

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE CORPOS D'ÁGUA EM
MICROCLIMAS URBANOS: ESTUDO DE CASO EM SÃO
JOSÉ DO RIO PRETO, SP**

Érico Masiero

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof^a. Dr^a. Léa Cristina Lucas de Souza

São Carlos
2014

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

M397ai Masiero, Érico.
Análise da influência de corpos d'água em microclimas urbanos : estudo de caso em São José do Rio Preto, SP / Érico Masiero. -- São Carlos : UFSCar, 2014.
141 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2014.

1. Engenharia urbana. 2. Corpo d'água. 3. Ventilação urbana. 4. Resfriamento evaporativo. 5. Microclimas. I. Título.

CDD: 711 (20^a)



FOLHA DE APROVAÇÃO

ÉRICO MASIERO

Tese defendida e aprovada em 06/06/2014
pela Comissão Julgadora

Prof^a Dr^a Léa Cristina Lucas de Souza
Orientadora (PPGEU/UFSCar)

Prof. Dr. Eduardo Leite Krüger
(D.A.Const.Civil/UTFPR)

Gianna meo barbirato

Prof^a Dr^a Gianna Barbirato
(Depto Arq. Urb/UFAL)

Prof. Dr. João Roberto Gomes de Faria
(Depto Arq.Urb.Paisag./UNESP)

Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira
(PPGEU/UFSCar)

Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva
Coordenador do CPG-EU

RESUMO

Este estudo analisa os efeitos microclimáticos provocados por corpo d'água sobre a cidade de São José do Rio Preto, localizada em uma região de clima Tropical de Altitude no Estado de São Paulo. A principal hipótese decorre da conjunção entre a atuação das massas de ar da região, com o resfriamento evaporativo provocado pelo corpo d'água e com o ambiente construído. A metodologia do estudo se baseia na caracterização física dos diversos ambientes que compõem o espaço urbano, na determinação dos procedimentos de coleta de dados de campo, na análise das características macro e meso climáticas da região, no tratamento de dados microclimáticos através do mapeamento de informações e na formulação de diretrizes para a ocupação do espaço urbano. As campanhas de coleta de dados micrometeorológicos utilizaram medições em pontos fixos para registrar o comportamento da temperatura, da umidade, da irradiância global horizontal, da evaporação, da direção e da velocidade do vento na malha urbana, tanto na área rural como nas margens da represa, no centro urbano e nos bairros periféricos. Os dados climáticos da região foram coletados pela Estação Meteorológica automática do CIAGRO - Centro Integrado de Informações Agro Meteorológicas e pela estação da CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – as quais foram cruzadas com os dados e Imagens de Satélite do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC INPE. Após as coletas de campo, os dados climáticos e as informações das características físicas do ambiente urbano foram processados através de métodos geoestatísticos para mapear o comportamento microclimático das áreas urbanas estudadas. Conclui-se que a ação do vento sobre a massa d'água pode influenciar no entorno imediato, chegando a influenciar até aproximadamente 1.000m de raio de distância, dependendo das características topográficas, de ocupação e das condições atmosféricas. A umidificação do ar urbano através do corpo d'água pode reduzir os picos diários de temperatura em aproximadamente 3°C, no entanto, a expressiva diferença detectada nos índices de temperatura e umidade nas camadas intraurbanas esclarece que os 9 km² da represa municipal são insuficientes para influenciar as zonas periféricas mais distantes dela, sob quaisquer condições climáticas. A pouca penetração das massas umidificadas de ar sugere que o espaço urbano deve favorecer a ação passiva do resfriamento evaporativo para provocar efeitos microclimáticos que amenizem a amplitude térmica nos espaços pouco vegetados e muito impermeabilizados da cidade.

Palavras-chave: Corpo d'água, ventilação urbana, resfriamento evaporativo, microclima

ABSTRACT

This study analyzes the microclimate effects caused by a water body in São José do Rio Preto city, which is located at an Altitude Tropical Climate region in the São Paulo State, Brazil. The main hypothesis stems from the conjunction among the air masses action in the region combined with the evaporative cooling by the water body in the built environment. The study methodology is based on the physical characterization of different environments that make up the urban environment, in determining procedures of gathering data field, in the analysis of macro and meso climatic characteristics of the region, in the treatment of microclimate data by mapping information and the formulation of guide lines for urban space occupation. The monitoring field data campaigns used meteorological measurements at fixed points to record the behavior of temperature, humidity, solar radiation, evapotranspiration, the wind speed and direction in the urban area, both in the rural environment, in the bank of the dam, in the inner city and in the suburbs. Climate general information of the region were collected by Automatic Weather Station of CIIAGRO – Center for Integrated Agricultural Weather Information – and the CETESB Station – Environmental Company of São Paulo State - which were crossed with the data and the satellite images of INPE-CPTEC – Prediction Center of Weather and Climate Research. After the field campaigns, climatic data and physical characteristics of the urban environment were processed using geostatistical methods for mapping the microclimate behavior of the studied urban areas. We concluded that the wind action over the water mass may influence the immediate surroundings, reaching approximately 1.000m depending of the topographical characteristics, of the urban occupation and the atmospheric conditions. Humidification of urban air through the water body can reduce the daily temperature peaks at approximately 3°C, however, the significant difference found in the rates of temperature and humidity in the urban canopy layer clarifies that the 9 km² of the water surface are insufficient to influence the farthest outlying areas of the dam under any climatic conditions. The low penetration of humidified air masses suggests that urban space should favor the passive action of evaporative cooling to cause microclimatic effects to mitigate the temperature amplitude in low vegetated areas and in a highly waterproofed city.

Key word: Water body, urban ventilation, evaporative cooling, microclimate

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à CAPES pelo apoio financeiro, à Prof^a. Dr^a. Léa Cristina Lucas de Souza pela paciência e comprometimento na orientação ao longo de todo o doutorado, ao Antônio Carlos Pepino e aos docentes do PPGEU, em especial ao Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva. Agradecemos também a colaboração do Prof. Eduardo Leite Krüger, do Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto SEMAE, da Telma, do Rodrigo e do Sr. Antônio da Escola Renascer, do Sindicato dos Servidores Públicos Municipais de S. J. Rio Preto, da Canção Nova, da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, do Instituto Agrônomo de Campinas, da Giovanna Wakamatu, da Graziela W. Davoglio, do Alex Davoglio, do Sr. Pedro Wakamatu, do Pedrinho W. Laguna, do Sr. dos Santos do Aeroporto Eriberto Reino, do Jean L. Pereira, do Alessandro do Colégio Ressurreição, ao Marcos Laguna, do Dirlei A. Jesus e do Michel Platini. Nossos calorosos agradecimentos também aos colegas Camila Nakata, Juliano Vasconcelos e à Márcia Suriano, pelo apoio prestado à realização desta pesquisa.

Agradecimentos especiais aos meus pais Luiz (in memoriam) e Cleusa pela dedicação, amor e apoio incondicional em todas as minhas peripécias...

...e, principalmente, a São Pedro que providenciou condições climáticas adequadas durante todos os períodos de levantamento de dados.

DEDICATÓRIA

Ao Miguel e a Giovanna que sempre me fazem enxergar além do óbvio



São José do Rio Preto, por Miguel M. – Abril 2014

Sumário

1. Introdução	14
1.1. Objetivos.....	16
1.2. Hipótese	17
1.3. Justificativa.....	17
1.4. Estrutura da Tese	20
2. Clima e Interações Urbanas – Aspectos Teóricos.....	22
2.1. Balanço de Energia e Evapotranspiração	26
2.2. Materiais	32
2.3. Ventilação e Rugosidade Urbana	34
2.4. Vegetação Urbana.....	36
2.5. Estudos das Influências dos Corpos d'água no Ambiente Urbano.....	39
2.6. Abordagens metodológicas.....	44
2.6.1. Escala de Abordagem.....	45
2.6.2. Caracterização Física.....	45
2.6.3. Procedimentos de coleta de dados.....	46
2.6.4. Análise climática regional.....	48
2.6.5. Apresentação, leitura e interpretação de dados	52
2.6.6. Simulações do ambiente térmico urbano	53
2.6.7. Formulação de diretrizes de ocupação	55
3. Metodologia.....	57
3.1. Etapa 1 - Caracterização da Morfologia Urbana de S. J. do Rio Preto e dos locais monitorados	59
3.2. Etapa 2 - Procedimentos de Medição	81
3.3. Instrumentação e Procedimentos de Medição	81
3.4. Procedimentos de Calibração de equipamentos	83
3.5. Etapa 3 - Análise climática regional e determinação da escala temporal. 87	
3.6. Etapa 4 - Localização de informações através de mapeamento	91
3.7. Etapa 5 - Análise gráfica e qualitativa.....	92
3.8. Etapa 6 - sugestões para o planejamento urbano.....	92
4. Resultados	93
4.1. Resultados da Campanha 1.....	93
4.2. Resultados da Campanha 2.....	99

5. Discussão dos resultados	116
5.1. Cenários de ocupação urbana	120
6. Conclusões	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de um Diagrama Psicrométrico de resfriamento evaporativo adiabático	27
Figura 2 – Modelo clima urbano em escala Meso, Local e Micro	30
Figura 3 – Represa no Interior de SP	31
Figura 4 – Albedo água e vegetação	33
Figura 5 – Classificação Atmosférica PGT	50
Figura 6 – Tabela de irradiância global horizontal e cobertura de nuvens	50
Figura 7 – Fluxograma geral das etapas metodológicas	58
Figura 8 – Vista panorâmica da represa municipal e área central de São José do Rio Preto	60
Figura 9 – Vista panorâmica da represa municipal	60
Figura 10 – Vista panorâmica da represa municipal e área central de São José do Rio Preto	60
Figura 11 – Vista panorâmica da represa municipal e área central de São José do Rio Preto	61
Figura 12 – Localização de pontos de medição campanha 1	62
Figura 13 – Perfil Topográfico no sentido NW-SE da área urbana de São José do Rio Preto	62
Figura 14 – Localização de pontos de medição da Campanha 2	63
Figura 15 – Perfil topográfico no sentido SW-NE da área urbana de São José do Rio Preto	63
Figura 16 – Ocupação área do Ponto 1	64
Figura 17 – Vista aérea Ponto 1	64
Figura 18 – FVC área Ponto 1	64

Figura 19 – Ocupação área do Ponto 2	65
Figura 20 – Posição Sensor Ponto 2	65
Figura 21 – Área Ponto 2	65
Figura 22 – Vista aérea Ponto 2	65
Figura 23 – FVC área Ponto 2	65
Figura 24 – Ocupação área do Ponto 3	66
Figura 25 – Posição Sensor Ponto 3	66
Figura 26 – Área Ponto 3	66
Figura 27 – Vista aérea Ponto 3	66
Figura 28 – FVC Ponto 3	66
Figura 29 – Ocupação área do Ponto 4	67
Figura 30 – Posição Sensor Ponto 4	67
Figura 31 – Área Ponto 4	67
Figura 32 – Vista aérea Ponto 4	67
Figura 33 – FVC Ponto 4	67
Figura 34 – Ocupação área do Ponto 5	68
Figura 35 – Área do Ponto 5	68
Figura 36 – Posição Sensor Ponto 5	69
Figura 37 – Área do Ponto 5	69
Figura 38 – Vista aérea Ponto 5	69
Figura 39 – FVC Ponto 5	69
Figura 40 – Ocupação área do Ponto 6	70
Figura 41 – Área do Ponto 6	70
Figura 42 – Posição Sensor Ponto 6	70
Figura 43 – Área do Ponto 6	70

Figura 44 – Vista aérea Ponto 6	70
Figure 45 – FVC Ponto 6	70
Figura 46 – Ocupação área do Ponto 7	71
Figura 47 – Área do Ponto 7	71
Figura 48 – Posição do sensor Ponto 7	71
Figura 49 – Vista aérea Ponto 7	72
Figura 50 – FVC Ponto 7	72
Figura 51 – Ocupação área do Ponto 8	72
Figura 52 – Área do Ponto 8	73
Figura 53 – Posição do sensor Ponto 8	73
Figura 54 – Área do Ponto 8	73
Figura 55 – Vista aérea Ponto 8	73
Figura 56 – FVC Ponto 8	73
Figura 57 – Ocupação área do Ponto 9	73
Figura 58 – Área do Ponto 9	73
Figura 59 – Posição do sensor Ponto 9	74
Figura 60 – Área do Ponto 9	74
Figura 61 – Vista aérea Ponto 9	74
Figura 62 – FVC Ponto 9	74
Figura 63 – Ocupação área dos Pontos 10 – 11	75
Figura 64 – Área do Ponto 10 – 11	75
Figura 65 – Posição do sensor Ponto 10 – 11	76
Figura 66 – Estação Meteorológica Área dos Pontos 10 – 11	76
Figura 67 – Vista aérea Pontos 10 – 11	76
Figura 68 – FVC Pontos 10 – 11	76

Figura 69 – Ocupação área dos Pontos 12 – 13 _____	77
Figura 70 – Estação Meteorológica e posição do sensor – Ponto 12 – 13 _____	77
Figura 71 – Tanque Classe A e sensor de Nível d’água _____	77
Figura 72 – Vista aérea Pontos 12 – 13 _____	77
Figura 73 – FVC Pontos 12 – 13 _____	77
Figura 74 – Sistema de classificação de Zonas Climáticas Locais das áreas Monitoradas _____	79
Figura 75 - Sensor HOBO Pro V2 U23-001 _____	80
Figura 76 - Escudo contra radiação _____	80
Figura 77 – Data logger com 10 canais digitais com bateria e transmissor de dados Ethernet em tempo real _____	81
Figura 78 – Sensor de irradiância global horizontal com precisão de $\pm 10W/m^2$ _____	81
Figura 79 – Sensor de temperatura e umidade S – THB-M002 e Escudo _____	81
Figura 80 – Anemômetro _____	81
Figura 81 – Pluviômetro de alumínio e aço inoxidável _____	81
Figura 82 – Sensor de Pressão Barométrica S-BPB-CM50 _____	81
Figura 83 – Tanque de evaporação Classe A de aço inox _____	82
Figura 84 – Sensor de nível d’água _____	82
Figura 85 – Pannel solar potencia de 6w _____	82
Figura 86 – Estação meteorológica DAVIS Vantage PRO 2_ _____	82
Figura 87 – Módulo controlador com datalogger _____	82
Figura 88 – Campo de testes junto à estação Meteorológica INMET Campus UFSCar São Carlos, SP _____	83
Figura 89 – Sensores HOBO U-23 e Estação Meteorológica Davis _____	83
Figura 90 - Dados originais antes da calibração _____	84
Figura 91 – Gráficos de dispersão dos dados obtidos pelos sensores _____	85

Figura 92 – Dados dos sensores HOBO U-23 após a calibração _____	86
Figura 93 – Dados das estações meteorológicas HOBO e DAVIS após a calibração__	86
Figura 94 – Sistema de Circulação Atmosférica Perturbada na Região Sudeste _____	87
Figura 95 – Duração do Período Seco na Região Sudeste – São José do Rio Preto - 3 meses _____	88
Figura 96 – Temperaturas máximas absolutas na Região Sudeste – São José do Rio Preto - 40°C _____	88
Figura 97 – Adaptado da Atualização da classificação climática mundial criada por Köppen-Geiger _____	89
Figura 98 – Porcentagem da direção predominante do vento durante o inverno _____	90
Figura 99 – Rosa dos Ventos entre 05 e 08 de Outubro 2012 _____	92
Figura 100 – Variação da temperatura do ar entre 4 pontos urbanos _____	93
Figura 101 – Variação da Umidade Absoluta entre 4 pontos urbanos _____	94
Figura 102 – Variação da Umidade Relativa entre 4 pontos urbanos _____	94
Figura 103 – Variação da Umidade Absoluta comparada com a atuação do vento no ponto 2 _____	95
Figura 104 – Distribuição dos valores de temperatura – tendência de aumento na área norte _____	96
Figura 105 – Distribuição dos valores de umidade absoluta – tendência da redução na área norte _____	97
Figura 106 – Vento de 09 de Junho a 07 Julho 2013 _____	98
Figura 107 – Variação de nível d’água e temperatura no Ponto 12 _____	99
Figura 108 – Variação de nível d’água e direção do vento no Ponto 12 _____	100
Figura 109 – Variação de nível d’água e velocidade do vento no Ponto 12_____	100
Figura 110 – Variação de nível d’água e variação de umidade absoluta no Ponto 12 _____	102
Figura 111 – Variação de nível d’água e variação de umidade relativa no Ponto 12 _____	102
Figura 112 – Variação de nível d’água e variação de incidência de radiação	

solar no Ponto 12_____	102
Figura 113 – Coeficiente de correlação entre irradiância global horizontal x Variação de nível d'água, $r=0,65$ _____	103
Figura 114 – Coeficiente de correlação entre temperatura x variação de nível d'água, $r=0,346$ _____	103
Figura 115 – Coeficiente de correlação entre umidade absoluta x variação de nível d'água, $r=0,19$ _____	104
Figura 116 – Coeficiente de correlação entre umidade relativa x variação de nível d'água, $r=0,31$ _____	104
Figura 117 – Coeficiente de correlação entre velocidade do vento x variação de nível d'água, $r=0,346$ _____	105
Figura 118 – valores de amplitude térmica de todos os pontos monitorados_____	107
Figura 119 – valores de amplitude da umidade absoluta de todos os pontos monitorados _____	107
Figura 120 – Ranking de amplitude térmica e de umidade _____	108
Figura 121 – Vento 30 Junho 2013 _____	109
Figura 122 – Vento 01 Julho 2013 _____	109
Figura 123 – Variação de temperatura x direção do vento entre 29 de Junho e 02 de Julho 2013_____	109
Figura 124 – Variação de umidade absoluta x direção do vento entre 29 de Junho e 02 de Julho 2013_____	110
Figura 125 – Variação de umidade relativa entre 29 de Junho e 02 de Julho 2013 __	111
Figura 126 – Mapa Variação de Temperatura dia 30 Junho 2013 16h – Vento Noroeste _____	111
Figura 127 – Mapa Variação de Temperatura dia 01 Julho 2013 14h – Vento Sudeste _____	112
Figura 128 – Mapa variação de Umidade Absoluta no dia 30 Junho 2013 16h – Vento Noroeste _____	113
Figura 129 – Mapa variação de Umidade Absoluta no dia 01 Julho 2013 14h – Vento Sudeste _____	113

Figura 130 – Mapa variação de Umidade Relativa no dia 30Junho 2013 16h – Vento Noroeste _____	114
Figura 131 – Mapa variação de Umidade Relativa no dia 01 Julho 2013 14h – Vento Sudeste _____	114
Figura 132 – Proposta de intervenção urbana na zona norte de São José do Rio Preto _____	120
Figura 133 – Cenário de ocupação com corpo d’água, sombreamento e circulação de ar _____	122
Figura 134 – Cenário de ocupação urbana da zona norte – Passeio público sombreado _____	123
Figura 135 – Cenário de ocupação da zona norte – edifícios habitacionais e de uso misto _____	123

1. Introdução

A qualidade ambiental urbana, considerada sob o ponto de vista das condições de conforto ambiental, consumo energético e saúde dos habitantes de uma cidade, está fortemente ligada aos padrões de ocupação e à natureza geográfica de uma determinada região. As diversas formas de ocupação do território podem influenciar padrões de comportamento atmosférico, atuando principalmente na alteração dos índices de temperatura, umidade do ar e dispersão de poluentes.

A construção de cidades envolve uma gama imensa de fatores determinantes, no entanto, os princípios do urbanismo bioclimático e a adequação do espaço urbano às condições climáticas de um determinado local não estão entre as prioridades da maioria dos urbanistas brasileiros. Apesar do Brasil dispor de avançadas tecnologias e farta estrutura que auxiliam os estudos climáticos em macro escala, como o Sistema Tupã, terceiro maior do mundo em previsão operacional de tempo (INPE, 2014b), este conhecimento ainda pouco se aplica em microescala e na concepção de projeto urbanísticos.

A compreensão dos fenômenos climáticos em diversas escalas e da configuração do meio físico espacial de uma cidade auxilia na detecção de possíveis fenômenos associados à poluição do ar, aos alagamentos, aos riscos de desmoronamento, a sazonalidade de doenças. Enfermidades como a dengue ou doenças respiratórias poderiam ser minimizadas, se os impactos decorrentes da ação do clima nas áreas urbanas fossem compreendidos mais detalhadamente. Segundo Silva (2007) o clima é um dos principais fatores que otimizam a dispersão de alguns vetores que causam epidemias como a dengue, por exemplo.

A diversidade de padrões de ocupação urbana propostos tanto pelas administrações públicas municipais brasileiras ou os que surgem de forma espontânea, raramente consideram no planejamento urbano os fatores climáticos e os princípios físicos associados às trocas de calor. De tal forma, os efeitos da permeabilidade ao vento e da distribuição da umidade do ar não são explorados. Assim, em uma mesma cidade, são formados ambientes que podem privilegiar a qualidade térmica de determinadas áreas, em detrimento de outras, de acordo com os padrões construtivos adotados.

