utilizados em análises gerais. Entretanto, não se aconselha a extração de valores em pontos monitorados, pois não se pode garantir que estes pontos estejam posicionados em células balanceadas, posto que a presença de uma grande quantidade de resíduos evidencia a ausência de equilíbrio entre as forças atuantes em muitas células da malha.

Considera-se que a maior conclusão tirada da análise da simulação da direção NE encontra-se na evidência de que os ventos que incidem com ângulos agudos nas fachadas e nas quinas dos edifícios, na área litorânea estudada, apresentam maior dificuldade de atingir a convergência que as simulações para direções que incidem com ângulos praticamente perpendiculares às fachadas.

Assim, atribui-se a esta pesquisa a possibilidade de continuidade, pois, se os cenários propostos na Avenida Litorânea foram capazes de alterar os padrões do vento proveniente do Leste, acredita-se que sua influência em relação ao vento proveniente do Nordeste seja ainda maior, dada a localização geográfica desta avenida, que fica ao Norte da área estudada. Desta maneira, destaca-se a grande importância de pesquisas futuras não apenas em checar a influência dos mesmos cenários na segunda predominância de vento, como de estabelecer cenários novos e verificar sua influência em ambas as direções; e, a partir de então, talvez possam ser estabelecidas relações ótimas entre 'gabarito x afastamentos laterais x tipologia' naquela área de orla.

Felizmente, a resposta à preocupação inicial desta pesquisa inicia-se com a constatação de que os cenários de verticalização propostos para a Avenida Litorânea influenciam sim os padrões de vento proveniente do Leste, nas quadras do bairro Calhau analisadas, ressaltando-se que os resultados obtidos

são aplicáveis apenas aos estudos aqui realizados. De modo que se abre um horizonte novo para o planejamento urbano da cidade de São Luís, onde se faz possível pré-determinar os impactos de novos edifícios nos padrões de ventilação natural de ocupações existentes em áreas de orla.

Acredita-se que reside aqui, portanto, a maior contribuição deste trabalho, uma vez que a ventilação natural constitui-se em um importante recurso para obtenção de conforto na cidade de São Luís e, especialmente pelo fato de que a metodologia aqui aplicada é transferível como método de planejamento e projeto de áreas urbanas, transferível inclusive para outras áreas de estudo, desde que seja assegurada a representação das peculiaridades de cada área.

Finalmente, aponta-se a contribuição científica e social deste trabalho aos poucos estudos (VIANNA, 2001) realizados na área de ventilação natural, por ele acrescentar uma nova experiência, onde se observou que o desconforto térmico relacionado à ventilação na área estudada é atribuído tanto à verticalização, quanto à ausência de recuos mínimos entre os edifícios e à tipologia adotada.

Referências

REFERÊNCIAS

- ALUCCI, Márcia Peinado. **Software Climaticus 4.2**, 2005.
- ANSYS. CFX 5 Solver Models. Diddcot Oxfordshire: CFX, 2003.
- _____. ANSYS CFX. Disponível em: <<http://www.ansys.com/products/cfx.asp#>>. Acesso em dez. 2007.
- ASSIS, Eleonora. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8º, Maceió, 2005. **Artigo técnico**.
- ATLAS do Potencial Eólico Nacional (1987) e outros dados do Nordeste: Dados compilados para a primeira versão do Atlas Eólico do Brasil editado em 1987 pela ELETROBRÁS. Disponível em: <<http://www.ma.gov.br/cidadao/estado/geografia/clima.php>>. Acesso em 13 nov. 2007.
- BITTENCOURT, Leonardo S.; CRUZ, Jorge M.; LÔBO, Denise G.F. A influência da relação entre taxa de ocupação x nº de pavimentos no potencial de ventilação natural dos ambientes internos e externos. In: 4º ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Salvador, 1997. **Artigo técnico**.
- _____. O efeito da verticalização das edificações na ventilação natural do tecido urbano: o caso da orla marítima de Maceió. v. 2. In: 8º ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Salvador, 2007. **Paper Científico**.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais Climatológicas (1961-1990)**. Brasília, 1992.
- CÂNDIDO, Christhina; BITTENCOURT, Leonardo. **Introdução à ventilação Natural**. Maceió: EDUFAL, 2005. 147p.
- CAPELUTO, Isaac G. **A methodology for the qualitative analyses of winds: natural ventilation as a strategy for improving the thermal comfort in open spaces**. Faculty of Architecture and Town Planning Technion – Institutetute of Technology. Haifa, Israel, 2004.
- CARLO, Joyce C.; LAMBERTS, Roberto. Elaboração de regulamentação e classificação de edificações eficientes. Processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações. **AET nº 02/04. Relatório: LabEEE-200504**. Florianópolis, 2005.
- CARVALHO, Maria Lúcia A. M. Impacto do ambiente construído sobre o clima. In: 1º ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Florianópolis, 1993. **Artigo técnico**.
- COSTA, Fernando José de Medeiros. **Ventilação e prescrições urbanísticas: uma aplicação simulada no bairro de Petrópolis em Natal/RN**. Natal: UFRN, 2001. Dissertação (Mestrado).

CÓSTOLA, Daniel. **Ventilação por Ação do Vento no Edifício**: Procedimento para Quantificação. São Paulo: FAUUSP, 2006. Dissertação (Mestrado).

DRACH, Patricia R. C. **Modelagem Computacional e Simulação Numérica em Arquitetura Visando Conforto em Ambientes Construídos**. Petrópolis, RJ: LNCC, 2007. Tese (Doutorado).

DUARTE, Denise H. S. **Padrões de Ocupação do Solo e Microclimas Urbanos na Região de Clima Tropical Continental**. São Paulo: FAUUSP, 2000. Tese (Doutorado).

FERRAZ, Aline P. M., SILVA, Francisco G. Estudo da repercussão das variáveis climáticas decorrentes da ocupação do solo em Intermares. In: NUTAU, São Paulo, 2004. **Artigo técnico**.

FIGUEIREDO, Cíntia Mara. **Ventilação natural em edifícios de escritórios na cidade de S. Paulo: limites e possibilidades**. São Paulo: FAUUSP, 2007. Dissertação (Mestrado).

FOX, Robert W., McDONALD, Alan T. **Introdução a Mecânica dos Fluidos**. Tradução: KOURY, Ricardo N. N., FRANÇA, Geraldo A. C. 5. ed. Rio de Janeiro, 2001.

FRANKE, J. et al. **Recommendations on the use of CFD in predicting Pedestrian Wind Environment**. In: COST C14 INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN WIND ENGINEERING AND BUILDINGS AERODYNAMICS, Rhode-Saint-Genève, Belgium: von Karman Institute, 2004.

FREIXANET, Víctor A. F., VIQUEIRA, Manuel R. **Ventilación natural: cálculos básicos para arquitetura**. México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2004.

FROTA, Anésia. B.; SCHIFFER, Sueli. R. **Manual de Conforto Térmico**. 6. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003. 243 p.

GEOCITIES. Sala de Física. **Força de Coriolis**. Disponível em: <<http://br.geocities.com/saladefisica5/leituras/coriolis.htm>>. Acesso em 2006.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, 1992.

GONÇALVES, Joana C. S. **A sustentabilidade do edifício alto** - uma nova geração de edifícios altos e a discussão sobre a inserção urbana. São Paulo: FAUUSP, 2003. Tese (Doutorado).

GOOGLE EARTH. **Imagens de satellite e fotografias diversas**. Califórnia, EUA.

GRIMM, Alice M. **O vento geostrófico**. In: UFPR – Meteorologia Básica – Notas de aula. Paraná, 1999. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/index.html>>. Acesso em 2006.

HARRIES, Alan. Introduction and Introduction to Using Computational Fluid Dynamic. In Workshop: CFX. São Paulo: FAUUSP, 2005. Curso Introdução (CFX Software).

IPCC adverte para riscos de uma "nova época climática", indica jornal alemão. **Folha Online**, São Paulo, 13 out. 2007. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u336449.shtml>>. Acesso em 6 nov. 2007.

JÚNIOR, Orlando. Espigões ameaçam orla marítima. Paraíba: **Informativo Para'iwa**, fev. 2000. Disponível em: <www.parauiwa.org.br/informativo/informativo_32.htm>. Acesso em 2003.

KOFOED, Niels Ulrik, GAARDSTED, Maria. **Considerations of the wind in urban spaces**. In RUROS: Rediscovering the Urban Real and Open Spaces. CRES – Center for Renewable Energy Sources, Department of Buildings. Grécia, 2004.

LAMBERTS, Roberto, DUTRA, Luciano, PEREIRA, Fernando O. R., **Eficiência Energética na arquitetura**. 2.ed. São Paulo: ProLivros, 2004.

LEITE, Carolina Gaspar. Uma **Igreja e sua comunidade em um bairro de São Luís**: Igreja de São Paulo Apóstolo. São Luís: UEMA, 2003. Monografia (Graduação).