Algumas dessas diferenças da qualidade térmica são exemplificadas por Yuan (2011) e Chen & Ng (2011), ao analisarem como as modificações na geometria urbana

em Hong Kong afetam as condições de conforto dos habitantes. No entanto, aqueles mesmos autores, com o auxílio de mapas climáticos, demonstram que é possível propor aos planejadores, recomendações de como ocupar o território e aproveitar ao máximo os recursos naturais, para a obtenção de um ambiente urbano menos agressivo ao ser humano.

Enquanto o controle das condições do ar de ambientes internos pode ser feito com o auxílio de equipamentos como purificadores de ar, aparelhos condicionadores de ar, filtros e demais recursos, a melhoria das condições do ar externo de uma cidade conta apenas com modelos de ocupação territorial e o conhecimento sobre os fenômenos físicos e climáticos que sobre ela atuam. No entanto, do ponto de vista do desenho urbano, vários fatores podem ser gerenciados e modificados pela ação humana.

Alterações climáticas locais nos diversos espaços urbanos estão relacionadas às transformações dos fluxos de energia, influenciadas pela morfologia do sítio, pelas propriedades térmicas dos materiais das superfícies construídas e pela produção antropogênica de calor (ASSIS, 2006). Em geral, o ambiente urbano apresenta valores mais elevados de temperaturas e de umidade que o ambiente rural, embora Kuttler (2007), analisando as diferenças de umidade entre ambiente rural e urbano na cidade de Krefeld, na Alemanha, indicam que o ambiente urbano pode ser mais úmido que o ambiente rural dependendo do tipo de ocupação. Neste caso, a baixa densidade construída em Krefeld, a grande quantidade e distribuição de espaços verdes e a ausência de áreas industriais possibilitam efeitos climáticos mais estáveis e amenos, quando comparados a cidades com superfícies altamente impermeabilizadas.

A complexa interação entre clima e ambiente construído requer conhecimentos específicos para que possam ser criadas ferramentas destinadas ao planejamento climático energético urbano. Nesse contexto, alguns elementos urbanos merecem especial atenção, por interferirem significativamente em toda a dinâmica das cidades em que se encontram implantados. Segundo Sandifer (2009), o uso dos recursos provenientes da paisagem pode melhorar as condições de conforto interno e diminuir o consumo energético de edificações. Assim, elementos como vegetação e espelhos d'água podem ser fontes de resfriamento passivo para o ambiente construído, diminuindo o consumo energético com sistemas de condicionamento de ar, iluminação artificial e isolamento térmico.

Muitas cidades brasileiras estão sob intervenção física direta de corpos d'água decorrentes de represamentos para barragens hidrelétricas, controle de cheias ou reservatórios de água. Muitas dessas cidades se desenvolveram ao redor dos corpos d'água, estando sob influência específica das propriedades termodinâmicas desses elementos. Represas localizadas em áreas urbanas muitas vezes contribuem para melhorar a qualidade de vida dos moradores e favorecem não só o lazer e o conforto da população, mas também à criação de áreas verdes permeáveis às águas pluviais às suas margens.

Entretanto, o adensamento urbano próximo aos rios, mares ou lagos coloca em maiores riscos a degradação ambiental, pela maior possibilidade de ocupação irregular de suas margens e consequente poluição das águas superficiais. O mau cheiro, a poluição do ar e da água e o maior risco de acidentes também podem ser fatores que afetam negativamente a sensação psicológica de conforto e saúde dos habitantes.

Baseada no importante papel que as represas podem exercer sobre muitas cidades brasileiras, e da lacuna existente quanto às recomendações de planejamento climático energético nessas áreas, essa pesquisa procura estudar as relações entre a área, o volume e a influência dos corpos d'água nos microclimas de uma cidade de médio porte, localizados em uma área tropical continental. Para isso, utiliza-se como estudo de caso a cidade de São José do Rio Preto, no interior do estado de São Paulo.

1.1. Objetivos

Destaca-se como objetivo principal dessa pesquisa:

- Detectar a influência de corpos d'água no microclima de uma cidade de médio porte implantada em área tropical continental.

Paralelamente, os seguintes objetivos específicos podem ser destacados:

- compreender de que maneira a combinação entre eventos climáticos e elementos urbanos podem afetar as condições microclimáticas;
- propor cenários de ocupação para a cidade de São José do Rio Preto, baseados nos comportamentos microclimáticos detectados.

1.2. Hipótese

A principal hipótese decorre do efeito do resfriamento evaporativo no microclima proporcionado pela distribuição horizontal das massas de ar, as quais são facilitadas por corpos d'água situados em ambientes urbanos. Deste modo, a interação entre ventos e massas de água com a massa construída favorece as condições térmicas ambientais, quando ocorre aumento da evaporação local.

1.3. Justificativa

As diferenças das temperaturas entre o ambiente urbano e rural são afetadas por fatores meteorológicos como nuvens, umidade do ar e velocidade do vento, podendo ser também decorrentes da diversidade das estruturas urbanas, como o tamanho das cidades, a densidade das áreas construídas, as alturas dos edifícios e as distâncias entre eles. A ocorrência de ilhas de calor e o aumento da poluição do ar nas cidades de médio porte do interior do Brasil são alguns dos fatores que têm influenciado as condições de conforto e saúde dos habitantes.

Patz (2005), demonstrando a significativa relação entre clima e saúde, relatam que alterações climáticas locais decorrentes de ocupações de áreas urbanas foram algumas das causas pela perda de 150.000 vidas, naqueles últimos 30 anos, e que estiveram relacionadas a doenças respiratórias e cardiovasculares causadas por ondas de calor. Isso ocorre, principalmente, em regiões de clima temperado e em cidades que estão sujeitas à ocorrência de ilhas de calor.

Conforme relatam Monteiro e Mendonça (2011), a formação das condições climáticas intraurbanas, derivadas diretamente da heterogeneidade do sítio, da estruturação, da morfologia e da funcionalidade urbanas, geram paralelamente ao clima das cidades, bolsões diferenciados, como ilhas de calor ou frescor, topoclimas e microclimas. Alguns fatores que afetam a formação de ilhas de calor são simplesmente decorrentes de fenômenos meteorológicos e não há muito que se possa fazer para amenizá-los. No entanto, Chandler (1976) chama a atenção que a intensidade da ilha de calor durante a noite pode estar relacionada mais com a característica da massa construída do que com o tamanho da cidade.

Algumas características do desenho urbano e da massa construída podem ser adaptadas para atribuir maior qualidade ao ambiente térmico urbano, tais como: cores dos edifícios, que determinam a fração de radiação que será refletida; a distribuição da vegetação; o uso de energia para resfriamento artificial de ambientes internos dos edifícios; a densidade das áreas construídas; a forma; a orientação dos edifícios e das ruas em relação à direção dos ventos e, sobretudo aos corpos d'água. Os planejadores urbanos incorporam, não raramente, os recursos naturais disponíveis em uma área, com o objetivo de oferecer qualidade do espaço construído aos cidadãos, uma vez que a alta taxa de urbanização das cidades brasileiras tem exigido cada vez mais o desenvolvimento de estratégias de planejamento que minimizem os efeitos danosos do crescimento urbano desenfreado. Em muitos casos, a criação de represa ou lagos em vales de áreas urbanas pode ter diversas intenções em um projeto urbano, entre elas cita-se, o embelezamento da área, a criação de áreas de lazer, a coleta de água para fins potáveis, a preservação da biodiversidade local ou a criação de áreas permeáveis às águas pluviais.

Entre os aspectos que devem ser ressaltados sobre a presença de corpos d'água na área urbana, estão: os benefícios associados às condições de conforto e saúde dos habitantes; a possível redução do consumo energético propiciado aos edifícios do seu entorno; e, a compreensão dos fenômenos microclimáticos para subsidiar a implantação de intervenções espaciais, como represamento de córregos e estabelecimento de parâmetros de ocupação urbana.

Normalmente, um corpo d'água no ambiente urbano pode criar zonas de ventilação mais generosas e favorecer a dispersão dos poluentes da atmosfera. Por ocupar grandes áreas abertas, situar-se nas cotas inferiores e possuir poucos obstáculos e pouca rugosidade nas superfícies, esta região contribui para aumentar a pressão atmosférica local e renovar o ar urbano com mais frequência. Desta maneira, o aumento das taxas de umidade provocada pela evaporação da água e a conseqüente redução da temperatura do ar podem provocar menores amplitudes térmicas na região e reduzir a incidência de doenças respiratórias na população.

Em estudos mais recentes, Semidor & Venot-Gbedjl (2009) relatam que o uso da água em ambientes urbanos tem efeito crucial sobre o conforto ambiental urbano e para o estado psicológico das pessoas. A água é um elemento importante para a criação de

espaços calmos e contemplativos na cidade, que podem proporcionar inclusive conforto acústico na paisagem urbana.

Com o conhecimento das informações climáticas de um determinado local e do comportamento microclimático dos espaços construídos, é possível ainda que planejadores definam parâmetros de ocupação de suas margens, justifiquem a proposta de represamento de rios e dimensionem adequadamente a área, de acordo com o clima e a vegetação predominante local.

Segundo Arnfield (2003), a estimativa completa dos volumes de circulação de água em áreas urbanas, tanto de origem natural quanto antropogênica, é uma questão que ainda requer aprofundamento. As intervenções físicas no meio podem alterar o regime natural da evapotranspiração de uma determinada região. Portanto, segundo aquele autor, é importante elucidar a interação das superfícies d'água disponíveis com a Camada Limite da Atmosfera e a influência da transmissão do calor através do movimento horizontal de uma massa de ar umidificado.

Enfatizando essa necessidade de aprofundamento na questão dos estudos relacionados a clima, água e área urbana, Assis (2006) apresenta os resultados de um levantamento sobre pesquisas de clima urbano desenvolvidas no Brasil naqueles últimos dez anos. O levantamento aponta para a necessidade de estudos mais aprofundados acerca do comportamento climático urbano, associado à umidade do ar. Apenas 1% dos trabalhos publicados até o ano de 2005 tratava especificamente desta variável.

Considerando que os estudos sobre o clima na escala urbana permitem obter informações sobre os fenômenos físicos que interferem no comportamento do espaço construído, possibilitando relacioná-los com a qualidade do ar urbano, com os efeitos dos ventos sobre o conjunto de edificações e os espaços abertos e, principalmente, com as condições de saúde dos habitantes, esta pesquisa procura estudar o papel higratérmico de corpos d'água para as condições do seu entorno urbano imediato.

Uma das cidades brasileiras de porte médio que apresenta a grande influência de corpos d'água é a cidade de São José do Rio Preto, no interior do estado de São Paulo, localizada em área tropical continental. Poucos estudos sobre aquela cidade revelam as relações entre conforto, saúde e desenho urbano, como pode ser constatado nos trabalhos de Castilho (2006) e no de Rocha et al. (2011). No estudo de Castilho (2006), observou-se a relação direta entre a distribuição espacial das enfermidades com as condições atmosféricas desfavoráveis. Nos bairros mais áridos e adensados houve maior

número de patologias cardiorrespiratórias, principalmente no inverno, quando a atuação de sistemas atmosféricos secos e frios se tornam mais frequentes. No estudo de Rocha et al. (2011), foi verificada a influência da vegetação e permeabilidade do solo na redução da temperatura noturna para alguns pontos daquela cidade. No entanto, nenhum desses estudos estabelece a relação direta do ambiente térmico urbano com a presença da represa naquele contexto. Esse é o enfoque específico adotado pela pesquisa aqui apresentada.

1.4. Estrutura da Tese

A tese adotou uma estrutura dividida em seis capítulos, sendo:

O Capítulo 1, que se constitui por esse ora apresentado, abordou os principais questionamentos e hipóteses que motivam esta pesquisa. De modo que os objetivos e as justificativas se baseiam em percepções acerca da qualidade dos ambientes urbanos e nos levantamentos de trabalhos científicos, que abordaram direta ou indiretamente as questões de clima urbano.

No Capítulo 2 procura-se levantar informações a respeito dos principais fenômenos físicos decorrentes do incremento de umidade nas cidades e suas influências na circulação atmosférica em microescala. Assim, considera-se o clima e as interações urbanas, o balanço de energia e a evapotranspiração, a aplicação dos materiais, a ventilação, a vegetação no ambiente urbano e uma seção sobre os principais aspectos metodológicos em estudos de climatologia urbana.

O Capítulo 3 apresenta os procedimentos metodológicos divididos em seis etapas, considerando desde a caracterização morfológica da cidade em questão, quanto os procedimentos de coleta de dados e as análises microclimáticas sob diferentes condições macroclimáticas.

O Capítulo 4 apresenta os resultados do comportamento microclimático de sítios monitorados e o mapeamento das condições de ambientes urbanos. As campanhas objetivaram demonstrar o efeito do aumento da evaporação local em escalas diferentes, uma para a cidade como um todo e outra para um recorte urbano da área central.

O Capítulo 5 apresenta, juntamente com a discussão dos resultados, os cenários de ocupação urbana com propostas para adequações físicas às condições climáticas predominantes na região. A partir do embasamento na literatura especializada, foram

feitas algumas considerações e recomendações para o estabelecimento de diretrizes de ocupação da zona norte de São José do Rio Preto.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões do estudo, propõe novos caminhos para pesquisas em clima urbano e reforça a importância de incluir os aspectos climáticos na tomada de decisão de projetos de intervenções espaciais.

2. Clima e Interações Urbanas – Aspectos Teóricos

A combinação dos fatores climáticos em diferentes escalas criam condições locais peculiares, chamadas de microclimas urbanos. Brown & Gillespie (1995) definem microclima como a condição da radiação terrestre, solar, do vento, da temperatura do ar, da umidade e da precipitação em um pequeno espaço aberto. Muitas maneiras existem para descrever os efeitos da paisagem no microclima. Uma delas pode ser pela análise do balanço de energia, cujos modelos matemáticos sintetizam os fenômenos de interação entre espaço construído e atmosfera, ou pela compreensão genérica dos mecanismos que regem as trocas de energia.

As alterações no balanço da radiação dos espaços urbanos ocorrem devido à troca de calor convectivo entre o solo e as construções, o que afeta os fluxos de ar acima do domo urbano e a geração de calor das próprias atividades antropogênicas.

Assis (2006) associa as alterações climáticas em nível local ao efeito de transformação de energia na área urbana, influenciada por sua morfologia, pelas propriedades térmicas dos materiais das superfícies construídas e pela produção antropogênica de calor. Como resultado, há a redução das taxas de resfriamento evaporativo e convectivo, devido à cobertura sistemática do solo, à redução de áreas de vegetação, de infiltração e dos corpos d'água superficiais, bem como à redução da velocidade dos ventos, causada pelo aumento da rugosidade superficial.

O clima urbano tem demonstrado impacto direto na qualidade de vida da população e grande interesse de pesquisadores para os estudos da Camada Intra Urbana – Urban Canopy Layer¹ – a qual se estende do solo ao topo da cobertura das edificações. É importante ressaltar que as trocas de energia e as alterações no ambiente externo ocorrem através das superfícies dos edifícios e pelas suas emissões de calor, de forma que, a qualidade térmica do ar externo afeta a qualidade do interno.

Segundo Mills (2010), o impacto direto da forma urbana nos habitantes pode ser dividido entre impactos na temperatura e impactos na qualidade do ar. Para aqueles

¹ Oke (1987) define Urban Canopy Layer – Camada Intra Urbana – como o espaço aberto abaixo das coberturas dos edifícios e das copas das árvores, e a Urban Boundary Layer - Camada Limite da Atmosfera - como a camada de ar acima dos telhados de uma cidade. As trocas de energia ocorrem nestes espaços através da interação entre as superfícies dos materiais e o ar.

autores, é importante que os projetistas estejam atentos às consequências de desenho urbano, em relação às questões como conforto ambiental, saúde da população, produtividade e atratividade dos espaços construídos. Qualquer intervenção urbana deve considerar observações dos aspectos qualitativos, antes e depois, de modo que seja possível avaliar os benefícios de cada projeto para a coletividade. Planejadores e projetistas devem incorporar o conhecimento dos fenômenos climatológicos às técnicas tradicionais de concepção espacial. Os autores ainda revelam que o impacto das áreas urbanas na qualidade do ar tem sido largamente estudado em comparação com outros efeitos. Pesquisas acerca dos impactos da baixa qualidade do ar se baseiam em dados toxicológicos e epidemiológicos, tanto para identificar limites críticos quanto para apresentar alternativas de controle de poluição. Para regiões mais desenvolvidas, diversas estratégias são verificadas, tanto para se reduzir as emissões nas fontes poluentes como no transporte de material particulado pela atmosfera.

A qualidade do ambiente urbano depende dos materiais utilizados, da rugosidade das superfícies, da densidade construída, do tipo de vegetação, da permeabilidade do solo e do calor antropogênico, o qual é gerado por atividades humanas, como transporte e indústria. De tal forma, as alterações microclimáticas são consequências de intervenções físicas no espaço ou pelo seu uso específico, os quais podem interferir diretamente na saúde dos habitantes, nas condições de conforto ambiental e no consumo energético das edificações (DAVIS et al., 2008).

Souza & Oliveira (2008), por exemplo, analisaram o consumo de energia elétrica em relação às variáveis de ocupação urbana em Bauru, SP. Foram monitorados, além da temperatura rural, quarenta pontos de temperatura do ar distribuídos pela cidade ao nível do pedestre em dias de verão. Os resultados mostraram que baixos valores de Fator de Visão do Céu (FVC²) – portanto equivalendo a desenho urbano com edificações mais altas e vias mais estreitas, e propícios ao surgimento de bolsões de calor – estão associados aos maiores valores de consumo energético. Esse fato reforça a necessidade de se melhorar as condições de ventilação urbana e reduzir a amplitude térmica para cidades continentais de médio porte de clima tropical.

² Fator de Visão do Céu – FVC – é definido como a representação da fração disponível de céu disponível para a troca de calor a partir de um ponto de observação na malha urbana. O resfriamento das superfícies terrestres é proporcional à área de céu visível para um ponto nesta superfície, portanto, as trocas de radiação resultam dos limites impostos pelos elementos urbanos e suas interações com o meio. (SOUZA e OLIVEIRA, 2008); SOUZA et al., (2010) e OKE, (1981).

O adensamento urbano desordenado provoca alterações nos padrões de ventilação natural, dificulta a distribuição de ar para os edifícios e contribui para o maior uso de sistemas de ventilação artificial. O aumento do consumo energético com iluminação também pode ser decorrente do demasiado sombreamento provocado pelos elementos urbanos. No entanto, nem sempre o adensamento está associado à baixa qualidade ambiental urbana; em regiões áridas, por exemplo, o sombreamento e a concentração da umidade escassa podem favorecer as condições térmicas do ar.

Assis et al. (2007) apresentam uma experiência desenvolvida em três municípios do Estado de Minas Gerais, Paracatu, Cataguases e Sete Lagoas, para integrar os métodos da climatologia urbana com o macrozoneamento. Dados de temperatura, umidade e vento foram levantados em condições estáveis de tempo atmosférico, usando como referência à série de dados das estações meteorológicas locais, para avaliar a representatividade dos resultados. Foram gerados, a partir desse estudo, mapas temáticos com dados de topografia e ocupação, o que permitiu identificar diferenciações climáticas e os canais principais de vento. Os resultados apoiaram a determinação das áreas mais favoráveis ao adensamento construtivo, das áreas verdes a serem protegidas, ampliadas ou criadas e, também, para auxiliar a localização dos distritos industriais.

De acordo com Dacanal et al. (2008), os fundos de vale em áreas urbanas interferem no clima, e, quando vegetados, proporcionam a formação de microclima mais úmido e com temperaturas mais amenas. Quando são canalizados, têm sua vegetação natural suprimida, apresentam suas margens ocupadas com grande adensamento e deixam de favorecer a diminuição da temperatura do ar e à condução do ar fresco ao longo dos vales.

A topografia dos vales, onde os lagos urbanos normalmente se localizam, favorece a distribuição da ventilação natural dos espaços urbanos devido ao fato de concentrarem as massas de ar predominantes e criarem zonas de alta pressão mais úmidas e vegetadas nas suas redondezas. A vegetação ciliar, juntamente com o amplo espaço aberto, pode contribuir significativamente para o sombreamento, a amenização do calor, a melhoria da qualidade do ar e distribuição dos fluxos de vento para os centros urbanos.

Chandler (1965) estimava que a evaporação de uma área urbana vegetada, fartamente irrigada, seria grosseiramente três quartos da evaporação proveniente de superfícies de água. Na época de sua pesquisa, corpos d'água em Londres, em dias com

tempo estável, ofereciam índices maiores de umidade nas imediações. Isso ocorreu ao longo das margens do Rio Tâmsa, próximo a corpos d'água relativamente pequenos e até em locais com solos com grande capacidade de retenção de água.

Conforme a água retira calor latente do ar ocorre a evaporação, a qual tende a resfriar as superfícies ao seu redor. Por sua vez, o ar fica mais leve quando aquecido pelo contato com o solo e sobe para a atmosfera, onde é dissipado. Estes princípios fundamentam a hipótese de que a presença de massas d'água, em cidades com clima quente e seco, pode ser benéfica para o conforto dos habitantes. O grau de umidade do ar influi na amplitude da temperatura diária, de forma que quanto mais seco for o clima, mais acentuadas serão suas temperaturas extremas. Quanto mais úmido estiver o ar, maior será a quantidade de água em suspensão, com isso, além das partículas se aquecerem pela radiação, servem de barreira à irradiância global horizontal que atinge o solo e, à noite, ao calor dissipado pelo solo.

Diretrizes de planejamento urbano apresentadas por Monteiro & Mendonça (2011) para Londrina, norte do Estado do Paraná, destacam que o represamento de partes de alguns cursos hídricos, para a formação de lagos e espaços verdes, pode contribuir com a umidificação atmosférica e amenizar os efeitos da continentalidade climática regional.

Aspectos da influência do desenho urbano são estudados também por Mitchell (2007), em Melbourne, Austrália. Aqueles autores procuraram demonstrar o impacto da variação do ciclo hidrológico nas estratégias de armazenamento de água para uso na irrigação e para evaporação. Os resultados dessa pesquisa confirmam o potencial de se controlar passivamente o microclima urbano pelo desenho das áreas suburbanas, maximizando a evapotranspiração, tanto pelos espaços verdes como de tetos vegetados das construções. Os efeitos estimados através de simulações e os modelos experimentais de evapotranspiração estudados demonstraram um potencial de economia de energia para resfriamento de ar, em torno de 2% no verão. Esse estudo sugere que os investimentos na manutenção e na irrigação de áreas verdes na periferia podem retornar em benefícios, tanto da eficiência energética nos edifícios dos centros urbanos como na manutenção da qualidade do ar.

Diversas cidades incluíram lagos artificiais na área urbana planejada juntamente com parques e áreas de lazer protegidas, entre elas estão Brasília, Belo Horizonte, Curitiba (Brasil) e Canberra (Austrália). No entanto, nem sempre as condições

climáticas locais são levadas em consideração, ou pelo fato de não existirem informações meteorológicas suficientes e disponíveis, ou pela falta de domínio dos técnicos planejadores (MILLS et al., 2010).

Muitas vezes, o represamento ou mesmo a canalização de pequenos córregos em áreas urbanas consideram poucos parâmetros de impactos ambientais. É necessário considerar os parâmetros macro e mesoclimáticos de uma região, para propor intervenções com maior rigor e estimar os impactos positivos para a cidade. Nem sempre o incremento de umidade do ar no ambiente urbano é benéfico para a qualidade do ar. Para o clima predominantemente quente e úmido em uma determinada cidade, por exemplo, a presença de um grande corpo d'água pode aumentar ainda mais a sensação de desconforto higrotérmico dos habitantes.

Portanto, se faz necessária a inclusão de critérios mais abrangentes do ponto de vista técnico para o planejamento urbano, de forma que as condições climáticas e os aspectos naturais e construídos possam interagir para possibilitar maior qualidade de vida nas cidades.

2.1. Balanço de Energia e Evapotranspiração

Assis (2006), Oke (1987), Gartland (2010) e Weber e Kuttler (2005) atribuem aos processos de evaporação da água promovidos pela vegetação, pelos corpos d'água e pelas áreas periféricas urbanas, a responsabilidade principal pelos fluxos de calor latente no ambiente. A compreensão do comportamento da umidade é de fundamental importância para melhor quantificar e analisar o balanço de energia no ambiente urbano. Geralmente as áreas naturais, agrícolas ou periféricas tendem a perder mais calor por meio do resfriamento evaporativo, o que afeta a variação local de temperatura do ar e umidade.

Vários autores têm explorado a equação de balanço de energia no ambiente urbano, entre eles Grimmond & Oke (1999), Gartland (2010), Krüger & Pearlmutter (2008), Pearlmutter et al. (2007). A equação de balanço de energia explica genericamente como a energia é transferida para a superfície terrestre. O conceito baseia-se na primeira lei da termodinâmica, que diz que a energia nunca é perdida. Isso significa que toda a energia absorvida pela Terra, tanto a de origem solar quanto

antropogênica, ou aquece o ar acima das superfícies, ou é armazenada nos materiais, ou é usada para evaporar a água.

De maneira simplificada a equação pode ser escrita pela seguinte equação:

$$Q^* + QF = QH + QE + \Delta QS + \Delta QA$$

Onde:

Q^* radiação líquida

QF calor antropogênico,

QH calor sensível,

QE calor latente

ΔQS fluxo de calor armazenado pela malha urbana

ΔQA Variação da circulação convectiva horizontal (advecção)

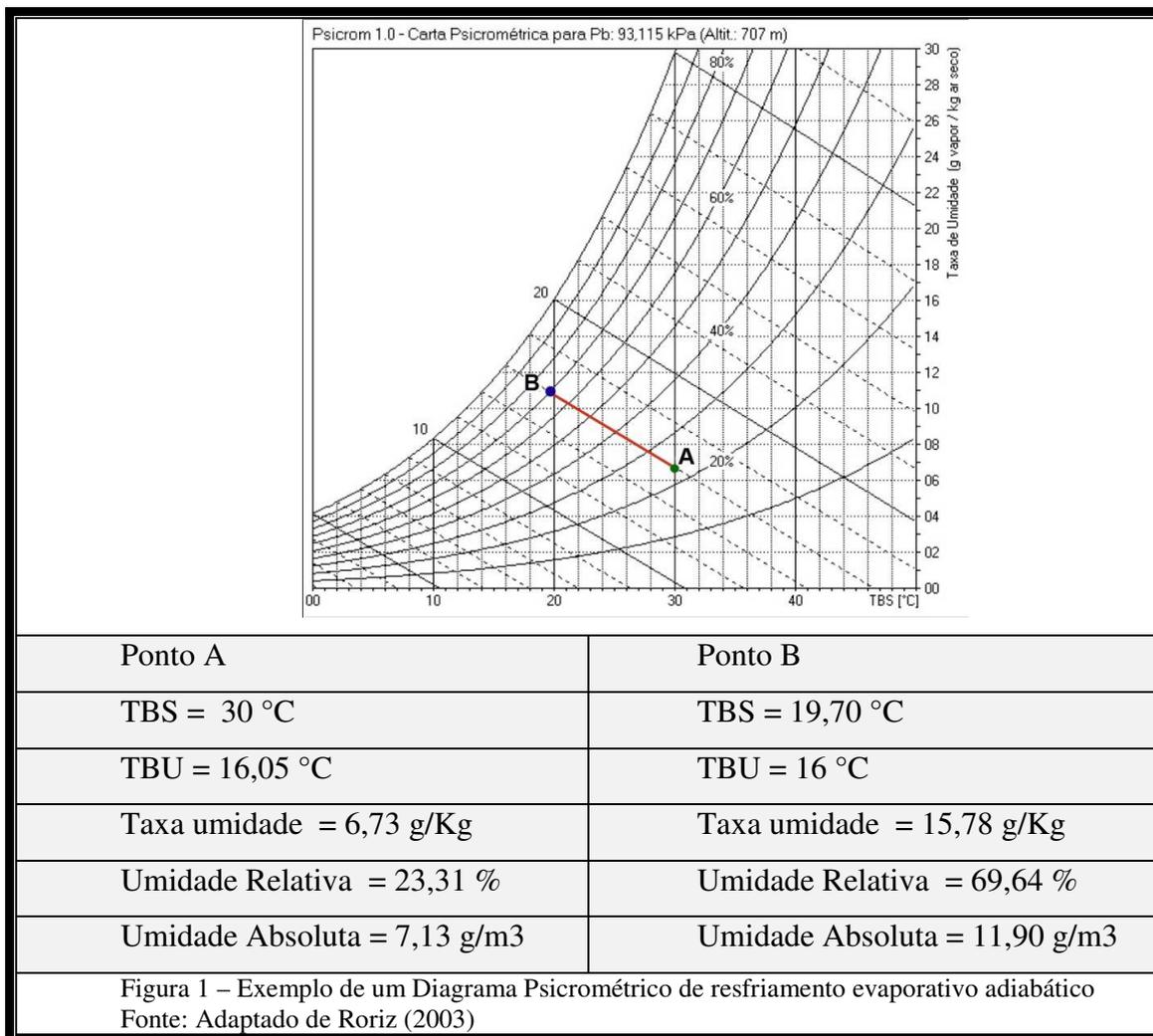
Assim, a convecção é um fenômeno físico, que decorre da propagação de calor, através da diferença de densidade de um fluido submetido a um gradiente de temperatura. Para ambientes urbanos este fenômeno ocorre da superfície terrestre para o ar acima dela. O fenômeno é influenciado pela intensidade do vento, pela rugosidade das superfícies e pela diferença de temperatura entre os meios sólido (solo), líquido (corpo d'água) ou gasoso (ar atmosférico urbano).

O aquecimento proporcionado pela energia solar ou por outras fontes transforma a água presente nas superfícies em vapor, desta forma, a evaporação da água umidifica a atmosfera e se espalha pelo entorno. As trocas de calor na atmosfera ocorrem, tanto no sentido vertical – convecção - como no sentido horizontal – advecção.

O princípio básico de resfriamento evaporativo direto consiste em disponibilizar corpos d'água em ambientes urbanos para facilitar sua evaporação mediante o contato com o ar disponível. O vento e a irradiância global horizontal são os principais fatores que fornecem energia para que o processo de evaporação ocorra. Assim, o ar cede calor sensível às gotículas de água, as quais passam do estado líquido para o gasoso. O processo de evaporação da água contribui para diminuir a temperatura do ar e aumentar sua umidade.

O efeito de resfriamento evaporativo adiabático direto do ar consegue reduzir a temperatura de bulbo seco até, no máximo a temperatura de bulbo úmido. A Figura 1 apresenta um exemplo de um processo de resfriamento evaporativo, no qual nota-se um

incremento da taxa de umidade do ponto A para o ponto B e uma redução significativa de temperatura de bulbo seco.



A pressão de vapor é uma variável que mede a tendência de evaporação de um líquido, ou seja, quanto maior for sua pressão de vapor, menor será a temperatura de ebulição. A tendência é a de que o líquido vaporize até que o equilíbrio termodinâmico seja estabelecido. Desta forma, o equilíbrio termodinâmico é alcançado, quando a taxa de água evaporada é igual à taxa de vapor condensado. Este conceito está diretamente relacionado com a variação da temperatura.

O calor latente é a quantidade de calor necessária para se variar o estado físico de um corpo sem variar sua temperatura. Segundo Oke (1987), uma importante propriedade da água é a sua alta capacidade de armazenar calor, a qual faz dela um importante elemento urbano para preservar a estabilidade da temperatura.

Kuttler et al. (2007) analisaram as diferenças de umidade entre um ambiente rural e urbano na cidade de Krefeld, na Alemanha. A variação das taxas de pressão de

vapor da água foi monitorada, durante um ano, em ambos os locais a cada hora. O estudo concluiu que o ambiente urbano é, em geral, mais úmido que o ambiente rural devido às características que a cidade apresenta. As diferenças podem ser atribuídas ao fato da área urbana ter menos superfícies de evaporação do que a área rural. A baixa densidade construída na cidade, a grande quantidade e distribuição de espaços verdes e a ausência de áreas industriais possibilitam efeitos climáticos mais estáveis e amenos, quando comparados com cidades com superfícies altamente impermeabilizadas.

Muitos métodos têm sido propostos para se estimar a evaporação em superfícies de água expostas às condições atmosféricas, principalmente para a aplicação na produção agrícola. Um dos mais utilizados para se estimar a evaporação potencial é o método de Penman (1948). Segundo Oliveira (2009), a equação de Penman recebeu diversas modificações e simplificações, apresentando bons resultados para as condições climáticas do Estado de São Paulo.

A equação desenvolvida por Penman (1948), na Inglaterra, é aplicada até hoje e descreve a evaporação de uma superfície de água livremente exposta à atmosfera. As condições atmosféricas, segundo Oliveira (2009), são os principais fatores que determinam a evaporação de uma superfície, sendo assim, são necessários dados médios diários de temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar, e irradiância global horizontal. Outros parâmetros também podem estar relacionados, como a geometria do lago, o grau de pureza da água, a profundidade do corpo d'água, a estratificação térmica da água, de maneira que coeficientes empíricos são aplicados para ajustes finais.

A equação proposta por Penman (1948) é descrita por:

$$E_L = \frac{0,408 \left(\frac{s}{\gamma} \right) R_n + E_a}{\left(\frac{s}{\gamma} \right) + 1}$$

Onde:

E_L - Evaporação da superfície de água livremente exposta à atmosfera (mm/dia)

R_n - Saldo diário de radiação medido sobre a superfícies de água livre ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{dia}$)

s - Coeficiente angular da curva de saturação de vapor ($\text{kPa}/^\circ\text{C}$)

γ - Coeficiente psicrométrico (kPa/°C)

E_a - Poder evaporante da superfície (mm/dia)

Grimmond & Oke (1999) estabeleceram que a relação entre o balanço de energia e a água no ambiente urbano, para escalas micrometeorológicas, pode ser representado matematicamente por:

$$P + I + F = ET + R + S + A \text{ [mm/h], onde:}$$

P - é a precipitação

I - é o suprimento de água encanada

F - é a água liberada devido a atividades humanas

R - runoff, água infiltrada no solo

S - a variação do armazenamento de água no período de interesse

A - a advecção de umidade da área

Os modelos de estudos sobre o ciclo da água, tanto no ambiente rural quanto no ambiente urbano, priorizam principalmente o suprimento necessário para irrigação da agricultura ou o abastecimento de áreas urbanas. Grimmond & Oke (1999) estimam que as perdas de água por evapotranspiração giram entre 40% e 80% nos balanços anuais de verão para cidades da América do Norte, sendo que poucos estudos são encontrados em outras localidades. Desta forma, os estudos sobre as influências da evapotranspiração no microclima e no balanço de energia em áreas urbanas ainda são escassos.

De acordo com Oke (1987), Givoni (1998) e Chandler (1976) os principais fatores que contribuem para a formação do clima urbano são: a localização da cidade dentro da região; a área ocupada pela malha urbana; a densidade da área construída; a cobertura do solo; a altura dos edifícios; a orientação e largura das ruas; a divisão dos lotes; a existência de parques e áreas verdes; e, detalhes especiais no desenho dos edifícios. O aumento da ocupação e da rugosidade da superfície urbana altera os escoamentos do vento e eleva a camada limite atmosférica sobre a cidade, reduzindo sua velocidade próxima à superfície.

Oke (1987) demonstrou que a geometria urbana e as propriedades térmicas das superfícies que compõem um ambiente têm mais influência na magnitude e na configuração de uma ilha de calor do que o vento ou a densidade da população. O autor apresenta modelos que relacionam a intensidade da ilha de calor com o Fator de Visão do Céu ou com a relação entre altura e largura dos cânions urbanos.

Os espaços urbanos externos e internos se relacionam nestas camadas através do contato do ar com as superfícies. Ambos os espaços estão conectados à Camada Limite da Atmosfera, pelo intercâmbio da energia recebida entre os materiais e a interface das coberturas com a atmosfera. Os modelos da ilha de calor urbano propostos por Oke (1987), em meso, local e microescala, consideram a escala tridimensional do clima e fazem diferenciação entre duas camadas distintas, cujas características são determinadas pela presença da malha urbana (Figura 2).

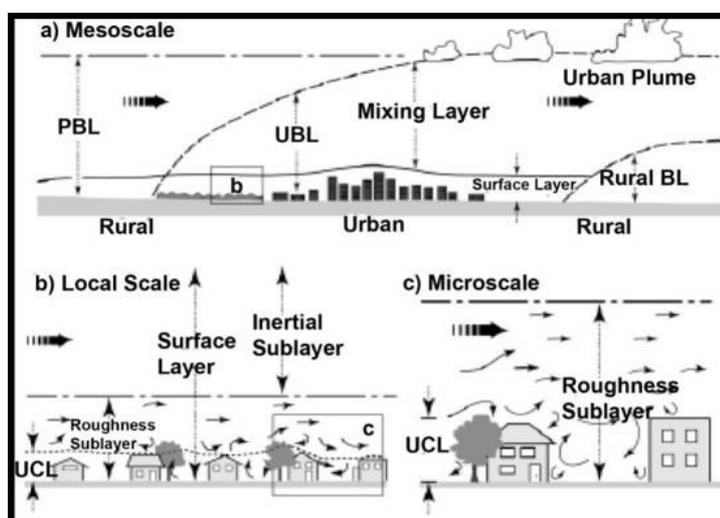


Figura 2 – Modelo clima urbano em escala meso, local e micro
 Fonte: adaptado de Oke (1987)

A zona de ocupação humana e o seu gerenciamento consistem no coração do sistema climático urbano, o qual, dependendo das características do espaço construído e natural, deverá regular sua contribuição para o desenvolvimento da Camada Limite da Atmosfera. É importante ressaltar, que cidades situadas em vales de rios, áreas costeiras ou próximas a montanhas podem ter os efeitos das emissões urbanas amenizados pelas brisas características, o que dilui mais facilmente os poluentes atmosféricos. Além disso, as características macroclimáticas podem ressaltar ou amenizar o efeito urbano, dependendo de sua localização geográfica (MILLS et al., 2010).

Na Figura 3 é apresentada uma imagem que evidencia a evaporação do corpo d'água pela manhã, em um período com céu claro, atmosfera estável e ventos fracos. O

fenômeno foi registrado pelo autor em um lago em área rural em 28 de Junho de 2011 no interior do Estado de São Paulo. O fenômeno está associado à evaporação da água pelo resfriamento decorrente do contato com o ar atmosférico frio, o qual pode caracterizar um período com baixa pressão de vapor.



Figura 3 – Represa no Interior de SP
Autor: Érico Masiero

Embora o aquecimento global seja uma questão altamente controversa entre os pesquisadores, as alterações de balanço de energia que ocorrem em nível local têm sido muito observadas e documentadas. Foi demonstrado, por exemplo, que as diferenças de temperaturas entre áreas rurais e urbanas são extremamente variáveis, por dependerem de diversos fatores. Em geral, essa diferença em centros urbanos se situa em torno de 1 a 3°C acima das áreas rurais. Porém, em determinados locais, com atmosfera calma e durante a noite, esta diferença pode chegar até a 10°C (GRIMMOND, 2007). No entanto, centros urbanos localizados em regiões quentes e secas podem apresentar temperaturas mais amenas que a zona rural, desde que disponham de recursos espaciais, como parques fartamente arborizados e água em abundância.

2.2. Comportamento Térmico dos Materiais

Duas propriedades dos materiais tendem a ressaltar o efeito do acúmulo do calor e a redução dos índices de evaporação em áreas urbanas, são elas, a condutividade térmica e a capacidade térmica. Segundo Gartland (2010), as ilhas de calor são

consequências de dois principais fatores. O primeiro, os materiais utilizados nas construções armazenam calor em excesso por serem escuros, densos e impermeáveis como concreto. O segundo fator se refere aos baixos índices de evapotranspiração no ambiente urbano por possuir pouca vegetação e muitas superfícies que não retêm água. Para combater os efeitos maléficos de ilhas de calor é necessário utilizar materiais mais permeáveis que retenham água e calor e os liberem mais lentamente.

A difusividade térmica indica a facilidade para o calor penetrar no material e está relacionada com a condutividade térmica e com a capacidade térmica, características de cada material. Portanto, muitos dos materiais utilizados no ambiente construído tendem a armazenar o calor durante o dia e liberá-lo durante a noite. Este efeito pode impactar na magnitude das ilhas de calor nos centros urbanos.

O albedo dos materiais é um importante parâmetro para a compreensão do balanço de radiação e energia das superfícies das áreas urbanas. Pode ser definido como a quantidade de radiação refletida por uma superfície de maneira difusa ou direta. Depende principalmente da incidência dos raios solares, da cor e da composição do material. Ou seja, quanto maior a reflexão, menor será o calor acumulado pelo material.

A aplicação de materiais de alto albedo no ambiente urbano reduz a quantidade de radiação absorvida pelas superfícies de edifícios e pela estrutura urbana, mantendo suas superfícies mais frias. Materiais com alta emissividade e alta emitância de radiação de onda longa liberam rapidamente a energia absorvida de radiação de onda curta.

Leivas et al. (2007) avaliaram as variações diurnas e diárias do albedo sobre um corpo d'água e uma área de vegetação nativa, na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, em Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul, nos meses de abril e maio de 2006. Dois piranômetros voltados para as duas superfícies e conectados a um *datalogger* foram instalados a 1m da superfície para realizar as medições da irradiância global horizontal e radiação refletida pelas superfícies. Após a análise da consistência dos dados foi determinado o albedo instantâneo das superfícies, a partir da razão entre os valores da radiação refletida e da radiação incidente.

Na tabela abaixo, Figura 4, são apresentados os valores médios obtidos entre às 9:00h e 15:00h.