LIMA, Glênio L. F.; OLIVEIRA, Alexandre G.; PEDRINI, Aldomar; ARAÚJO, Virgínia M. D. Índices de conforto térmico: revisão e proposta para o clima quente e úmido de Natal-RN. In: 8º ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Maceió, 2005. **Artigo técnico**.

LOPES, António M. S. **Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano**. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético. Lisboa: Universidade de Lisboa, 2003. Tese (Doutoramento).

MASCARÓ, Lucia E. A. R. O clima como parâmetro de desenho urbano. In: SEMINÁRIO SOBRE DESENHO URBANO NO BRASIL, Brasília, p. 79-89, 1986. **Artigo técnico**.

_____. Densidades, ambiência e infra-estrutura urbana. **Vitruvius: Arquitextos**, São Paulo, out. 2001. Disponível em: <www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp102.asp>. Acesso em 2003.

MASCARÓ, Lúcia R. **Ambiência urbana**: Urban environmet. Porto Alegre: DC Luzzatto, 1996. 199 p.

MONTEIRO, Leonardo M. ALUCCI, Márcia P. Quantificação de variáveis para análise termo-fisiológica em espaços aberto. In: 8º ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Maceió, 2005. **Artigo técnico**.

MORENO, Manuel F. N. **Qualidade ambiental nos espaços livres em áreas verticalizadas da cidade de São Paulo**. São Paulo, 2001. Tese (Doutorado).

- MUELLER, C.M. **A Norma ISO 7726 e os ensaios com equipamentos de medição**. São Paulo: FAUUSP, 2006. Trabalho Programado 4 do Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (Mestrado).
- OLGYAY, V. **Arquitetura y Clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.
- OLIVEIRA, Paulo M. P. **Cidade apropriada ao clima**: A forma urbana como instrumento de controle do clima urbano. Brasília: UnB, 1993. Dissertação (Mestrado).
- OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2. ed. New York: Methuen, 1987.
- PRATA, Alessandra R. **Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural em meio urbano**. São Paulo: FAU/USP, 2005. Tese (Doutorado).
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LUÍS. **Planta de Referência Cadastral – Setor 8**. São Luís, fev. 1999. Elaborada a partir dos overlays do cadastro de logradouros pelo Grupo Técnico Gestor.
- ROMERO, Marta A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. 2. ed. São Paulo: ProEditores, 2000.
- ROSA, Marcio H. S. **Protótipo de sistema de análise de dados climáticos para geração de dados gerenciais**. Brasília, 2006.
- SANTAMOURIS, M. **Wind patterns in urban environments**. Greece: Department of applied Physics, University of Athens, 2001.
- SÃO LUÍS. **Legislação Urbanística Básica de São Luís**. São Luís: Imprensa Universitária, 1997.
- SARAIVA, Jorge A. G.; SILVA, Fernando V. M.; SILVA, Francisco A. G. O vento, a cidade e o conforto. In: 4º ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Salvador, 1997. **Artigo técnico**.
- SARAIVA, Jorge A. G.; SILVA, Francisco A. G.; SILVA, Fernando V. M. Condições climáticas e anos típicos. In: 8º ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Maceió, 2005. **Artigo técnico**.
- SENA, Carliza B. **Análise comparativa entre o Método de Mahoney Tradicional e o Método de Mahoney Nebuloso para caracterização do clima no projeto arquitetônico**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, POLI-USP, 2004. Dissertação (Mestrado).
- SILVA, Francisco de A. **O Vento como Ferramenta no Desenho do Ambiente Construído**: Uma Aplicação ao Nordeste do Brasil. São Paulo: FAUUSP, 1999. Tese (Doutorado).
- SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA (SBPC). **SBPC debate a Zona Costeira Amazônica**. Belém: Museu Goeldi, 2006. Disponível

em: <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/40104.html>>. Acesso em: 2007.

SOUZA, Valéria M. B. **A Influência da Ocupação do Solo no Comportamento da Ventilação Natural e na Eficiência Energética em Edificações**. Estudo de Caso em Goiânia - Clima Tropical de Altitude. Brasília: UnB, 2006. Dissertação (Mestrado).

STULL, R. **An Introduction to boundary layer meteorology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988.

TOURMA. **Turismo no Maranhão**. Fotografias diversas. Disponível em: <<http://www.geg.com.br/tourma/>>. Acesso em: 2005.

TRINTA, Patricia V., ARAÚJO, V. M. D. A análise bioclimática e a investigação do conforto térmico como ferramentas no planejamento urbano: o caso do bairro do Renascença II em São Luís-MA. In: 8º ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Maceió, 2005. **Comunicação Técnica**.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO (UEMA). Núcleo Estadual de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Dados da PCD de São Luís dos anos 2003, 2004, 2005**. São Luís: NEMRH, 2006. Disponível em: <<http://www.nemrh.uema.br>>. Acesso em 2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR). **Circulação Global Idealizada**. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap8/cap8-1.html>>. Acesso em 2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA (UFSM). Grupo de Ensino de Física. **Número de Reynolds**. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/gef/NumRey.htm>>. Acesso em 2006.

VIANNA, Nelson S. **O Estado da Arte em Ensino e Pesquisa na Área de Conforto Ambiental no Brasil**. São Paulo: FAUUSP, 2001. Dissertação (Mestrado).

VILLAÇA, Flávio. **Espaço intra-urbano no Brasil**. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel: FAPESP: Lincoln Institute, 2001.

WIKIPÉDIA. **Brisa (vento)**. Imagem. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Brisa_%28vento%29>. Acesso em 2007.

WIKIPÉDIA. **Root mean square**. Definition. Última atualização em 21 jan. 2008. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Root_mean_square>. Acesso em 01 fev. 2008.

WIKIPÉDIA. **Momento (física)**. Última atualização em 6 jan. 2008. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Momento_\(f%C3%ADsica\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Momento_(f%C3%ADsica))>. Acesso em 5 fev. 2008.

OBRAS CONSULTADAS

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

ASSIS, Eleonora S. Bases teóricas para aplicação da climatologia ao planejamento urbano. In: 4º ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Salvador, 1997. **Artigo técnico**.

_____. **Impactos da forma urbana na mudança climática: método para a previsão do comportamento térmico e melhoria do desempenho no ambiente urbano**. São Paulo: FAUUSP, 2000. Tese (Doutorado).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Jun. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: Informação e documentação – trabalhos acadêmicos – apresentação. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: Informação e documentação – citações em documentos – apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho Térmico de Edificações – PARTE 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. São Paulo, 2005.

ATLAS do Maranhão. 2. ed. Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico, Laboratório de Geoprocessamento da UEMA. São Luís: GEPLAN. 2002.

ATLAS do Potencial Eólico do Nordeste – ELETROBRÁS. 1987. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/eolico/nordeste/nordeste.htm>>. Acesso em 13 nov. 2007.

BERTULANI, C. **Turbulência e equação de Navier-Stokes**. Curso de Física 2 Interativo. IF/UFRJ. 1999. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/hidrodinamica/turbulencia/turbulencia.html>>. Acesso em 11 set. 2006.

BATCHELOR, G. K. **An introduction to fluid dynamics**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

BRASIL. Ministério da Aeronáutica. **Tabelas Climatológicas (1961-1965)**. Brasília, 1v.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). **Plataforma de Coleta de Dados**. Dados meteorológicos, hidrológicos e ambientais de PCDs. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/>>. Acesso em 2006.

EGAN, M. D. **Concepts in thermal confort**. New Jersey, Prentice-Hall, 1975.

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (POLI-USP). **Perda de carga distribuída no escoamento laminar**. Apostila Mecânica dos Fluidos, abr. 2003. Disponível em: <http://www.poli.usp.br/d/pme2237/PME2237_-_Experiencia2.pdf . Acesso em 2005.

FROTA, Anésia Barros. **Ventilação Natural nas Edificações**. São Paulo: FAUUSP, 2004. Apostila (CECACE).

FANGER, P. O. **Thermal Comfort**. United States: Mc Graw Hill Book Company, 1972.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. Amsterdam: Elsevier Publishing Company Limited, 1969. (Architectural science series).

IMPrensa. Vida Urbana. Recife: **Diário de Pernambuco**, nov. 2003. Disponível em: < www.ademi-pe.com.br/imprensa/dp_30nov03.html> Acesso em 2004.

INGE, POLYANIN. Equações de Navier Stokes. **Wikipédia**, 1991. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Equa%C3%A7%C3%B5es_de_Navier-Stokes> Acesso em 2007.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION: **ISO 7726**. Ergonomics: instruments for measuring physical quantities. Genève, Switzerland, 1998.

JÚNIOR, Antônio M. R. **O turismo globalizado e as transformações urbanas no litoral de Fortaleza**: arquitetura e estetização da praia de Iracema. Fortaleza: UFCE, 2000. Dissertação (Mestrado).

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LabEEE). **Arquivos climáticos para simulação energética de edificações para 17 cidades brasileiras**. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/downloadacim.html>>. Acesso em mai. 2007.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e Clima**: Acondicionamento Térmico Natural. Porto Alegre: D. E. Luzzato e UFRS, 1985.