Superfície	Condição	Valor médio - Albedo (entre 9:00 e 15:00 h)
Corpo d'água	s/ nebulosidade	0,124
Vegetação	s/ nebulosidade	0,226

Figura 4 - Albedo água e vegetação
Fonte: adaptado de Leivas (2007)

Observou-se, num dia sem presença de nebulosidade, a associação entre o fluxo de irradiância global horizontal e o ângulo de elevação solar. O fluxo é menor no início da manhã e final da tarde, quando o ângulo de elevação solar é menor e atinge os maiores valores próximos ao meio dia. No período compreendido entre 10 e 15h, o fluxo de irradiância global horizontal ficou entre 500 e 600 W/m². O piranômetro voltado para a superfície vegetada registrou maior reflexão da radiação do que a superfície d'água. Isto ocorre devido às propriedades espectrais dos dois corpos: a água tem maior capacidade de absorção e transmissão de radiação e, conseqüentemente, reflete menos radiação. O albedo é maior no início da manhã e final da tarde. Nos horários próximos ao meio dia, os raios solares incidem perpendicularmente à superfície, maior quantidade de energia penetra e é absorvida, ocorrendo menor reflexão, logo o albedo é menor.

2.3. Ventilação e Rugosidade Urbana

A orientação das áreas edificadas, a presença de vegetação, do relevo e da rugosidade das superfícies influenciam a direção e a intensidade dos ventos em uma área urbana. Em geral a velocidade média dos ventos é mais baixa em áreas abertas ou rurais, pois os cânions urbanos podem concentrar os fluxos de ventos de uma área densamente ocupada.

O fluxo natural dos ventos dominantes pode ser aproveitado para favorecer o contato do corpo d'água com o ar e assim, reduzir sua temperatura e elevar as taxas de umidade do entorno. Estas áreas podem contribuir significativamente para melhorar as condições de conforto higrotérmico de cidades em períodos com clima quente e seco predominantemente.

De acordo com Mills et al. (2010), os padrões de fluxos de ar na Camada Intra Urbana são altamente turbulentos e difíceis de caracterizar, devido à alta complexidade do espaço construído e à variação da rugosidade do tecido urbano. Os fluxos de ar são

distribuídos pelos espaços abertos através da Camada Intra Urbana. Esta, por sua vez, é altamente influenciada, tanto pelas características do tecido urbano quanto pelas camadas atmosféricas mais elevadas. Desta maneira, a Camada Intra Urbana desempenha importante papel na regulação da ventilação natural dos edifícios e dos espaços externos, contribuindo para a qualidade térmica do ar e do conforto ambiental humano. Em climas áridos, onde há muito material particulado em suspensão no ar, por exemplo, as configurações urbanas podem ser importantes para criar áreas de depósito que minimizem a penetração de poeira e poluição na área urbana.

Embora a orientação da rua determine a quantidade de radiação recebida pelas superfícies do cânion, estudos realizados por Santamouris (2001) em Atenas demonstrou que a temperatura do ar no meio do cânion não é influenciada pela orientação da rua, nem no período diurno nem no noturno, mas sim controlada pelo processo de circulação dos fluxos de ar. A orientação da rua tem grande influência na temperatura das superfícies dos cânions e na temperatura do ar junto às superfícies externas dos edifícios, isto confirma que a capacidade de resfriamento das superfícies urbanas esta relacionada à obstrução do seu horizonte.

No caso de Brasília, nas áreas excessivamente sombreadas, Bustos Romero (2009) relata que o resfriamento decorre por canalizações de ventos, o que pode gerar efeitos termodinâmicos provocados por diferenças de temperatura, portanto interferindo na ventilação local. Nos espaços excessivamente expostos, cujo material superficial é impermeável, as trocas térmicas de calor latente são menores, reduzindo assim, a perda de calor por evapotranspiração. A correlação entre as áreas impermeáveis e a temperatura foi positiva, ou seja, quanto maior a área exposta, maiores foram as temperaturas registradas.

Carvalho et al. (2007), através de experimentos em túnel aerodinâmico de Camada Limite da Atmosférica e de medições de variáveis microclimáticas em João Pessoa-PB, constataram que a correlação entre a forma urbana e a variação da temperatura do ar depende das condições de ventilação intra urbana e da orientação da malha urbana, da rugosidade e da permeabilidade do espaço construído. O experimento foi realizado na área da Orla Marítima em direção ao interior. O gabarito edificado desta área é escalonado, iniciando-se a 12,90m na primeira linha de lotes, à beira-mar, alcançando aproximadamente 35m na última. Concluíram que o aumento da temperatura não está diretamente relacionado ao aumento da densidade construída e, em

certos casos, o sombreamento e o aumento da aceleração dos ventos provocado pelos cânions pode até contribuir para a redução da temperatura. No caso de cidades em climas litorâneos e de baixa latitude, recomenda-se uma ocupação urbana que proporcione ambientes com uma menor quantidade de horas de exposição ao sol e ventilação abundante, com velocidades dentro dos limites de conforto e segurança aos pedestres.

Os experimentos indicaram que a velocidade do vento tende a reduzir à medida que se adentra ao continente e relata o efeito negativo do escalonamento do gabarito em altura dos edifícios proposto pela lei de zoneamento da cidade.

2.4. Vegetação Urbana

Os benefícios da vegetação no espaço urbano são inúmeros, tais como a melhoria dos índices de conforto, a retirada do dióxido de carbono do ar, a redução da poluição, o controle do ciclo hidrológico, a redução de inundações e melhoria do ambiente sonoro. Funcionam inclusive como barreiras eficientes de proteção contra o vento e contra a radiação. As árvores e vegetação absorvem água pelas suas raízes e emitem vapor d'água através de suas folhas. Este processo chamado de evapotranspiração, retira o calor do ar para evaporar a água. Uma árvore de grande porte, bem irrigada, pode processar até 400 litros de água e retirar 910 kBTU, de calor por dia de verão (GARTLAND, 2010).

Givoni (1998) e Gartland (2010) relatam que, em climas secos, a umidade proporcionada pela vegetação pode ser bem vinda, porém, em climas mais úmidos, esse incremento nas taxas de umidade pode não trazer benefícios. Gartland (2010) ainda ressalta a carência de estudos para avaliar os prós e contras da redução da temperatura em troca do aumento da umidade. Apesar do efeito da evapotranspiração ainda gerar dúvidas quanto a sua eficácia para a umidificação e amenização do calor de ambientes abertos, como demonstra Modna (2004), o tema é recorrente na literatura científica especializada e, além de apresentar uma relevância expressiva no estudo de ambiência urbana, desperta ainda a necessidade de estudos mais aprofundados.

Além dos corpos d'água, a vegetação também é um elemento que pode interferir significativamente na quantidade de água no ar de seu entorno. No entanto, as pesquisas que relacionam o conforto ambiental urbano à arborização abordam, majoritariamente,

os efeitos provocados pelo sombreamento, conforme os estudos de Lin et al. (2010), Gómez-Muñoz et al. (2010) e Abreu et al. (2012). Ou ainda, abordam o balanço de energia e a melhoria da qualidade do ar pela absorção de CO₂, como verificado por Kuttler et al. (2007) e Weber & Kuttler (2005).

Abreu & Labaki (2011) avaliaram os efeitos de diferentes espécies arbóreas na redução da temperatura do ar em diferentes distâncias em relação ao tronco. A temperatura do ar foi coletada em diferentes raios – 2,5m, 10m, 25m e 50m – e também, em dois períodos diferentes – inverno e verão –, durante os anos de 2007 a 2010, na cidade de Campinas – SP. Nas duas estações, a maioria das espécies analisadas exerceu uma grande influência na mitigação da temperatura do ar, em um raio de até 10m. Espécies maiores como Ypê Amarelo e Sibipiruna, segundo as autoras, chegam a influenciar o microclima em um raio de até 25m. O estudo concentrou as avaliações nos efeitos do sombreamento provocado pelas distintas formas e densidades das folhagens das copas e não abrangendo o incremento da umidade proporcionado pelas espécies para a formação de microclimas urbanos.

Shashua-Bar et al. (2000), em estudos realizados na cidade de Tel-Aviv, Israel, pesquisaram o efeito do resfriamento de pequenos sítios urbanos arborizados com diversas configurações geométricas no verão. A pesquisa monitorou onze diferentes locais arborizados entre Julho e Agosto de 1996 sob atmosfera calma, céu limpo e índices reduzidos de umidade diurna, onde os efeitos do clima urbano são mais evidentes. Um modelo empírico foi desenvolvido para prever e comparar os efeitos do resfriamento sob o dossel arbóreo e em áreas adjacentes não vegetadas. Os efeitos do arrefecimento da vegetação registrado foram relativamente baixos, em torno de 0,5K abaixo das temperaturas registradas nas áreas adjacentes ao longo do dia. Ao meio dia os valores observados foram de aproximadamente 3K. Os resultados informam que os efeitos da área vegetada influenciaram um raio de 100m e se ramificam pelas ruas do entorno.

Tsiros (2010) analisou o efeito do arrefecimento passivo do sombreamento arbóreo em diversas ruas de Atenas, Grécia, e relata que os valores podem variar ao longo do dia, sendo que a maior influência ocorreu no final da tarde, às 17:00hs, registrando redução de no máximo 2,2°C. A autora considera um potencial relativamente baixo para impactar consideravelmente no consumo de energia com

condicionamento térmico de ambientes internos, especialmente sob condições de calor extremo daquela localidade.

Shinzato & Duarte (2011) também analisaram os efeitos da vegetação nas condições microclimáticas urbanas em São Paulo. Foram utilizados para aquele estudo modelos de balanço de energia e ferramentas computacionais, a fim de investigar o efeito da distribuição de áreas verdes em diversas configurações espaciais, ou seja, distribuída linearmente, em grandes e concentrados maciços de vegetação ou pequenos agrupamentos distribuídos em diferentes distâncias. Por meio das medições de campo, pode-se quantificar a importância da vegetação nos aspectos climáticos. Os resultados mostraram que o efeito da vegetação é local e não ocorre uma influência significativa muito além dos limites das áreas verdes. A diferença média registrada entre as temperaturas do ar nas áreas verdes arborizadas e as ruas adjacentes foi de 1,4°C.

Os efeitos da vegetação na atenuação das temperaturas são, em parte, decorrentes do sombreamento e, em parte, da umidade fornecida pela evapotranspiração da área foliar das espécies. Durante o processo de fotossíntese, a evapotranspiração contribui para aumentar a umidade e amenizar a temperatura do ar externo do seu entorno. De acordo com Taiz & Zeiger (2002), ambientes com temperaturas elevadas do ar ou com baixa umidade do solo podem submeter a vegetação à condições de estresse térmico e comprometer seu balanço hídrico. Tais condições ambientais acionam mecanismos fisiológicos das plantas para reduzir a perda de água e evitar a dessecação. Em suma, o fechamento gradativo dos estômatos das folhas faz com que a vegetação deixe de contribuir com o incremento de umidade do ar em seu entorno e o efeito de arrefecimento se dará apenas pelo bloqueio da irradiância global horizontal. Outros fatores que também podem influenciar a abertura dos estômatos estão relacionados à disponibilidade de luz e a variação da velocidade do vento. Portanto, dependendo das condições ambientais e das características das espécies empregadas no planejamento urbano, nem sempre a vegetação será eficiente na manutenção da temperatura do ar externo através da umidificação.

As massas de vegetação podem inclusive reduzir a velocidade do vento em determinadas áreas da cidade ao nível do pedestre e não contribuir para o espalhamento dos fluxos de ar. Além disso, a promoção de sombras nem sempre ser benéfica, pois podem contribuir para reduzir demasiadamente a iluminação de ambientes externos e influenciar negativamente na iluminação de ambientes internos. É necessário que os

critérios de escolha das espécies mais adequadas para cada caso de inserção em áreas urbanas considerem inclusive os fatores climáticos predominantes.

Estes fatos evidenciam que a inserção de vegetação urbana pode ser mais complexa do que se imaginava. Assim, seu uso para a criação de microclimas pode não provocar o efeito desejado no ambiente, corroborando a necessidade de se pesquisar alternativas para o controle mais eficiente. É necessário que se busquem informações mais detalhadas inclusive a respeito de sua adaptabilidade às condições climáticas. É importante que se conheça detalhadamente a influência da umidade e os efeitos microclimáticos propiciados, tanto por vegetação quanto por corpos d'água.

2.5. Estudos das Influências dos Corpos d'água no Ambiente Urbano

Diversos estudos sobre climatologia urbana nas últimas décadas, no Brasil e no exterior, têm considerado a influência das massas d'água em escalas meso e microclimática, tanto em áreas litorâneas quanto em áreas continentais. Os estudos abordam, principalmente, a influência do regime de evapotranspiração na alteração sobre o meio e nas condições de conforto humano. No entanto, ainda se percebe a necessidade de se caracterizar sistematicamente os estudos em diferentes condições geográficas do mundo.

Changnon (1980) abordou em escala mesoclimática a influência do Lago Michigan na precipitação das áreas rurais e urbana de Chicago, nos Estados Unidos. O estudo dos dados das estações climatológicas da área central de Chicago revelou uma precipitação 17% maior que as áreas adjacentes, como em Saint Louis, no verão e na primavera entre os anos de 1931 e 1976. Este estudo sugere que as características da área urbana de Chicago podem influenciar significativamente no regime anual de chuvas da região.

Limberger (2007) procurou traçar uma relação em escala mesoclimática entre a presença do lago artificial da Usina Hidrelétrica Itaipu na região oeste do estado do Paraná e suas influências no clima local. No reservatório de Itaipu houve o armazenamento de 29 bilhões de metros cúbicos de água, inundando um total de 1.350 km² de área, atingindo 15 municípios no oeste do Paraná, e um no estado do Mato Grosso do Sul, ocasionando uma grande alteração na paisagem. No entanto, não foi

verificada uma relação direta entre a variabilidade climática da região e a formação do reservatório de Itaipu. As alterações registradas nos padrões climáticos pela pesquisa podem não estar associadas a tal intervenção antrópica. Foram registradas alterações em termos regionais nos parâmetros analisados, inclusive de acordo com resultados e coerentes com pesquisas semelhantes internacionais. Analisa-se, portanto, que as ações antrópicas sobre o meio podem causar alterações nas características climáticas, mas não se pode atribuir às mudanças sentidas na região somente ao lago de Itaipu. Deve-se somar a elas o desmatamento, o desenvolvimento das cidades e a atividade agrícola.

Johansson & Emmanuel (2006) examinaram a influência da brisa marítima e da morfologia urbana no microclima de Colombo, Sri Lanka. Foram medidas as temperaturas do ar, das superfícies, da umidade e da velocidade do vento em uma área rural e cinco áreas urbanas, durante a estação mais quente. As áreas urbanas escolhidas para o monitoramento se diferem pela relação entre altura e largura dos cânions, pela cobertura do solo e pela distância do mar.

A diferença máxima intraurbana registrada foi de 7K em dias com céu claro e atmosfera estável. As temperaturas máximas tendem a diminuir com o aumento entre a relação de altura e largura dos cânions urbanos e nas proximidades do mar. Foram detectadas ilhas de calor noturno em todas as áreas urbanas mesmo com o céu parcialmente nublado. A diferença de temperatura do ar entre as superfícies urbanas expostas ao sol e sombreadas atingiram 20K, o que mostra a importância do sombreamento para se reduzir a radiação de onda longa das superfícies. Os valores de pressão de vapor ficaram acima de 30hPa e mostraram uma pequena variação diurna. A velocidade do vento ficou abaixo de 2m/s e tende a diminuir com o aumento da densidade construída. Entre as recomendações deste estudo, se destacam o sombreamento como principal estratégia para diminuir as temperaturas do ar e radiante, o que também pode ser atingido por cânions mais profundos e passarelas cobertas. É importante ressaltar a sugestão para abrir os corredores de vento perpendiculares ao mar, o que facilitaria a penetração mais profunda da brisa marítima no continente.

Xu et al. (2010), em escala microclimática, avaliaram a influência do corpo d'água sobre a área projetada dos Jardins da Exposição Mundial em Shangai. Os resultados desta pesquisa apontam que os corpos d'águas realmente influenciam as condições de conforto humano nos arredores. O estudo também aponta para a necessidade de estudos científicos oferecerem subsídios técnicos para intervenções

urbanas em áreas litorâneas e margens de rios e lagos. Os autores relatam que superfícies de corpos d'água no ambiente urbano podem afetar significativamente as condições de conforto dos pedestres durante dias quentes nos meses de verão.

Hathway & Sharples (2012), em um estudo conduzido em Sheffield, na Inglaterra, relatam que a variação sazonal da temperatura da água do Rio Don influencia na variação da temperatura de suas margens, de acordo com a incidência da irradiância global horizontal, com a velocidade do vento, com a distribuição da umidade e com a forma de ocupação urbana das margens deste rio. Assim, os níveis de resfriamento de seu entorno podem chegar a 1,5°C, durante a primavera, em relação a uma área distante da influência da umidade do rio, e, durante o verão, esta diferença se torna menor, devido ao aumento da temperatura da água.

Segundo Jauregui (1991), em estudos conduzidos na área Nordeste da Cidade do México ao longo da implantação do Projeto Texcoco no final da década de 70, demonstrou-se que o incremento na vegetação rasteira em uma área de aproximadamente 8.200 ha, juntamente com 500 ha de represamento de corpos d'água para a formação de parques e extração de sal, ocasionou um aumento de 130.000m³/dia de umidade na região. A combinação entre a evapotranspiração da vegetação e a ação do vento proveniente de leste sobre os corpos d'água afetou positivamente o ambiente urbano, de tal forma que reduziu a intensidade das tempestades de poeira provenientes desta direção e amenizou as ondas de calor do período seco durante o dia.

Barbirato et al. (2001) têm estudado os fenômenos relativos à influência da forma urbana na sensação de conforto térmico, utilizando especificamente a cidade de Maceió como objeto de análise. Segundo os autores, a presença de massas d'água constitui um aspecto relevante no comportamento climático de áreas urbanas. Assim, com o objetivo de analisar a influência da Lagoa Mundaú e do Oceano Atlântico na região de restinga da cidade de Maceió, foram realizadas medições móveis de elementos climáticos em três pontos inseridos no traçado de uma seção transversal da área. Foram constatadas diferenças de temperatura do ar de até 2,2°C entre o ponto à margem costeira e o localizado a 1,5km da margem e menor variação da umidade relativa do ar nos pontos de maior proximidade com as massas d'água. Observou-se, sobretudo, uma tendência de estabilização das temperaturas de todos os pontos após o pôr do sol, mostrando, possivelmente, uma tendência diferenciada e peculiar do efeito de ilha de

calor urbana em alguns recintos específicos de sistemas climáticos tropicais, de baixa latitude, proximidade costeira e sob influência de brisas marítimas.

Os resultados obtidos no trabalho em campo confirmaram o efeito climático diferenciado entre os pontos estudados, de acordo com a maior ou menor proximidade com as massas d'água e seu efeito termorregulador, reduzindo as amplitudes térmicas diárias. Foram previstos, para a continuação da pesquisa, transectos em diferentes lugares da cidade de Maceió, já que esse método permite a obtenção de um maior número de observações que os sistemas de medidas habituais nas observações fixas convencionais.

No ano seguinte Barbirato et al., (2002), identificaram o grau de atuação da forma urbana nas modificações climáticas da cidade de Maceió a partir do estabelecimento de cinco transectos, totalizando 15 pontos de medições móveis, com o objetivo de identificar diferentes perfis térmicos na malha urbana e os principais fatores de influência no microclima urbano. Observaram que a proximidade de grandes massas d'águas – lagoa e mar - provoca temperaturas mais elevadas durante o início da manhã e temperaturas mais baixas durante o período vespertino e noturno, ocasionando, desta forma, menor amplitude térmica nos recintos que os margeiam. Os pontos de cota topográfica mais elevada apresentam maiores variações de temperaturas diárias.

Os resultados obtidos pela pesquisa de Barbirato et al., (2002) evidenciam que as grandes massas d'água, o sombreamento propiciado pela vegetação e pelas próprias massas edificadas, além do efeito de canalização da ventilação resultante da configuração das edificações no espaço urbano, causam efeito amenizador nos índices de temperatura. As menores amplitudes térmicas no ambiente urbano foram detectadas próximas as grandes massas d'água, ou seja, entre o mar e a lagoa.

Duarte (2000) propôs estabelecer um índice relacionando a massa edificada com a área de arborização e superfícies d'água para cidades de clima tropical continental. Após medições em campo realizadas na cidade Cuiabá, região Centro Oeste do Brasil, este índice pode ser usado para ajustar a proporção recomendada entre os espaços construídos e os elementos naturais em cidades existentes ou para o planejamento de novas áreas de ocupação. As variáveis definidas para o trabalho desenvolvido por Duarte (2000) foram a taxa de ocupação, o coeficiente de aproveitamento do solo, a área de espelho dos corpos d'água e a área de projeção horizontal das copas das árvores. Pelos resultados obtidos, as temperaturas médias mais elevadas registradas durante os

estudos estão nas áreas com maiores coeficientes de aproveitamento, e as temperaturas médias mais baixas foram registradas justamente na área com maior área de corpo d'água e menor ocupação do solo urbano. A pesquisa conclui que cada bairro deve ter uma parcela de área verde e superfícies d'água para criar no seu entorno condições de conforto higrotérmico e de qualidade do ar mais adequados. Os parques urbanos também podem atuar como elementos de ligação entre bairros, compartilhando equipamentos e serviços (DUARTE, 2000).