SCIGLIANO, Sérgio, HOLLO, Vilson. **IVN** – Índice de Ventilação Natural. São Paulo: Pini, 2001.

SILVEIRA, Mauro R., MARIANI, V. C. **Investigação das equações de Navier-Stokes e conservação da massa**. In: Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, 2005. Disponível em: <http://www.sbm.org.br/eventos/nmac/cdxxviii_cnm/posters/174posterCNMAC2005viviana_mariani.pdf>. Acesso em 2007.

TOLEDO, Alexandre. **Ventilação natural e conforto térmico em dormitórios**: aspectos bioclimáticos para uma revisão do código de obras e edificações de Maceió. Rio Grande do Sul: UFRS, 2002. Dissertação (Mestrado).

TOLEDO, Eustáquio. **Ventilação Natural nas Habitações**. Maceió: Edufal, 1999.

VECCHIA, Francisco. Ruptura no regime de ventos predominantes. Breve episódio representativo do fato climático de primavera de 1996. In: 4º ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Salvador, 1997. **Artigo técnico**.

ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO ESTADO DO MARANHÃO. Maranhão: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2001. Disponível em: <<http://www.zee.ma.gov.br>>. Acesso em: 11 jan. 2005.

ZONEAMENTO COSTEIRO DO MARANHÃO. Divisão municipal, mosaico de imagens, geologia, geomorfologia, pedologia e uso e cobertura vegetal. São Luís: MARANHÃO-GEAGRO/ IICA/UFMA/UEMA/NUGEO/LABGEO, 2003.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

VIANA, Valeria B. **Exigências de Conforto Térmico por Usuários do Conjunto Habitacional São Carlos**. São Carlos: USP/SC, 1991. Dissertação (Mestrado).

ALUCCI, Márcia P. **Conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia elétrica**. São Paulo: FAUUSP, 1993. Tese (Doutorado).

AULICIEMS, A. SZOKOLAY, S. V. Thermal comfort. In: PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, Brisbane: University of Queensland, 1997. 64 p. **PLEA Notes** (note 3).

BERANEK, W. J. **General rules for the determination of Wind environment**. In: PROCEEDINGS OF THE FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE, FORT COLLINS, COLORADO, USA. Oxford: Edited by Cermak, Pergamon Press, July, 1997. p. 225-234.

CORBELLA, Oscar, YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos** – conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

FARIA, João R. G. **Ventilação na camada intra-urbana: o caso de Bauru – SP**. São Carlos: EESC, 1997. Tese (Doutorado).

VIDAL, Roseane D. M. **Influência da morfologia urbana nas alterações da temperatura do ar na cidade de Natal**. Brasília: IAU, UnB, 1991. Dissertação (Mestrado).

ANDERSON, J. **Computational Fluid Dynamics**. New York: McGrawHill, 1995.

AYNSLEY, R. M., MELBOURNE, W. e VICKERY, B. J. **Architectural aerodynamics**. London: Applied Science Publishers, 1977.

ETHERIDGE, D.W. Unsteady Flow effects due to fluctuating wind pressures in natural ventilation design - mean flow rates. **Building and Environment**. n. 35, p. 111-133, 2000.

FORTUNA, A.O. **Técnicas Computacionais para Dinâmica dos Fluidos**. Conceitos Básicos e Aplicações. São Paulo: EDUSP, 2000.

GROSSO, M. Wind pressure distribution around building: a parametrical model. **Energy and Building**, v. 18, p. 101-131, 1992.

MOTEZUKI, Fabio; CHENG, Liang; PIPINEL, Eduardo. **Análise computacional da influência das aberturas na ventilação cruzada**. In: 8º ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Maceió, 2005.

Apêndice

APÊNDICE - Medições de campo

Neste trabalho, encontram-se tratados os dados medidos pela Estação meteorológica marca *Oregon Scientific* modelo *Cable Free WMR 968*, nos dias 30 de janeiro e 01 de fevereiro de 2007.

No primeiro dia, as medidas foram tiradas a cada minuto, das 7:25h até as 19:21h, totalizando 719 dados; no segundo dia, dias das 6:01h até as 18:07h, totalizando 728 dados, que serão analisados a seguir:

Dia de Medição: 30 Janeiro 2007

Na Tabela 21, os valores diários registrados no dia 30 de janeiro:

Tabela 21: Valores diários registrados pela Estação *Oregon* – 30jan.