De acordo com Alvarez Domingues (1992), apesar da irradiância global horizontal absorvida por uma lâmina d'água ser considerável, com valores de até 80%, esta absorção não origina uma elevação de temperatura da água, devido à evaporação e à inércia térmica da massa de água. O tratamento dado aos espaços abertos da Expo 92, por exemplo, remete às tradições das construções da Andaluzia e procuram amenizar o rigor do clima quente e seco da região. As temperaturas no verão ultrapassam os 38°C em boa parte do dia, chegando aos 42°C em dias extremos, e a amplitude térmica pode chegar até os 23°C. Para garantir condições de conforto higro-térmico aos visitantes da exposição internacional nos espaços externos, várias estratégias de projeto urbano foram consideradas, entre elas, proporcionar sombreamento de qualidade com vegetação abundante, resfriamento de superfícies verticais e horizontais e com o uso de cascatas, lâminas d'água e uso de pulverizadores de água para o esfriamento do ar (DUARTE, 2000).

Krüger & Pearlmutter (2008) analisaram a influência da geometria urbana no microclima com um modelo em escala. Esse modelo consiste em uma malha com fileiras de tijolos que simulam prédios e ruas, dispostos em uma área aberta. O sítio experimental foi construído em um local árido no Campus da Universidade de Ben-Gurion, Deserto do Negev, em Israel. A proposta foi a de avaliar o impacto da adição de umidade às ruas entre fileiras de prédios no balanço energético global da superfície do modelo em escala. Para que se pudesse avaliar este efeito, foram descritos dois aspectos: 1) comparações entre predições - modelo semi-empírico - e dados medidos de temperatura no cânion, para situações nas quais variou-se a área molhada da rua; e 2) efeito da exposição solar e aos ventos nas temperaturas no cânion e nas taxas de evaporação, medidas nos cânions por meio de painéis de evaporação. A adição de umidade à malha urbana foi feita com o auxílio de painéis evaporativos, os quais se constituem de canaletas de metal, fechadas lateralmente, preenchidas com lâmina

d'água e inseridas entre as fileiras de blocos. Sendo assim, a análise do efeito da adição parcial de umidade na temperatura do ar nos cânions representa o potencial de redução da carga térmica em espaços abertos.

Os resultados indicaram que há uma redução expressiva da temperatura do ar no modelo do cânion urbano, na presença de painéis evaporativos, em ambos os lados das fileiras. Entretanto, dado que essa redução da temperatura local é obtida por meio da adição de conteúdo de umidade sob condições desérticas, a verificação da quantidade de água evaporada indica uma utilização mais racional de áreas vegetadas. Entre os resultados apresentados, reafirmam ainda a necessidade de intensificação de pesquisas, que procurem mostrar o comportamento climático urbano diferenciado de sistemas tropicais, particularmente no nível microclimático.

Diversos avanços científicos foram notados a partir das experiências relatadas, muito embora a abordagem da escala de estudo se torne importante devido à carência de informações microclimáticas. Esta deficiência se deve principalmente à alta complexidade morfológica do espaço urbano e dos diversos fenômenos físicos que ocorrem simultaneamente sob a influência de inúmeras condições climáticas.

2.6. Abordagens metodológicas

Diversas questões metodológicas devem ser consideradas em estudos sobre clima urbano; no entanto, devido à ampla aplicação dos conceitos físicos envolvidos e, dependendo do objetivo de cada estudo, é necessário enfatizar determinados aspectos. A abordagem do presente estudo está relacionada substancialmente à obtenção de dados microclimáticos para apoiar decisões de planejamento físico urbano. Portanto, este sub capítulo apresenta referências de metodologias de pesquisa empregadas em estudos nacionais e internacionais, as quais têm sido aplicadas em cidades com características distintas. Os principais aspectos levantados se referem, sobretudo, à escala de abordagem, à caracterização física dos locais representativos dos efeitos microclimáticos, aos métodos de análise climática regional, às diversas formas de apresentação, de leitura e de interpretação de resultados e à formulação de diretrizes de ocupação territorial e de acordo com as características detectadas em cada localidade, tanto em relação ao clima quanto ao espaço físico.

2.6.1. Escala de Abordagem

Tanto a dimensão do recorte urbano a ser estudado, quanto a escala de abrangência do estudo são dependentes das características ambientais, dos recursos materiais disponíveis e dos objetivos de cada estudo. Logo, o mais adequado é se determinar dados amostrais de recortes urbanos que sejam o mais representativo possível e que possam ser generalizados para outras regiões da cidade.

O comportamento físico, o qual está relacionado com as características naturais ou construídas de uma cidade, é definido fundamentalmente pelas proporções do ambiente em estudo. Segundo Oke (1987), as temperaturas do ar e das superfícies podem variar em diversas escalas. Árvores, ruas, rodovias, parques, jardins e até pequenos objetos podem alterar o microclima de um ambiente e gerar condições favoráveis ou desfavoráveis ao conforto humano. Para estudos de clima urbano, aquele autor estabelece as seguintes escalas: microescala 10 cm a 1.000m; escala local 100m a 500 m; mesoescala 10 km a 500 km; macroescala 10 km a 10.000 km.

Segundo Mills (2010), o acesso e o entendimento dos dados relativos à infraestrutura dos espaços construídos e dos dados macro, meso e microclimáticos oferecem informações e estabelecem uma compreensão mais ampla da dinâmica urbana, inclusive sob os aspectos econômicos sociais e demográficos. Desta forma, a vulnerabilidade climática e os possíveis efeitos maléficos da apropriação do espaço urbano podem ser considerados nos projetos de intervenção na escala proposta por cada estudo.

2.6.2. Caracterização Física

Monteiro & Mendonça (2011) recomendam buscar embasamento cartográfico e setorizar a ocupação urbana em determinadas frações relativamente homogêneas. Os dados de densidade construída, porção de áreas verdes abertas ou pavimentadas, áreas arborizadas, da topografia, dos cursos d'água e a relação entre altura e largura dos cânions podem ser obtidas através das bases cartográficas das Prefeituras Municipais, dos levantamentos *in loco* e de imagens de satélites.

Oke (2006) sugere ainda a classificação em Zonas Climáticas Urbanas - *Urban Climate Zones* – UCZ – para descrever as áreas representativas. O objetivo é identificar o potencial de cada área em alterar o clima local e caracterizar a transição entre as

diferentes áreas. As escalas são conferidas pelas dimensões das características morfológicas que compõem uma paisagem urbana, assim, é necessário descrever as propriedades das áreas urbanas que podem afetar a atmosfera em relação à estrutura, a cobertura das superfícies, o tecido e o metabolismo urbano.

Stewart & Oke (2012) recorrem ao estudo da paisagem para uma nova classificação climática especificamente para estudos em áreas urbanas, ou seja, determinam-se unidades com características físicas e culturais, que conferem à paisagem propriedades que podem influenciar a temperatura na camada intraurbana. É considerado que a forma da estrutura afeta o clima local através da modificação dos fluxos de ar, do transporte do calor atmosférico e de saldos de radiação de ondas curtas e longas. Por sua vez, a cobertura das superfícies tem a capacidade de alterar o albedo, a disponibilidade potencial de umidade e o aquecimento e o arrefecimento do solo. Assim, se torna possível classificar a paisagem, dividindo-a em estruturas com propriedades aproximadamente homogêneas, e gerar dezessete classes de protótipos semelhantes. Tal critério de classificação da paisagem foi batizado de Zonas Climáticas Locais – *Local Climate Zones* – LCZ. As Zonas Climáticas Locais são definidas como regiões com estrutura, materiais, atividades humanas, cobertura de superfície uniformes, que se estendem por centenas de metros horizontalmente. Cada LCZ é caracterizada de acordo com um determinado regime de temperatura sobre superfícies secas, com atmosfera calma, noites claras em áreas com relevo suave.

A partir da classificação proposta por Oke (2006), em Zonas Climáticas Urbanas – UCZ, Stewart e Oke (2012) aprimoraram os métodos e desenvolveram um sistema de avaliação de sítios urbanos, com base em critérios como Fator de Visão do Céu, altura e largura dos cânions urbanos, fração da superfície construída, fração da superfície impermeável do solo, proporção de área permeável do solo e da rugosidade dos elementos que compõem a paisagem.

2.6.3. Procedimentos de coleta de dados

Diversos autores desenvolveram metodologias de medições em pontos fixos, relacionadas aos diversos parâmetros urbanos em cidades brasileiras, dentre os quais: Duarte (2000) em Cuiabá; Katzschner et al. (1999) em Salvador; Pezzuto et al. (2005)

em Campinas; Costa et al. (2007) em Natal; Monteiro & Mendonça (2011) em Londrina; Barbugli & Roriz (2003) em Araraquara e Rossi (2012) em Curitiba.

O uso de sensores portáteis de temperatura do ar, umidade do ar e do solo, irradiância global horizontal, evapotranspiração, direção e velocidade do vento, é necessário para o desenvolvimento das campanhas de coletas de dados climáticos em áreas urbanas. É importante também que dados de estações meteorológicas fixas na região escolhida sejam consultados para que os dados coletados em um local específico possam ser comparados e analisados juntamente com os dados históricos da região.

Segundo as recomendações de Costa et al. (2007), se destacam a segurança requerida para a permanência dos equipamentos registradores; a adequada distribuição e regularidade espacial dos pontos na cidade, a facilidade de acesso aos pontos; a padronização tanto para a fixação dos equipamentos quanto em relação às próprias características do entorno imediato; a não interferência da atividade humana nos horários de medição; a garantia de que os pontos de coleta não terão suas estruturas físicas alteradas no intervalo entre as tomadas de campo e a possibilidade de repetição dessa metodologia em áreas de clima semelhante. Oke (2006) também recomenda que os sensores devam permanecer protegidos da irradiância global horizontal, de preferência ventilados mecanicamente e dispostos em locais afastados de quaisquer interferências atípicas, como por exemplo, muito próximo à cobertura dos edifícios ou demasiadamente exposto a poluição do ar. O raio de influência de temperatura e umidade captadas pelos sensores é, no geral, em torno de 0,5 km, embora este valor possa variar, dependendo da densidade construída da área a ser estudada.

Uma das etapas consideradas na metodologia de Monteiro & Mendonça (2011) consiste na elaboração das campanhas de levantamento de informações de campo e comparações com informações meteorológicas e de imagens de satélites, que contribuem para a compreensão dos fenômenos macroclimáticos atuantes em cada momento.

Para estudos em microescala, a estimativa de evapotranspiração pode ser realizada por tanques de evaporação tipo classe A, lisímetros, evaporímetros ou modelos matemáticos teóricos, embora, de acordo com Grimmond & Oke (1999), os dados nem sempre sejam altamente precisos. A variabilidade dos ventos, a advecção microclimática do calor das superfícies e as dificuldades de se obter coeficientes de

ajustes adequados das redondezas podem ser fatores que limitam o uso, tanto dos equipamentos quanto dos modelos teóricos.

Há uma infinidade de variáveis ambientais que podem afetar o regime de evapotranspiração em um ambiente urbano e, de acordo com Oke (1987), Chandler (1965) e Grimmond (2007), é praticamente impossível mensurar o volume evaporado com exatidão. No entanto, as técnicas atuais podem estimar e apresentar resultados genéricos para situações urbanas específicas, com relativa precisão.

Marcuzzo et al. (2008) compararam cinco métodos para estimar a evapotranspiração em área rural em Itirapina no interior do Estado de SP. Os métodos estimativos desenvolvidos por Penman, Thornthwaite, Jensen-Haise, Blaney-Cridle foram comparados entre si e com os dados de evapotranspiração real de um lisímetro e de um tanque Classe A, instalados em campo aberto. O estudo constatou que o método que apresentou maior correlação com os dados de evapotranspiração real do lisímetro foi o método do tanque classe A, com coeficiente de correlação de 0,70. Tal constatação se deve, provavelmente, ao fato dos modelos teóricos terem sido desenvolvidos para ambientes climáticos do hemisfério norte e que apresentam condições de disponibilidade hídrica constante.

Desta maneira, é importante utilizar equipamentos de medição de evapotranspiração que atendam a recomendações e padrões internacionais, e também aplicar coeficientes de ajuste desenvolvidos para uma região específica de estudo.

2.6.4. Análise climática regional

O estudo da circulação das massas de ar é o princípio fundamental da climatologia dinâmica, que compreende os fenômenos dinâmicos da circulação atmosférica e tem por objetivo estudar a tendência de movimento, da trajetória, da frequência e das características gerais das frentes ou ciclones atuantes em diferentes regiões.

A abordagem metodológica utilizada por Monteiro & Mendonça (2011) para cidades de médio porte consiste, primeiramente, na definição da área de estudo e na abordagem do subsistema como, por exemplo, termodinâmico, físico-químico ou hidrometeorológico. Nesta etapa, detectam-se os movimentos típicos das massas de ar em macroescala, caracterizam-se os principais fenômenos climáticos regionais, que

possivelmente possam interferir ou contribuir com a qualidade das coletas de dados e, simultaneamente, ocorre a escolha dos fenômenos urbanos a serem estudados.

Para se caracterizar os fenômenos climáticos e associá-los ao ambiente urbano, é necessário estabelecer recortes temporais para análise de dados. Dependendo do objetivo de cada campanha de medição, os dados devem ser coletados de hora em hora, diariamente, mensalmente, anualmente ou em outras unidades de tempo. De qualquer modo, é necessário que se compreendam as condicionantes climáticas genericamente, para se estabelecer os recortes temporais específicos.

Vecchia (1997) mostra que situações peculiares do tempo atmosférico podem ser analisadas por meio de episódios climáticos representativos de determinado período, e que a magnitude, a intensidade, a extensão e a duração da atuação de um sistema atmosférico se alteram de acordo com a estação do ano. O comportamento térmico dos espaços construídos e abertos pode ser avaliado por intermédio da análise de uma sequência característica da massa de ar atuante no local e, entende-se que as subsequentes influências de elementos urbanos possam alterar, em escala microclimática, o comportamento físico dos ambientes.

Durante os estudos de climatologia urbana, dois períodos do movimento das massas de ar podem ser considerados como referenciais padrões do comportamento atmosférico: a fase Pré-frontal, quando ocorre a aproximação de uma massa de ar proveniente da região polar; e a fase Pós-frontal, quando essa massa de ar torna-se predominante na região. A primeira é caracterizada pelo prenúncio e o avanço da massa, e a segunda, pelo domínio e a transição da mesma.

O período de prenúncio apresenta como características marcantes, nuvens altas, do tipo cirros, aumento de temperatura, diminuição da umidade relativa do ar e diminuição da pressão atmosférica. Devido às alterações do estado atmosférico, é durante esse período que a saúde e o conforto humano ficam mais comprometidos.

Na região Sudeste do Brasil, quando os ventos passam a predominar nas direções Noroeste e/ou Sudoeste, caracteriza-se o período de avanço, podendo ocorrer rajadas de vento e, possivelmente, chuvas no instante de penetração da massa de ar (VECCHIA, 1997).

O período de domínio é marcado pelo estabelecimento das características da massa de ar recém chegada que traz consigo as propriedades atmosféricas da região onde essa massa originou-se. Nesse período, é verificada certa estabilidade atmosférica,

com temperaturas mais baixas que as do prenúncio, umidade relativa mais elevada e predominância dos ventos na direção Sudeste.

No período de transição, a massa de ar polar perde gradualmente sua intensidade, a temperatura se eleva e, por fim, a massa de ar adquire características climáticas locais, caracterizando um período denominado de tropicalização. Neste período, as condições atmosféricas retornam às suas características originais estáveis e o anticiclone tropical passa a ser mais influente na determinação do tempo meteorológico. Além disso, a temperatura se eleva e os ventos passam a predominar na direção Nordeste. É durante os períodos mais quentes, secos e estáveis que os efeitos do clima urbano podem ser sentidos, segundo Gartland (2010), Oke (1987) e Weber & Kuttler (2007). Portanto, os períodos que oferecem as melhores condições para as medições ocorrem no prenúncio e na fase de tropicalização da massa de ar.

De acordo com Krüger & Emmanuel (2013), o efeito dos parâmetros urbanos, como a morfologia, a altura dos edifícios, a cobertura vegetal e as propriedades térmicas das superfícies se tornam mais evidentes sob condições estáveis da atmosfera.

Mohan & Siddiqui (1998) esclarecem que o termo estabilidade atmosférica qualifica o comportamento atmosférico que governa as acelerações do movimento vertical do ar. Quando a aceleração dos fluxos verticais de ar é positiva, a atmosfera é classificada como instável ou turbulenta, quando o valor da aceleração é zero, seu estado é neutro e quando há desaceleração, a atmosfera é estável ou com turbulência reprimida. Determina-se a estabilidade atmosférica comparando a diferença de temperatura de uma parcela de ar ascendente ou descendente com o perfil de comportamento de temperatura do ar ambiente.

O grau de instabilidade influencia a intensidade da convecção do ar e do resfriamento adiabático, provocando a condensação da umidade e o surgimento de nuvens.

Mohan & Siddiqui (1998) também relatam que o comportamento da estabilidade atmosférica recebeu, até o final da década de sessenta, seis principais classificações; A – altamente instável ou convectiva, B – moderadamente instável, C – pouco instável, D – neutra, E – moderadamente estáveis e F – extremamente estável. Turner (1970) incluiu uma sétima classificação para representar vento fraco e considerar o comportamento atmosférico em noites estáveis, batizado de G. Assim, foi estabelecida a classificação

atmosférica conhecida como PGT – Pasquill, Guifford e Turner – muito utilizada internacionalmente para estudos de dispersão de plumas de poluentes atmosféricos.

Esta classificação recorre a parâmetros climáticos para determinar o grau de estabilidade atmosférica do ar, como a velocidade do vento, a intensidade da irradiância global horizontal do período e a cobertura por nuvens no período noturno. Desta forma, a combinação entre estes parâmetros define o grau de estabilidade atmosférica, de acordo com a tabela da figura 5.

Velocidade do vento (m/s)	Irradiância global horizontal diruna (W/m ²)				Cobertura Nuvens Período Noturno (octas)		
	Alta	Moderada	Baixa	Nublada	Baixa(céu claro)	Moderada	Alta (céu nublado)
≤ 2	A	A – B	B	C	G – F	F	D
2 – 3	A – B	B	C	C	F	E	D
3 – 5	B	B – C	C	C	E	D	D
5 – 6	C	C – D	D	D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D	D	D

Figura 5 – Classificação Atmosférica PGT
Fonte: Adaptada de Mohan & Siddiqui (1998)

A unidade de medida usada para descrever o grau de nebulosidade do céu é octas, a qual caracteriza a estimativa de quantos oitavos do céu está encoberto por nuvens, sendo que 0 octas representa o céu completamente claro e 8 octas, completamente nublado.

Irradiância global horizontal (W/m ²)	Alta >600
	Moderada 300-600
	Baixa <300

Cobertura Nuvens período noturno (octas)	Alta 8 (Céu completamente nublado)
	Moderada 4 – 7
	Baixa 0 – 3 (Céu completamente claro)

Figura 6 – Tabela de irradiância global horizontal e cobertura de nuvens
Fonte: Adaptada de Mohan & Siddiqui (1998)

Durante o dia a condição da cobertura da atmosfera pode ser determinada pelos valores de irradiância global horizontal e durante a noite à Cobertura de Nuvens no se dão de acordo com as indicações da tabela da figura 6. Portanto, os valores do período noturno foram estimados neste estudo de acordo com a média de variação de cobertura do céu entre o poente e o nascer do sol.

2.6.5. Apresentação, leitura e interpretação de dados

Os dados de variação de amplitude térmica diária, umidade relativa e absoluta, velocidade e direção do vento, intensidade da irradiância global horizontal são os mais utilizados em estudos de clima urbano. Porém, outras variáveis também podem oferecer pistas a respeito do comportamento microclimático nas cidades, tais como, umidade do solo, índice de evapotranspiração, sazonalidade da vegetação, entre outras, as quais dependem tanto das condições macroclimáticas quanto dos efeitos provocados por elementos locais.

O cruzamento das informações do meio físico com os aspectos humanos é fundamental para que os processos de ocupação possam ser direcionados em benefício da qualidade ambiental. Katzschner (2011) enfatiza que o mapeamento dos diversos agentes atuantes no ambiente urbano resulta em modelos de observação rigorosos e precisos, e são cruciais para as tomadas de decisões no planejamento.

As análises das variações dos dados microclimáticos normalmente são feitas através da confecção de gráficos comparativos, para que as relações de dependência entre variáveis de estudo sejam estabelecidas e analisadas estatisticamente nos pontos amostrais. A partir das comparações entre dados coletados em área urbana e dados coletados em área rural, é possível estabelecer os graus de influência de uma variável sobre outra.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são muito utilizados em estudos de climatologia urbana para se localizar determinados efeitos microclimáticos e associá-los ao ambiente construído. De acordo com Castro & Lopes (2010), os Sistemas de Informação Geográfica são conjuntos de ferramentas de coleta, armazenamento, análise e representação de informações geográficas que se associam a um determinado local. Estas ferramentas possibilitam análises espaciais cruzadas de conjuntos de dados e auxiliam na modelagem do comportamento de determinados fenômenos num dado território. Permitem, portanto, definir padrões e comportamentos espaciais que podem ser analisados em conjunto com outros dados territoriais.