VALORES DIÁRIOS 30jan07			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	3,8	2	6
TBS (°C)	30,8	28,6	33,2
UR (%)	69	60	82

No gráfico 40, observa-se que a direção Nordeste corresponde à 1ª Predominância de Vento, com uma freqüência de ocorrência de 66%. A direção Leste é a 2ª Predominância, ocorrendo em 34% do período medido.

Em relação ao número de ocorrências de cada direção, percebe-se que a direção Nordeste apareceu em 471 dos 719 dados registrados e a direção Leste, em 248 registros (Gráfico 41).

Gráfico 40: 1ª e 2ª Predominâncias de Direção de Vento – 30jan.

Gráfico 41: Número de Ocorrências das Direções de Vento – 30jan.

Em 476 registros, ou seja, 66% do período medido, a velocidade variou entre 4 e 5m/s. Em 145 registros, ou seja, 20% do período medido, a velocidade variou entre 3 e 4m/s. Em 84 registros, ou seja, 12% do período medido, a velocidade variou entre 5 e 6m/s. E apenas em 12 registros, ou seja, 2% do período medido, a velocidade variou entre 2 e 3m/s.

Não foram registradas velocidades acima de 6m/s (Gráficos 42 e 43).

Gráfico 42: Frequência de Ocorrência da Velocidade de Vento - 30jan.

Gráfico 43: Número de Ocorrências da Velocidade de Vento - 30jan.

As seguir, os valores registrados a cada hora medida do dia 30 de janeiro:

Tabela 22: Valores registrados às 8h pela Estação, 30jan.

VALORES REGISTRADOS ÀS 8H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	4,1	3	5
TBS (°C)	30,3	29,5	31,3
UR (%)	68	65	73

Tabela 23: Valores registrados às 9h pela Estação, 30jan.

VALORES REGISTRADOS ÀS 9H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	3,9	2	5
TBS (°C)	31,1	29,9	32,3
UR (%)	66	63	74

Tabela 24: Valores registrados às 10h pela Estação, 30jan.

VALORES REGISTRADOS ÀS 10H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	4,1	3	6
TBS (°C)	30,9	30	32,8
UR (%)	67	62	72

Tabela 25: Valores registrados às 11h pela Estação, 30jan.

VALORES REGISTRADOS ÀS 11H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	4	3	5
TBS (°C)	32	30,7	32,9
UR (%)	64	62	69

Tabela 26: Valores registrados às 12h pela Estação, 30jan.

VALORES REGISTRADOS ÀS 12H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	4,3	3	6
TBS (°C)	32,3	31,4	33,2
UR (%)	63	60	67

Tabela 27: Valores registrados às 13h pela Estação, 30jan.

VALORES REGISTRADOS ÀS 13H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	3,8	3	5
TBS (°C)	32,3	30,9	33
UR (%)	64	62	70

Tabela 28: Valores registrados às 14h pela Estação, 30jan.

VALORES REGISTRADOS ÀS 14H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	3,6	3	5
TBS (°C)	31,9	30,3	32,8
UR (%)	64	62	72

Tabela 30: Valores registrados às 16h pela Estação, 30jan.

VALORES REGISTRADOS ÀS 16H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	3,3	2	5
TBS (°C)	29,6	29,4	29,9
UR (%)	74	72	77

Tabela 32: Valores registrados às 18h pela Estação, 30jan.

VALORES REGISTRADOS ÀS 18H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	3,7	2	5
TBS (°C)	28,6	28,6	28,8
UR (%)	79,85	77	82

Tabela 29: Valores registrados às 15h pela Estação, 30jan.

VALORES REGISTRADOS ÀS 15H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	3,9	3	5
TBS (°C)	30,9	29,7	32,5
UR (%)	68	62	74

Tabela 31: Valores registrados às 17h pela Estação, 30jan.

VALORES REGISTRADOS ÀS 17H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	3,7	2	5
TBS (°C)	29,2	28,7	29,8
UR (%)	77,4	75	81

Dia de Medição: 01 Fevereiro 2007

Na Tabela 33, os valores diários registrados no dia 01 de fevereiro:

Tabela 33: Valores diários registrados pela Estação Oregon – 01fev.

VALORES DIÁRIOS 30jan07			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	4,3	0	7
TBS (°C)	30,8	27,9	35,2
UR (%)	70	54	85

No gráfico 44, observa-se que a direção Nordeste corresponde à 1ª Predominância de Vento, com uma frequência de ocorrência de 63%. A direção Norte é a 2ª Predominância, ocorrendo em 32% do período medido. A direção Leste é a 3ª Predominância, ocorrendo em apenas 5% do tempo de medição.

Em relação ao número de ocorrências de cada direção, percebe-se que a direção Nordeste apareceu em 456 dos 728 dados registrados; a direção Norte, em 230 registros; direção Leste, em 39 registros; e a direção Sudeste, em 1 único registro (Gráfico 45).

Gráfico 44: 1ª e 2ª Predominâncias de Direção de Vento - 01fev.

Gráfico 45: Número de Ocorrências das Direções de Vento - 01fev.

Em 372 registros, ou seja, 51% do período medido, a velocidade variou entre 4 e 5m/s. Em 255 registros, ou seja, 35% do período medido, a velocidade variou entre 5 e 6m/s. Em 53 registros, ou seja, 7% do período medido, a velocidade variou entre 6 e 7m/s. Em 43 registros, ou seja, 6% do período medido, a velocidade variou entre 3 e 4m/s. E apenas em 4 registros, ou seja, 1% do período medido, a velocidade variou entre 0 e 1m/s. Foi registrada 1 única velocidades entre 7 e 8m/s (Gráficos 46 e 47).

Gráfico 46: Frequência de Ocorrência da Velocidade de Vento - 01fev.

Gráfico 47: Número de Ocorrências da Velocidade de Vento - 01fev.

Nas Tabela 34 a 45, a seguir, encontram-se os valores registrados a cada hora medida do dia 01 de fevereiro:

Tabela 34: Valores registrados às 6h pela Estação, 01fev.

VALORES REGISTRADOS ÀS 6H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	5	4	6
TBS (°C)	28,1	27,9	28,3
UR (%)	80	78	85

Tabela 36: Valores registrados às 8h pela Estação, 01fev.

VALORES REGISTRADOS ÀS 8H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	4,1	3	5
TBS (°C)	30,3	29,5	31,3
UR (%)	68	65	73

Tabela 38: Valores registrados às 10h pela Estação, 01fev.

VALORES REGISTRADOS ÀS 10H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	4,4	3	6
TBS (°C)	33,6	31,6	35
UR (%)	60	54	69

Tabela 40: Valores registrados às 12h pela Estação, 01fev.

VALORES REGISTRADOS ÀS 12H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	4,4	3	6
TBS (°C)	33,2	31	35,2
UR (%)	62	56	71

Tabela 42: Valores registrados às 14h pela Estação, 01fev.

VALORES REGISTRADOS ÀS 14H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	3,8	3	5
TBS (°C)	31,5	30,6	32,3
UR (%)	67	65	70

Tabela 44: Valores registrados às 16h pela Estação, 01fev.

VALORES REGISTRADOS ÀS 16H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	4,7	4	6
TBS (°C)	29,9	29,1	30,9
UR (%)	74	72	78

Tabela 35: Valores registrados às 7h pela Estação, 01fev.

VALORES REGISTRADOS ÀS 7H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	4,7	3	6
TBS (°C)	28,8	28,3	29,8
UR (%)	77	71	83

Tabela 37: Valores registrados às 9h pela Estação, 01fev.

VALORES REGISTRADOS ÀS 9H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	4,4	3	6
TBS (°C)	32,3	30,7	34,2
UR (%)	64	61	72

Tabela 39: Valores registrados às 11h pela Estação, 01fev.

VALORES REGISTRADOS ÀS 11H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	4,3	3	6
TBS (°C)	32,5	31,5	34,5
UR (%)	63	56	67

Tabela 41: Valores registrados às 13h pela Estação, 01fev.

VALORES REGISTRADOS ÀS 13H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	3,9	3	5
TBS (°C)	32,0	31,2	33
UR (%)	66	64	71

Tabela 43: Valores registrados às 15h pela Estação, 01fev.

VALORES REGISTRADOS ÀS 15H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	4	3	6
TBS (°C)	30,5	29,4	31,5
UR (%)	72	67	77

Tabela 45: Valores registrados às 17h pela Estação, 01fev.

VALORES REGISTRADOS ÀS 17H			
ELEMENTO CLIMÁTICO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
VELOCIDADE (m/s)	4,7	3	6
TBS (°C)	28,8	28,7	29
UR (%)	77	75	79

Anexo

ANEXO - Lei de Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo**ANEXO III – LISTAGEM DE CATEGORIA DE USOS**