O uso de métodos geoestatísticos objetiva caracterizar a dispersão espacial e temporal de informações geográficas que determinam a quantidade e a qualidade dos recursos ou fenômenos físicos, que se manifestam em certas estruturas no espaço e no tempo. Com o apoio dos SIG, a aplicação dos métodos geoestatísticos permite modelar

especialmente o comportamento térmico urbano, por exemplo, e apresentá-lo em forma de mapas ou seções urbanas.

Monteiro & Fernandes (1996) relatam que entre os métodos geoestatísticos utilizados em estudos de climatologia urbana estão a Triangulação, a Krigagem, o Inverso das Distâncias e a Curvatura Mínima, sendo que a Krigagem é considerado um dos procedimentos mais adequados para a maioria das séries estatísticas.

A Krigagem consiste em um método matemático utilizado em geoestatística, que estabelece pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais afastadas. Desta forma, é possível estimar novos pontos, baseados na relação entre os dados coletados e na interpolação entre os valores, assim cria-se um mapa de isolinhas representativas da variação microclimática de uma cidade.

2.6.6. Simulações do ambiente térmico urbano

Segundo Arnfield (2003), simulações experimentais em particular e demais modelagens matemáticas poderiam contribuir imensamente para a formação de um banco de dados e determinação de parâmetros climáticos em áreas urbanas. O desenvolvimento de tais ferramentas de observação pode facilitar o entendimento dos complexos fenômenos físicos com a precisão necessária e, desta forma, minimizar o uso de equipamentos onerosos e longas campanhas de medições.

Para que as intervenções e expansões de áreas urbanas tenham seus efeitos estudados e conhecidos no microclima com mais eficiência, Bruse & Fleer (1998) desenvolveram o ENVI-Met. O programa computacional consiste em uma modelagem numérica e análise espacial que objetiva simular o comportamento térmico e as trocas de energia em ambientes urbanos. Os modelos de simulação de clima urbano são baseados nas leis fundamentais determinadas pela mecânica dos fluidos para a turbulência do vento e nas leis da termodinâmica para reproduzir os fenômenos que ocorrem nas superfícies dos materiais como paredes, cobertura e vegetação.

Huttner et al. (2009), em um experimento desenvolvido na cidade de Freiburg, Alemanha, descreveram a aplicação do Envi-Met para estimar as áreas urbanas com maiores índices de stress térmico e embasar uma proposta de arborização e intervenções espaciais para os bairros em estudos. Dessa forma, procuraram garantir que quaisquer intervenções pudessem ter seus efeitos previstos no ambiente térmico com suficiente

precisão de resultados e possibilitar a avaliação do comportamento dos pedestres em seus trajetos.

Nakata et al. (2011) avaliaram a influência do ambiente térmico no comportamento do pedestre na cidade de Bauru, SP. Constataram que a configuração urbana, a presença de vegetação e o calor acumulado pelos materiais de revestimentos influenciam a sensação térmica dos pedestres em seus trajetos. Os dados obtidos em entrevistas com transeuntes foram comparados com as medições de temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento no local e a simulação computacional das rotas de pedestres com os programas computacionais ENVI-Met e Bot-World. A pesquisa demonstrou ainda que os resultados simulados mais precisos em relação aos dados reais foram obtidos após o sexto dia de simulação, durante o período matutino, pois apresentaram diferenças menores que 1°C. Uma característica do modelo ENVI-Met é que a curva de temperatura diária é gerada a partir de um impulso inicial, através de um processo de iteração. Nesse processo, é necessário um tempo inicial de iteração até que os resultados se estabilizem e sejam gerados dados mais precisos.

Souza & Faria (2011) simularam, com o ENVI-Met, o comportamento da irradiância solar e da temperatura do ar de dois segmentos urbanos também em Bauru, semelhantes em termos topográficos e geomorfológicos. Em dias de céu limpo, o ENVI-Met reproduz satisfatoriamente as irradiâncias solares direta e difusa, sendo a primeira condicionada à precisão do modelo geométrico do local estudado. Em relação às simulações de variação das taxas de umidade, os autores fazem ressalvas quanto aos dados registrados próximos à camada superficial do solo. Esse fato indica a necessidade de estudos mais detalhados em relação à diversidade de ocupações, que alteram o regime de evapotranspiração urbana.

Os corpos d'água no ambiente urbano são representados matematicamente no ENVI-Met 3.1 como um tipo especial de solo, o qual incluem os cálculos de processos de transmissão e absorção de radiação de ondas curtas. O processo de convecção natural é o principal fator que influencia as trocas térmicas entre o corpo d'água e o ambiente urbano, de modo que o programa está preparado para simular microclima apenas em modelos como lagos urbanos com água parada. Ainda não reproduz os efeitos turbulentos provocados pela aspensão de água por fontes, nem os efeitos das brisas marítimas (BRUSE, 2012).

De modo geral, o software ENVI-Met pode ser uma importante ferramenta para o planejamento urbano mais eficiente, pois seu uso pode reduzir os custos com aquisição de equipamentos de medição, os riscos de danificar estes equipamentos e o tempo das campanhas de coleta de dados. Embora a aplicação de programas computacionais apresente vantagens em relação aos custos e ao tempo necessário de uma pesquisa, ainda há carência de dados locais que possam alimentar os processos de simulação de forma segura.

De acordo com Pezzuto et al. (2011), Francisco & Assis (2012), Masiero & Souza (2012b) e Emmanuel et al. (2007), apesar do ENVI-Met apresentar resultados coerentes em relação ao perfil de comportamento de temperatura padrão, normalmente os valores de temperatura são subestimados, portanto é necessário que os valores de entrada sejam os mais fiéis possíveis à realidade e com o máximo grau de detalhamento. Devido à carência de dados referentes aos fatores de ajustes de coeficientes térmicos dos materiais das superfícies urbanas, aos dados de comportamento da evapotranspiração da vegetação nativa típica de cerrado brasileiro e aos padrões de cálculo gerado por calor antropogênico local, tem sido comum os pesquisadores recorrerem a generalizações, muitas vezes grotescas, que acabam resultando em simulações nem sempre confiáveis.

Para que uma simulação do ambiente térmico urbano seja realizada com a máxima acurácia, é necessário levantar os dados de todos os componentes da paisagem de um determinado local e aplicá-los em conjunto com os modelos termodinâmicos utilizados pelos programas computacionais destinados à avaliação de microclima urbano.

2.6.7. Formulação de diretrizes de ocupação

Ao propor o estudo detalhado dos diferentes ambientes climáticos intraurbanos, é possível identificar os agentes responsáveis pela dinâmica dos espaços construídos, para que sugestões junto ao planejamento urbano sejam conferidas com maior embasamento técnico.

Ng (2009) relata que questões climáticas são pouco consideradas no contexto do desenvolvimento urbano, em qualquer país. No ano de 2005, um guia técnico foi elaborado em Hong Kong, para fornecer informações e facilitar a implantação de medidas mitigadoras, para combate dos efeitos negativos no microclima, provocados

pela ocupação urbana. Os diagnósticos climáticos apontavam, até então, uma ventilação precária em áreas urbanas compactas, fato que exigiu a adoção de medidas de mitigação em regiões consolidadas e em regiões novas. Várias sugestões foram feitas por especialistas em diversas áreas do conhecimento, por moradores e pela administração pública local, de modo que as responsabilidades das decisões fossem compartilhadas entre os envolvidos.

Entre as sugestões debatidas, predominou o estabelecimento de diretrizes de ocupação, que favorecesse a criação dos caminhos de ar, batizados de *Breezeways*. Para a realização destes caminhos, foram propostas aberturas nos espaços ocupados pelos pódios dos arranha-céus, de modo a possibilitar uma ventilação mais generosa ao nível do pedestre e uma maior permeabilidade nos espaços intraurbanos.

A identificação dos locais climaticamente sensíveis da cidade está baseada nas informações disponibilizadas pelo Mapa Climático Urbano – *UCMap*, o qual apresenta os diagnósticos microclimáticos e os possíveis efeitos negativos ao conforto humano. Muitas das sugestões foram incorporadas nas normas de planejamento urbano de Hong Kong de forma a instrumentalizar a administração pública local na avaliação da viabilidade de cada empreendimento e suas consequências.

O aumento das áreas de vegetação urbana, o controle da morfologia do edifício e a associação da forma urbana com a ventilação do espaço público estão entre as medidas mitigadoras propostas pelos planejadores que tem afetado positivamente a qualidade ambiental dos ambientes mais adensados de Hong Kong.

A alta demanda por empreendimentos imobiliários em metrópoles e cidades médias exige que os espaços urbanos estejam preparados para absorver os impactos ambientais das expansões em suas malhas e sobrecarga da infraestrutura, portanto, as diretrizes que disciplinam a ocupação territorial devem equilibrar a necessidade de adensamento de construções com a necessária qualidade ambiental dos espaços coletivos.

3. Metodologia

A metodologia aqui abordada busca detectar os principais fatores que influenciam a formação de microclimas, decorrentes da inserção de corpos d'água em ambientes urbanos localizados em áreas continentais de clima tropical.

Além dos estudos da literatura especializada acerca dos métodos e dos equipamentos empregados para a avaliação de clima urbano no Brasil e no exterior, duas campanhas de levantamento de dados micrometeorológicos foram elaboradas. Ambas seguiram os mesmos preceitos metodológicos, de forma que apenas a escala de abordagem foi alterada. A primeira campanha objetivou compreender como a umidificação do ar propiciada por um corpo d'água pode atuar na malha urbana em diversas regiões da cidade de São José do Rio Preto, avaliando seu impacto na atenuação da temperatura do ar intraurbano e no aumento da umidade absoluta em uma área de aproximadamente 120km². Os resultados da primeira campanha subsidiaram a elaboração de uma segunda campanha de levantamento de dados em um recorte urbano de 10km². Essa segunda campanha objetivou avaliar mais especificamente o comportamento típico da temperatura e da umidade nas áreas próximas ao corpo d'água e ao centro urbano. Assim, buscou-se compreender a ação do corpo d'água em uma escala urbana mais abrangente e em uma escala local mais detalhadamente.

Os procedimentos metodológicos de cada campanha de levantamento de dados seguiram as mesmas seis etapas, sendo elas:

- Etapa 1: Caracterização física das áreas de estudo - Esta etapa se refere à análise morfológica dos principais sítios urbanos que são capazes de demonstrar o potencial de influência do corpo d' água no microclima e determinar a escala espacial do estudo para São José do Rio Preto. Foi necessário, portanto, estabelecer recortes de áreas representativas da morfologia urbana de acordo com a metodologia de Stewart & Oke (2012), para que a escala física de abrangência espacial do estudo fosse determinada;
- Etapa 2: Determinação dos procedimentos de coleta de dados - Os procedimentos de medição incluem a calibração e a avaliação da precisão

dos equipamentos de medição como sensores e estações meteorológicas portáteis, de acordo com os dados meteorológicos de uma estação fixa do INMET e a disposição de sensores para coleta de dados. Nesta etapa, foram incluídas a montagem do aparato de coleta de dados de temperatura, umidade, velocidade e direção do vento, irradiância global horizontal e evaporação da água. O monitoramento e a coleta de dados micrometeorológicos no ambiente urbano foram realizados simultaneamente com a leitura das imagens de satélite GOES, dos boletins Meteorológicos disponibilizados pelo INPE - CEPTEC (2012 e 2013) e dos dados fornecidos pelas estações meteorológicas do CIAGRO (2012 e 2013), CETESB (2012 e 2013) e das estações meteorológicas portáteis;

- Etapa 3: Análise das características macro e meso climáticas – Essa etapa refere-se à análise das características macro e meso climáticas, as quais o ambiente urbano está submetido, e à determinação da escala de tempo do estudo. Para tanto, foram estabelecidas as técnicas para os recortes de tempo meteorológico, de acordo com a classificação de estabilidade atmosférica PGT e da climatologia dinâmica. A determinação de janela de tempo para análise dos dados ocorre após a detecção de períodos que se caracterizem pelo comportamento atmosférico estável, céu claro, vento fraco, irradiância global horizontal intensa;
- Etapa 4: Mapeamento de informações – Nessa etapa procurou-se estabelecer a localização de informações através de mapeamento, facilitando a identificação visual de características gerais e resultados através da aplicação de ferramentas geoestatísticas;
- Etapa 5: Análise de resultados – Nessa etapa foram realizadas as análises gráficas, quantitativas e qualitativa da distribuição da temperatura e da umidade absoluta, da evaporação e demais parâmetros microclimáticos;
- Etapa 6: Formulação de diretrizes gerais para o planejamento urbano – Essa etapa abrange as propostas e sugestões para o planejamento físico de

ocupação territorial, com base no comportamento microclimático característico da cidade de São José do Rio Preto.

Foi elaborado um fluxograma representativo das atividades para melhor compreensão da metodologia de trabalho, conforme demonstrado na Figura 7.

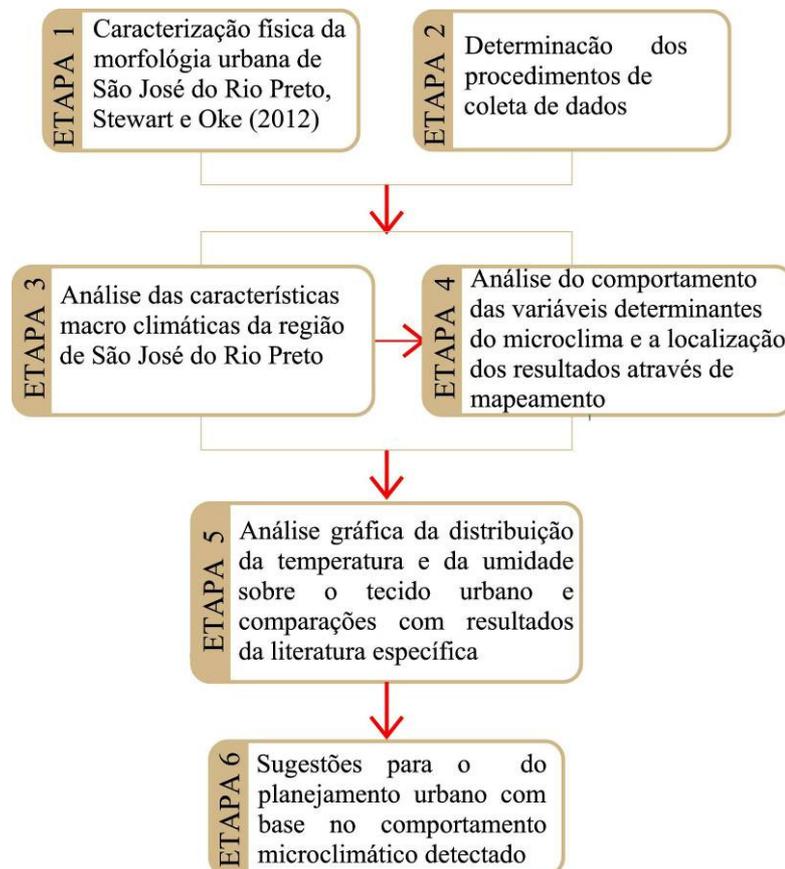


Figura 7 – Fluxograma geral das etapas metodológicas
Elaborado por Érico Masiero

3.1. Etapa 1 - Caracterização da Morfologia Urbana de S. J. do Rio Preto e dos locais monitorados

São José do Rio Preto está localizada ao Norte do Estado de São Paulo nas coordenadas 20° 49' 11" Latitude Sul e 49° 22' 46" Longitude Oeste. A área urbana corresponde a 117,43km² e é cortada por um rio de pequeno porte, o Rio Preto que, junto com o córrego dos Macacos, formam as duas represas artificiais na área urbana. A cidade está localizada em altitudes próximas aos 500 metros em relação ao nível do mar

e os biomas são caracterizados pela presença marcante de Cerrados e resquícios de Mata Atlântica, segundo IBGE (2012).

Para que a coleta de dados represente significativamente os fenômenos em uma porção homogênea de uma área urbana, é necessário definir a escala de abrangência de estudo. A seleção do recorte urbano deve estar condicionada aos fatores de influências microclimáticas.

De tal forma, foi considerada a variação de ocupação de acordo com as características de cada sítio para a instalação dos sensores nas duas campanhas desenvolvidas em São José do Rio Preto.

O sítio sobre o qual se implantou a cidade de São José do Rio Preto caracteriza-se por um relevo pouco ondulado, com espigões amplos e de modesta altitude, em média 500m. As rodovias Transbrasiliana BR-153 – Federal, na direção NE-SW e a Washington Luiz SP - 310 Estadual, na direção E - W influenciaram o direcionamento do crescimento da cidade. A maior concentração populacional da cidade de São José do Rio Preto está contida em um "v" formado pelo cruzamento destas duas rodovias (PMSJRP, 2010c).

São José do Rio Preto se caracteriza por ser um polo regional economicamente diversificado e dinâmico. Atrai consumidores dos bens e serviços oferecidos, e trabalhadores, o que implica em altas taxas de crescimento.

As avenidas em fundo de vale são importantes eixos do sistema viário intraurbano, o qual se desenvolveu com diferentes propostas de desenho urbano. Parte dos córregos Canela e Borá tiveram suas margens suprimidas e foram canalizados e fechados na década de 50 (ROCHA et al., 2011), originando duas das principais vias de circulação da cidade: as avenidas Alberto Andaló e Bady Bassit.

A área de espelho d'água das duas represas municipais soma quase 9 km² e é responsável pelo abastecimento de 30% a 40% da água potável do município, após o tratamento no Palácio das Águas. O entorno da represa é composto por um parque público composto por pista de caminhada com 2,7 mil metros lineares; três conjuntos de equipamentos de ginástica; sanitários públicos, quiosques destinados ao lazer. Mais de dez espécies de animais silvestres, mamíferos e peixes e uma grande diversidade de algas e plantas compõem o ecossistema da Represa de São José do Rio Preto (PMSJRP, 2010a).

É um local muito utilizado para o lazer da população local, que busca apreciar a paisagem natural e aproveitar as inúmeras atividades culturais e de entretenimento que ocorrem às suas margens (Figuras 8 a 11).



Figura 8 – Vista panorâmica da represa municipal e área central de São José do Rio Preto
Foto: Érico Masiero



Figura 9 – Vista panorâmica da represa municipal
Foto: Érico Masiero



Figura 10 – Vista panorâmica da represa municipal e área central de São José do Rio Preto
Foto: Érico Masiero



Figura 11 – Vista panorâmica da represa municipal e área central de São José do Rio Preto
Fonte: Masiero & Souza (2013)

Para cada recorte amostral escolhido, foram determinados 10 aspectos que caracterizaram o ambiente construído, são eles: a área do recorte, a área da superfície construída, as superfícies permeáveis e impermeáveis, a rugosidade do solo e a altura média da rugosidade, a distância do recorte urbano em relação ao corpo d'água, a relação altura e largura (H/W) dos cânions urbanos monitorados, as respectivas classificações propostas por Stewart & Oke (2012) e a determinação do Fator de Visão do Céu de cada área. Os FVCs foram determinados a partir das imagens geradas por uma lente olho de peixe, acoplada a uma câmera fotográfica e posicionada a 1,5m do solo, alinhada verticalmente para cima. As imagens foram tratadas posteriormente no programa computacional Rayman 1.2 desenvolvido por Matzarakis (2009), conforme as recomendações de Matzarakis et al. (2010).

Treze pontos de monitoramento foram selecionados de acordo com as recomendações feitas por Stewart & Oke (2012), os quais foram utilizadas para a confecção de um mapa de variação de temperatura e outro de distribuição de umidade absoluta. Desses, quatro pontos que apresentaram as variações de dados mais evidentes foram detalhados graficamente na primeira campanha de levantamento de dados que ocorreu entre Setembro e Outubro de 2012. Os outros nove pontos integraram a segunda campanha de levantamento de dados, que foi realizada entre Junho e Julho de 2013 (Figuras 12 a 15), e detalham características específicas do comportamento microclimático da área central de São José do Rio Preto e adjacências do corpo d'água.