- C** USO COMERCIAL EM GERAL
 - C1** COMÉRCIO VAREJISTA
 - C2.1** COMÉRCIO DE CONSUMO EXCEPCIONAL
Artesanato, Antiguidades, Boutique, Galeria, objetos de arte “design”, Importados (artigos)
 - C2.2** COMÉRCIO DE CONSUMO NO LOCAL/ DIVERSÕES
Casa de café, choparia, Casa de música, Restaurante
 - C2.3** COMÉRCIO LOCAL
Alimentos para animal, casas de animais domésticos, Artigos de couro, Artigos de vestuário, Artigos esportivos e recreativos, Artigos religiosos, Bijuterias, brinquedos, calçados, Centro de compras, Cereais, Cooperativa de consumo, Decoração (loja de lonas e toldos), Departamentos (lojas de), Eletrodomésticos e Utensílios Domésticos, Estofado e Colchões, móveis, Fotografia e ótica, joalheria, Jardins (artigos para), Luminárias e lustres, Mercados (abastecimento), Molduras, espelhos, vidros, Roupas de cama, mesa e banho, tecidos, Som (equipamentos de), discos, fitas, Supermercados
 - S1** SERVIÇOS DE ÂMBITO LOCAL
 - S1.4** SERVIÇOS DE HOSPEDAGEM
Pensões, albergues
 - S1.5** SERVIÇOS DE DIVERSÕES
Jogos de salão
 - S2.1** SERVIÇOS DE ESCRITÓRIO E NEGÓCIOS
Administradores (bens, negócios, consórcios, fundos mútuos), Agências de anúncios em jornal, classificados, Agências de casamento, cobranças, detetives, empregos, Agência de propaganda e publicidade, Agentes de propriedade industrial (marcas e patentes), Análise e pesquisa de mercado, Avaliação agrícola e comercial (escritórios), Agências bancárias, Caixas beneficentes, Câmara de comércio, Câmbio – estabelecimentos, Carteira de saúde, Instituições financeiras, Auditorias

e peritos, Escritórios e consultorias de profissionais autônomos, Agência de turismo, Cartórios, Comissários de despachos, Consignação e comissões, Construção por administração – empreiteiras, Cooperativas de produção, Corretores, despachantes, Crédito imobiliário, sistemas de vendas a crédito, Editoras, Empresas de incentivo fiscal, de seguros, Escritórios representativos ou administrativos de indústria, comércio, prestação de serviços e agricultura, Incorporadora, “*leasing*”, Mercado de capitais, montepios e pecúlios, Processamento de dados, Promoção de vendas, Reflorestamento, Seleção de pessoal – treinamento empresarial, Serviços de datilografia e taquigrafia, Vigilância – segurança

S2.3 SERVIÇOS DE EDUCAÇÃO

Academia de ginástica e esportes, Cursos e línguas

S2.4 SERVIÇOS SÓCIO-CULTURAIS

Associações e fundações científicas, Organizações associativas e profissionais, Sindicatos ou organizações similares ao trabalho

S2.5 SERVIÇOS DE HOSPEDAGEM

Hotéis, Apart-hotéis

S2.6 SERVIÇOS DE DIVERSÕES

Diversões eletrônicas, jogos, Salão de festas, bailes, “*buffet*”, Teatro, cinema, “*drive-in*”

S2.7 SERVIÇOS DE ESTÚDIO, LABORATÓRIOS E OFICINAS TÉCNICAS

Análise técnica, Controle Tecnológico, Estúdio de fotografia/cinema/som/microfilmagem, Instrumentos científicos e técnicos, Laboratórios de análise química

S2.9 SERVIÇOS DE ALUGUEL, DISTRIBUIÇÃO E GUARDA DE BENS MÓVEIS

Aluguel de: veículos leves, equipamentos de som e eletrônicos, filmes, vestimentas, toalhas, Depósito e equipamentos de “*buffet*”, Depósito de materiais e equipamentos de empresas de prestação de serviços, Distribuição de jornais e revistas, Estacionamento, Guarda-móveis de pequeno porte

E1 EDUCAÇÃO

Ensino básico de 1º grau, Ensino pré-escolar (maternal, jardim de infância), Parque infantil (com recreação orientada)

E2 INSTITUIÇÕES DIVERSIFICADAS

E2.1 EDUCAÇÃO

Curso de madureza, Cursos preparatórios para escolas superiores, Ensino básico de 1º e 2º graus, Ensino técnico-profissional

E2.2 LAZER E CULTURA

Campo, ginásio, parque e pista de esportes, circo, Cinemateca, filмотeca, discoteca, museu, livraria, Quadra de escola de samba, escola de natação

E2.5 CULTO**E3.2** LAZER E CULTURA

Auditório para convenções, congressos e conferências, Espaços e edificações para exposições, Estádio, Parque de diversões

R1 RESIDENCIAL UNIFAMILIAR – 1UNIDADE HABITACIONAL**R2** RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR – MAIS DE 1UNIDADE HABITACIONAL