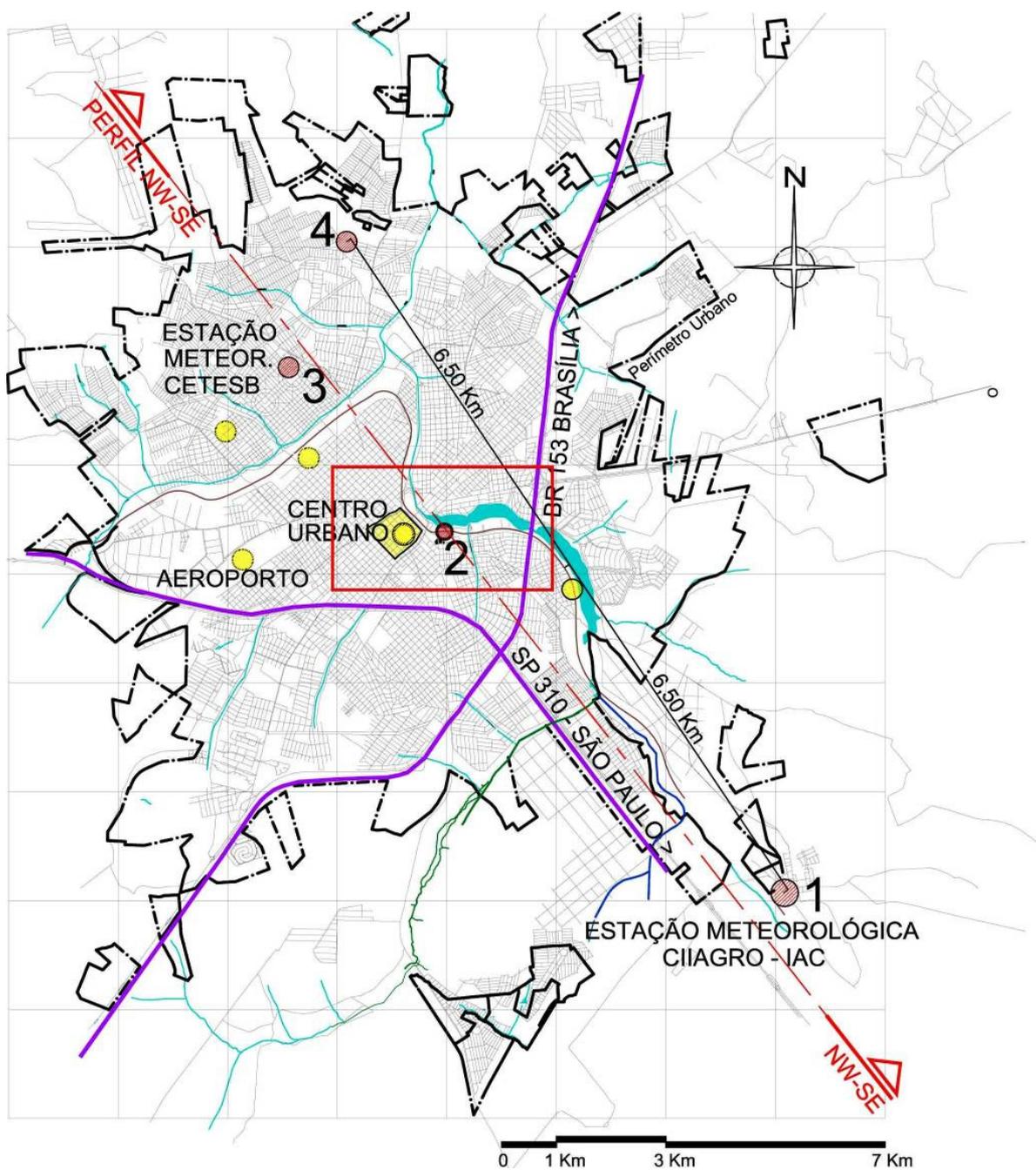


Figura 12 - Localização de pontos de medição campanha 1
 Fonte: Adaptada de PMSJRP (2011)



Figura 13 - Perfil Topográfico no sentido NW-SE da área urbana de São José do Rio Preto
 Fonte: Masiero & Souza (2013)

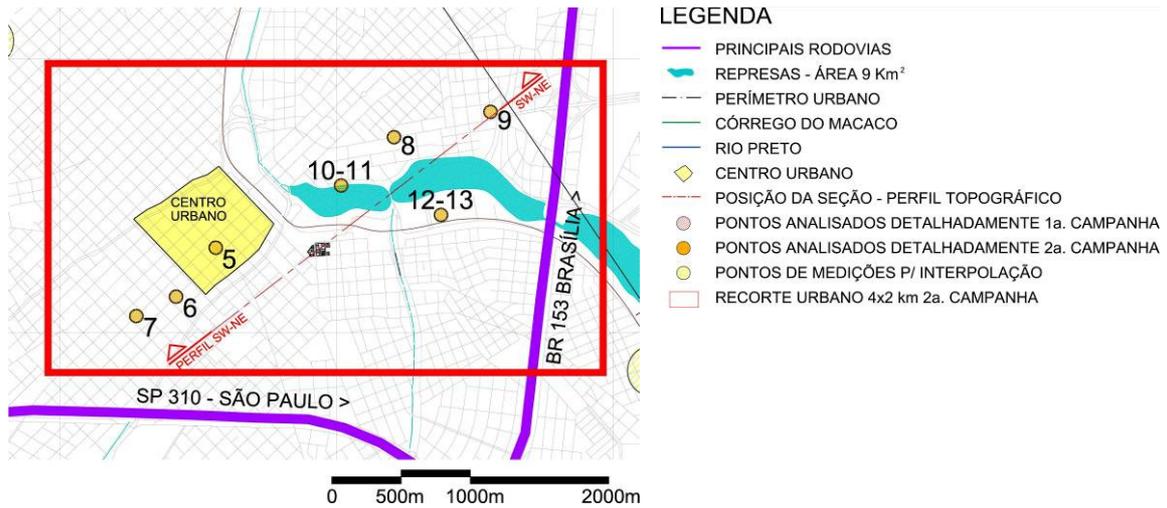


Figura 14 - Localização de pontos de medição da Campanha 2

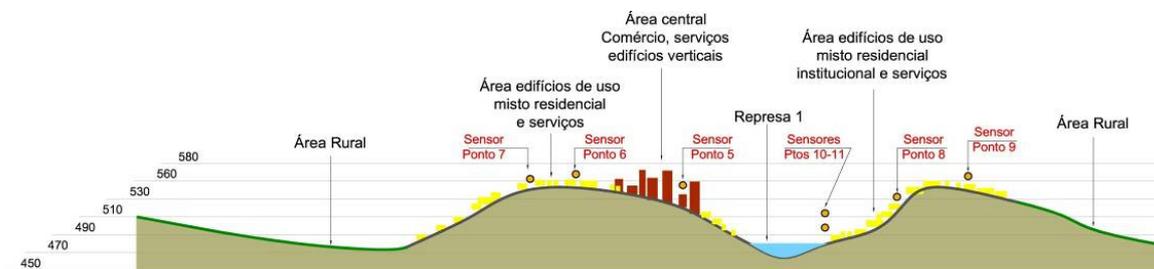
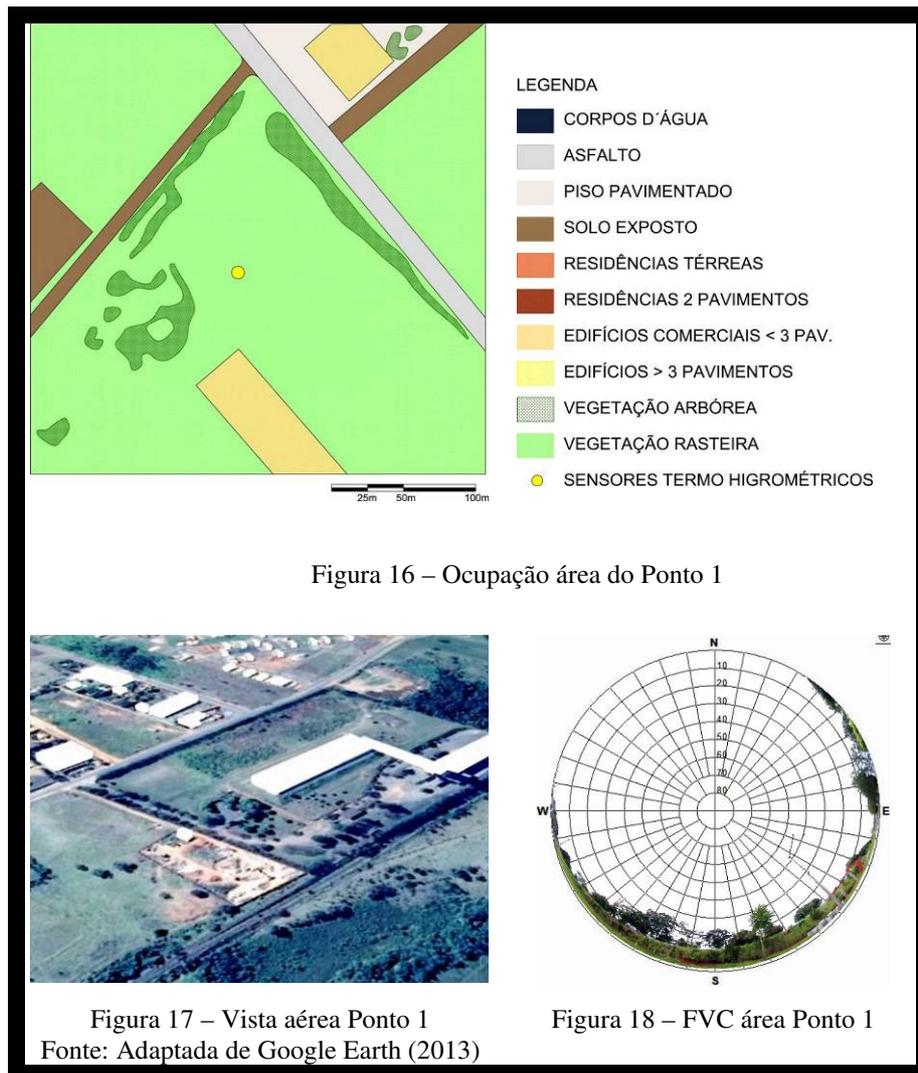
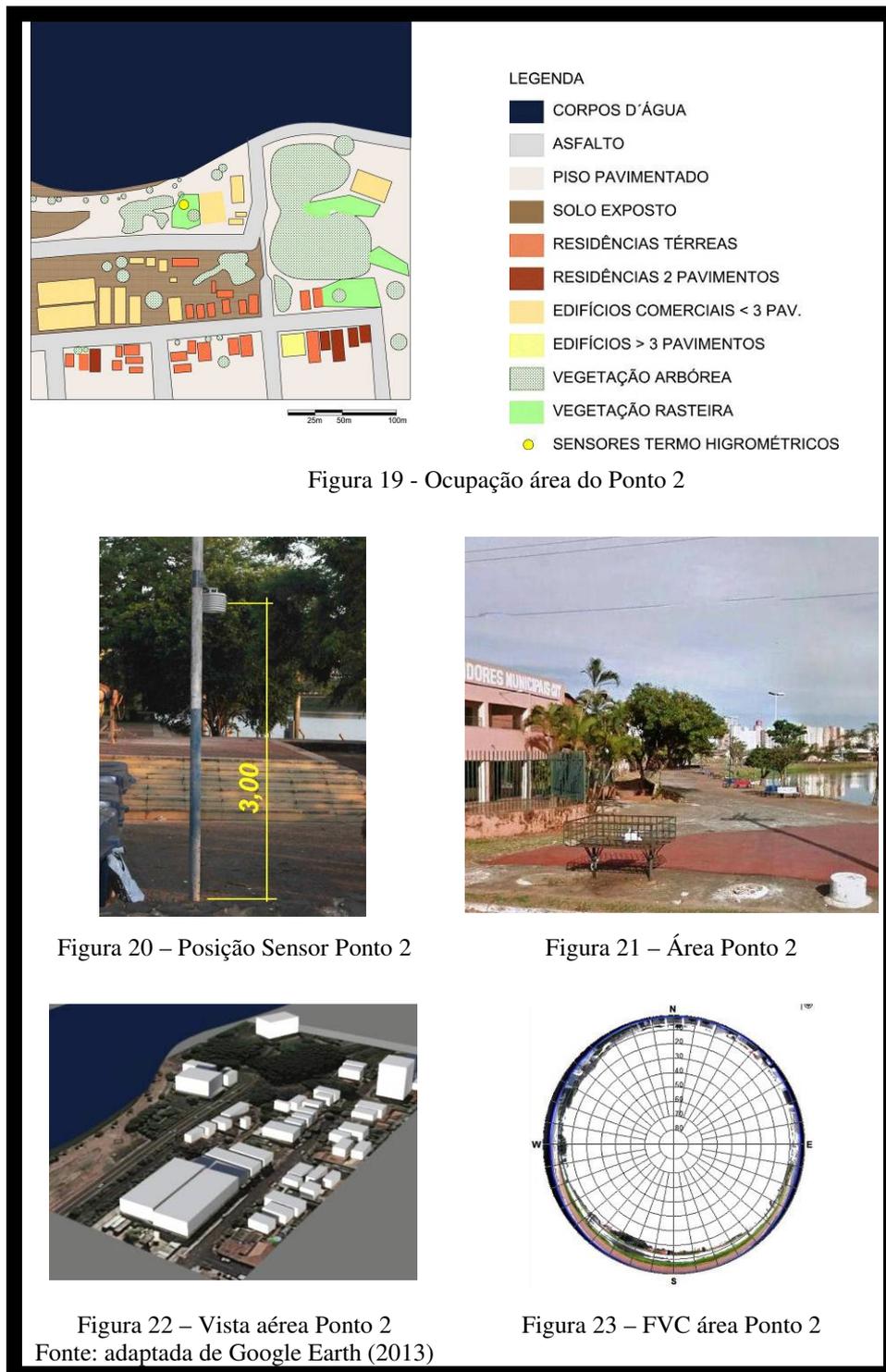


Figura 15 - Perfil topográfico no sentido SW-NE da área urbana de São José do Rio Preto

O ponto 1, Figuras 16, 17 e 18, localiza-se em uma área rural no extremo sul de São José do Rio Preto, com atividades predominantemente baseadas na agricultura familiar e em imóveis rurais de veraneio. Os dados foram coletados pela Estação Meteorológica do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIAGRO, 2010), do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), que está situada nas proximidades dos pontos de interesse. O padrão da altura da medição da estação do IAC é de aproximadamente 2 m acima da superfície (ROCHA et al., 2011). O sensor de temperatura e umidade utilizado é um HMP45, da Campbell, cuja faixa de medição de temperatura vai de $-39,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, com precisão de $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.



O ponto 2, figuras 19 a 23, localiza-se na margem sul da represa municipal e, apesar de estar localizado próximo ao centro urbano, possui baixa densidade construída. Desta forma, o sensor está sujeito à direta influência da umidade disponibilizada pelo lago e exposto à ação do vento. O ponto 2 foi posicionado no fundo do vale do Rio Preto, o qual apresenta as mais baixas cotas topográficas dentre todas as áreas de estudo.



O ponto 3, figuras 24 a 28, foi estabelecido na Estação Meteorológica da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2012), a qual está localizada na área periférica da cidade, em um bairro predominantemente residencial da zona norte da cidade, a 3,5 km a noroeste da represa municipal. É uma estação de monitoramento automático, que disponibiliza dados relativos à qualidade do ar urbano,

dos parâmetros meteorológicos e de níveis de poluentes presentes no ar. Nela, o equipamento utilizado é um termo-higrômetro, instalado a uma altura de 3 m em relação ao solo. A faixa de trabalho para temperatura do ar está entre -30°C e 70°C , com precisão de medida de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ (CETESB, 2012).



Figura 24 – Ocupação área do Ponto 3



Figura 25 – Posição Sensor Ponto 3



Figura 26 – Área Ponto 3



Figura 27 – Vista aérea Ponto 3
Fonte: adaptada de Google Earth (2013)

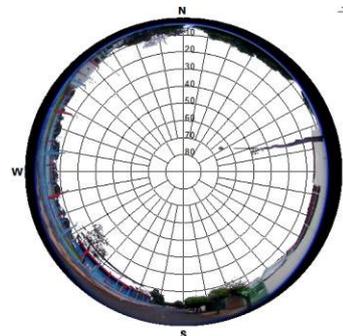


Figura 28 – FVC Ponto3

O Ponto 4, figuras 29 a 33, também está situado na zona norte da cidade, a 6,5 km a noroeste da represa municipal. Esta área caracteriza-se por uma ocupação de residências térreas unifamiliares, com taxa de ocupação de aproximadamente 60%, baixo índice de áreas verdes e solo altamente impermeabilizado. Este ponto, assim como o Ponto 3, está localizado na área mais elevada da cidade, o que a coloca entre as mais áridas da cidade.



O Ponto 5, figuras 34 a 39, está situado na área central da cidade e suas construções possuem tipologias que variam entre edifícios acima de 15 pavimentos, galpões comerciais e habitações isoladas. Praticamente não há áreas com solo permeável e sem construções que permita a penetração efetiva da umidade disponibilizada pelo corpo d'água. A única exceção no recorte urbano de 100.000 m² é a Praça Rui Barbosa que, embora seja fartamente arborizada, apresente pisos impermeáveis e com diversos espelhos d'água, há pouquíssima vegetação arbórea e rasteira ao longo das ruas, poucos espaços não construídos, várias edificações com 100% de ocupação do lote e muitas delas sem recuos frontais e laterais. Configuração espacial típica de áreas que concentram atividades comerciais e de prestação de serviços sofrendo muita influência do calor antropogênico provocado principalmente pela excessiva circulação de veículos, muito próxima ao passeio público.

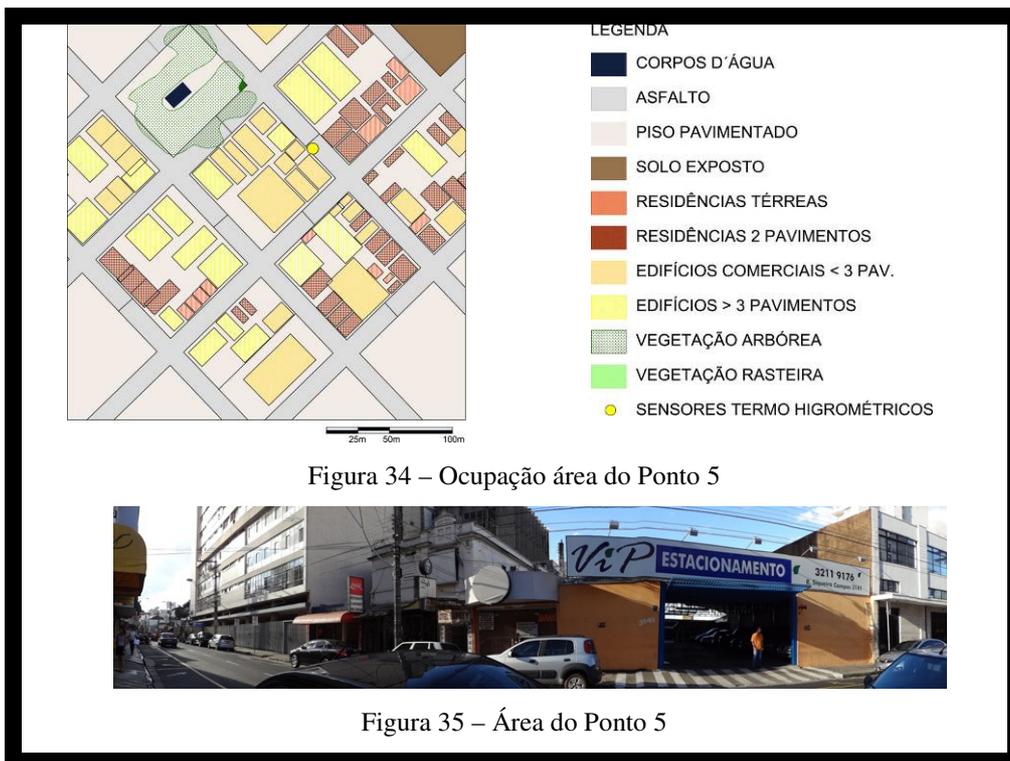




Figura 36– Posição Sensor Ponto 5



Figura 37 – Área do Ponto 5

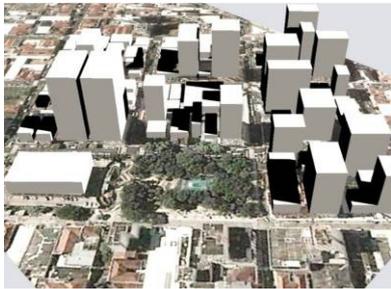


Figura 38 – Vista aérea Ponto 5
Fonte: adaptada de Google Earth (2013)



Figura 39 – FVC Ponto 5

O Ponto 6, figuras 40 a 45 se caracteriza pelos mais altos edifícios da cidade e, apesar de apresentar alguns fragmentos de vegetação arbórea, é o ambiente com maior concentração de pessoas, construções e solo pavimentado. Imóveis residenciais antigos vêm dando espaço para arranha-céus, edifícios comerciais e estacionamentos, o que o caracteriza como um ambiente altamente impermeabilizado e com diversos cânions urbanos. As vias se situam nas direções nordeste – sudoeste e noroeste – sudeste, de forma que os corredores edificados estão implantados em direções favoráveis à ação dos ventos predominantes e a área pode estar sujeita a ação da umidade proveniente da represa municipal, que está situada a pouco mais de 1000 m a nordeste.

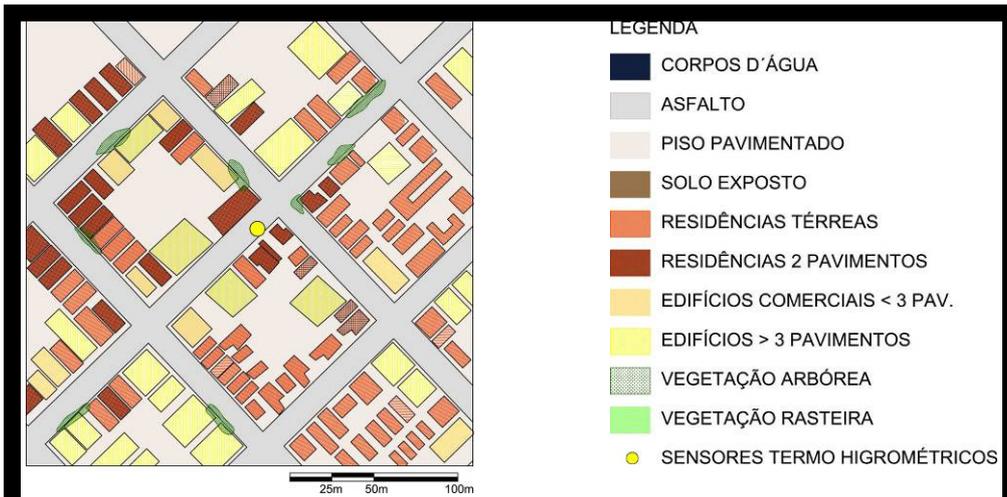


Figura 40 – Ocupação área do Ponto 6



Figura 41 – Área do Ponto 6



Figura 42 – Posição Sensor Ponto 6



Figura 43 – Área do Ponto 6



Figura 44 – Vista aérea Ponto 6
Fonte: adaptada de Google Earth (2013)

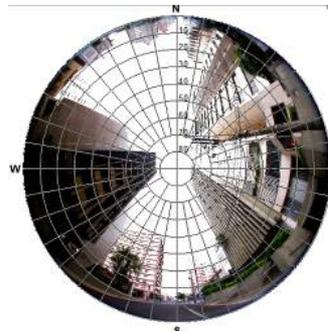


Figura 45 – FVC Ponto 6

O ponto 7, figuras 46 a 50 também está situado na área central, no bairro da Redentora. Apresenta como principal característica da ocupação do solo atividades de serviço, de comércio e de habitação de elevado padrão construtivo e social. Desta forma, é possível notar fragmentos mais generosos de áreas verdes, alguns espaços abertos, algumas áreas permeáveis e menor circulação de veículos em relação ao centro urbano. Esta área se caracteriza pela transição de ocupação entre o centro mais adensado e os bairros periféricos predominantemente residenciais. Assim, ela possui um gabarito intermediário com alguns edifícios variando entre 3 e 15 pavimentos, muitos imóveis térreos e com dois pavimentos, os quais tem tido seus usos alterados para atividades comerciais e de serviços nos últimos anos. Portanto, pode ser classificada como área central expandida.



Figura 46 – Ocupação área do Ponto 7



Figura 47 – Área do Ponto 7



Figura 48 – Posição do sensor Ponto 7

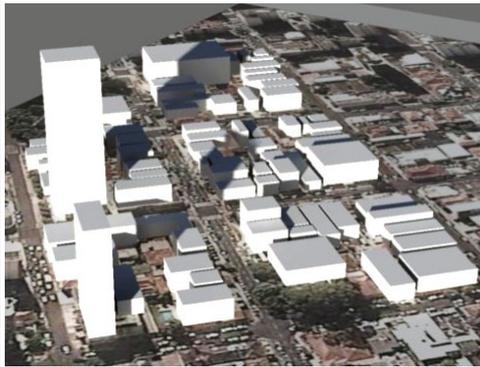


Figura 49 – Vista aérea Ponto 7
 Fonte: adaptada de Google Earth (2013)

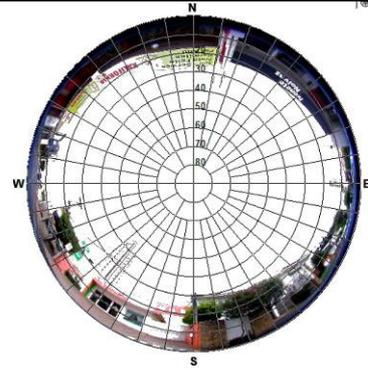


Figura 50 – FVC Ponto 7

O Ponto 8, figuras 51 a 56, está situado a 100 m ao norte da Represa Municipal e possui uma ocupação predominantemente residencial e com algumas áreas comerciais somente ao longo da Avenida Fernando Costa que está implantada na direção leste – oeste. O recorte urbano de 70.000 m² possui muitos imóveis com recuos frontais e anteriores que formam jardins e quintais com algumas áreas permeáveis gramadas e vegetação arbórea de pequeno e médio porte, com até 6 metros de altura nas residências.

Apesar da lei de zoneamento (PMSRP, 2010a) impor restrições mais rigorosas para construções nos bairros ao redor da Represa Municipal, a área sofre bastante com ocupações irregulares e com a limitação do poder público em coibir a sistemática impermeabilização do solo e a supressão da vegetação em áreas ambientalmente mais frágeis.

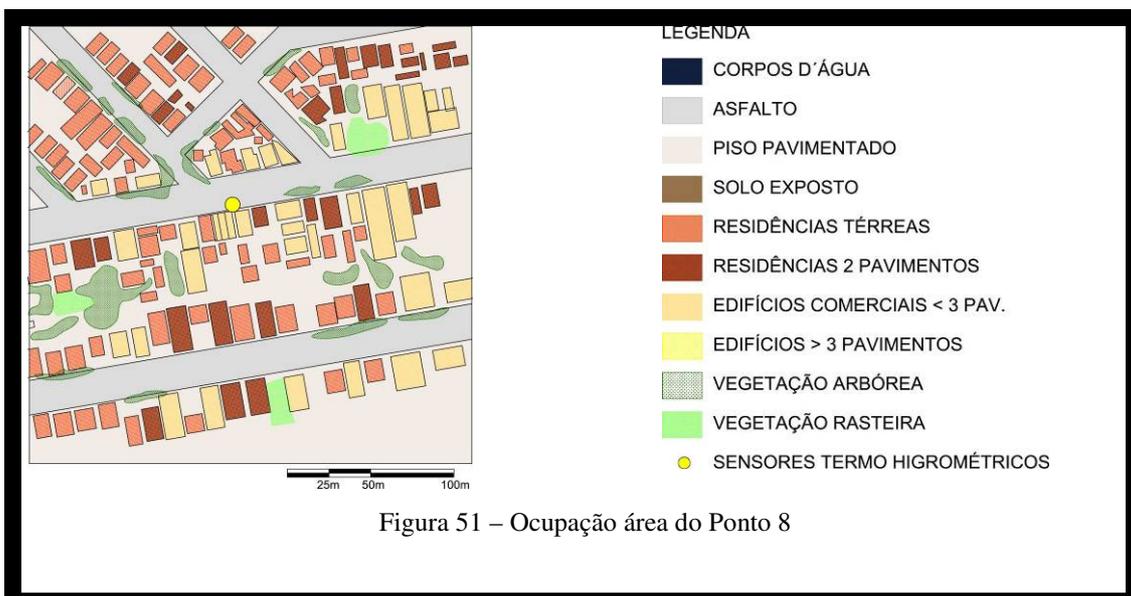


Figura 51 – Ocupação área do Ponto 8



Figura 52 – Área do Ponto 8



Figura 53 – Posição do sensor Ponto 8



Figura 54 – Área do Ponto 8

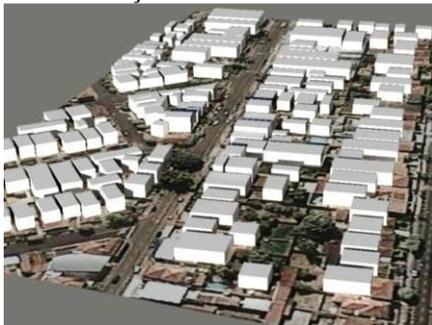


Figura 55 – Vista aérea Ponto 8

Fonte: adaptada de Google Earth (2013)

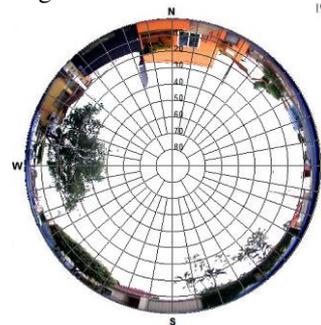
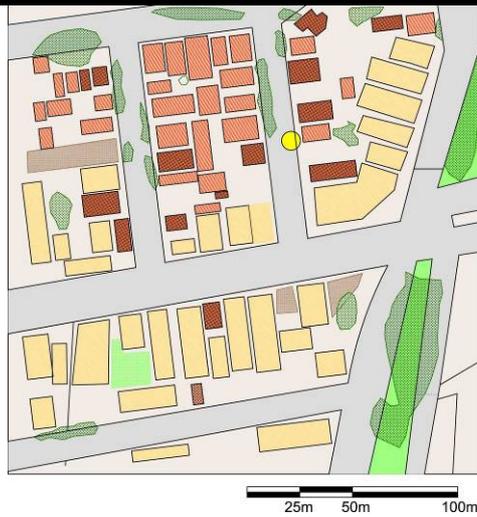


Figura 56 – FVC Ponto 8

A área em que o Ponto 9 foi posicionado, figuras 57 a 62, possui muitas características físicas semelhantes ao Ponto 8. A principal diferença é que a via em que o sensor foi instalado está implantada na direção norte e sul e, desta forma, foi possível avaliar o comportamento da penetração da pluma de umidade em duas direções distintas de vias em ambientes urbanos semelhantes.



LEGENDA

- CORPOS D'ÁGUA
- ASFALTO
- PISO PAVIMENTADO
- SOLO EXPOSTO
- RESIDÊNCIAS TÉRREAS
- RESIDÊNCIAS 2 PAVIMENTOS
- EDIFÍCIOS COMERCIAIS < 3 PAV.
- EDIFÍCIOS > 3 PAVIMENTOS
- VEGETAÇÃO ARBÓREA
- VEGETAÇÃO RASTEIRA
- SENSORES TERMO HIGROMÉTRICOS

Figura 57 – Ocupação área do Ponto 9



Figura 58 – Área do Ponto 9



Figura 59 – Posição do sensor Ponto 9



Figura 60 – Área do Ponto 9

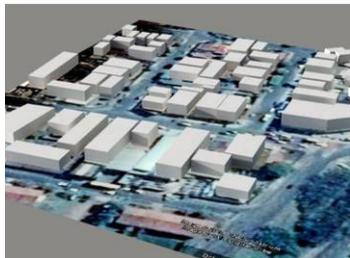


Figura 61 – Vista aérea Ponto 9

Fonte: adaptada de Google Earth (2013)

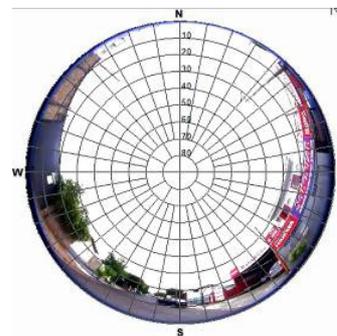


Figura 62 – FVC Ponto 9

O Ponto 10-11, figuras 63 a 68, está situado a 25 m da margem norte da Represa Municipal e possui muitas áreas verdes nos jardins frontais dos imóveis do bairro e ao redor do corpo d'água. Predominam construções de 2 pavimentos que abrigam imóveis residenciais de alto padrão, alguns poucos imóveis comerciais, vias com mais de 15m de largura, calçadas generosas e muitas áreas permeáveis com vegetação rasteira e árvores de porte médio e alto. Embora o local conserve uma qualidade ambiental urbana acima das áreas centrais e das áreas ao norte da cidade, é importante ressaltar que a proximidade da ocupação urbana da margem do corpo d'água aumenta a possibilidade de degradação da qualidade da água, mesmo porque, a área da vegetação ciliar é insuficiente para minimizar o impacto causado pela poluição das águas pluviais e pelas ligações clandestinas de esgoto.

A estação Meteorológica Davis Vantage PRO 2 foi posicionada a 3 m de altura do solo e um sensor Hobo U23 a 6 m, no recuo frontal de uma residência, desta forma, se configuram os pontos 10 e 11 respectivamente.

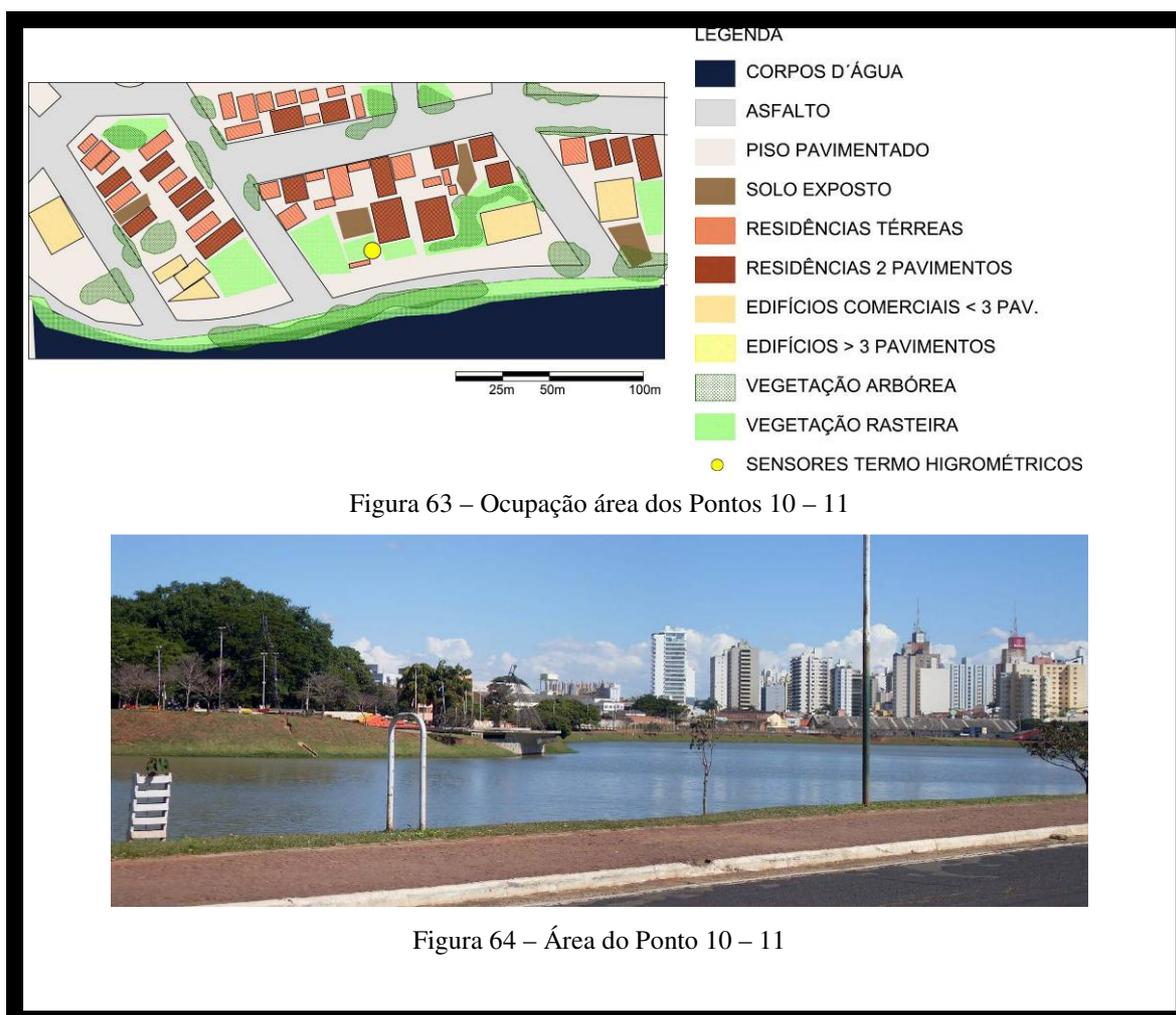




Figura 65 – Posição do sensor Ponto 10 – 11



Figura 66 – Estação Meteorológica Área dos Pontos 10 – 11



Figura 67 – Vista aérea Pontos 10 – 11
Fonte: adaptada de Google Earth (2013)



Figura 68 – FVC Pontos 10 – 11

Os Pontos 12-13, figuras 69 a 73, foram implantados na margem sul da Represa Municipal. O recorte urbano de 70.000 m² é a área urbana que apresenta maior porcentagem de solo permeável com vegetação rasteira e solo exposto. Nesta área se situam uma escola de nível fundamental e médio a leste, uma sede do clube de campo do Serviço Social da Indústria a leste, uma porção do Parque Municipal da Represa ao norte e a estrada de ferro, que corta a porção sul da área.

A estação meteorológica Hobo U30 foi instalada junto com o Tanque de evaporação Classe A no ponto 12, sendo que o conjunto foi posicionado a 25 metros da margem da represa e sensor de temperatura e umidade a 1,5m de altura do solo. O sensor de temperatura do ponto 13 foi posicionado a 6 m de altura do solo no mesmo local.



Figura 69 – Ocupação área dos Pontos 12 – 13

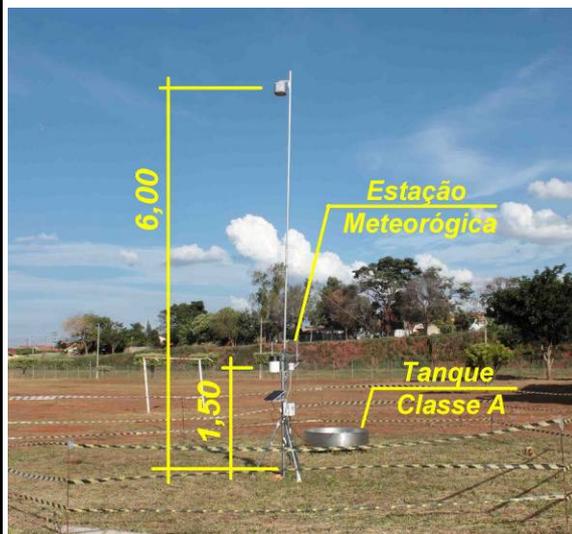


Figura 70 – Estação Meteorológica e posição do sensor – Ponto 12 – 13



Figura 71 – Tanque Classe A e sensor de Nível d'água



Figura 72 – Vista aérea Pontos 12 – 13
Fonte: adaptada de Google Earth (2013)

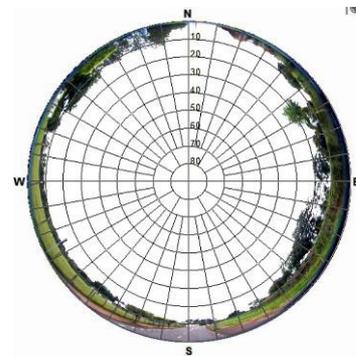


Figura 73 – FVC Pontos 12 – 13

A tabela da figura 74 apresenta resumidamente o sistema de caracterização de Zonas Climáticas Locais dos locais monitorados – gerado a partir de classificações de Stewart & Oke (2012). Esta tabela apresenta os principais índices urbanísticos que caracterizam fisicamente as áreas monitoradas, além de facilitar a comparação entre os diversos fatores contemplados nos recortes urbanos. As áreas de recortes urbanos variam de 50.000 m² a 125.000 m² para que a caracterização física de cada ambiente típico pudesse ser a mais representativa possível dentre a diversidade de ocupação encontrada no município.

O critério para a seleção de tais recortes se baseou na máxima diferenciação de características típicas da ocupação urbana de São José do Rio Preto. Assim, foram monitoradas áreas densamente ocupadas e impermeabilizadas, outras periféricas distantes dos corpos d'água e outras que variam o gabarito entre o mais alto e o mais baixo Fator de Visão do Céu encontrado na cidade. O Fator de Visão do Céu das áreas variou de 1 a 0,37 e as áreas permeáveis variam de 0% a 79%. Desta forma, foi possível constatar como a pluma de umidade age sob diferentes condições de ambientes e sob diversos aspectos microclimáticos.

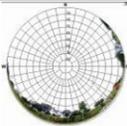
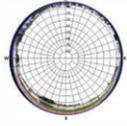
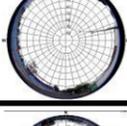
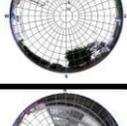
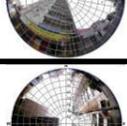
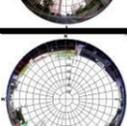
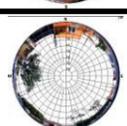
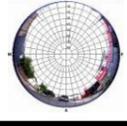
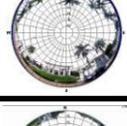
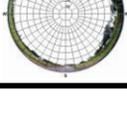
	Local	Área de recorte amostral m ²	FVC	H/W	Superfície construída	Superfície impermeável	Superfície Permeável	Altura média de rugosidade	Rugosidade do solo	Classificação	Distância da margem do corpo d'água	Vista	
Primeira campanha	1	100.000		0,86	0,25	5%	5%	95%	3	0,5	<i>Low Plants</i>	6.000 m	
	2	125.000		0,82	0,4	15%	21%	79%	5	0,3	<i>Sparsely built</i>	80m	
	3	100.000		0,73	0,4	13,5%	71%	29%	5	0,2	<i>Sparsely built</i>	3.500m	
	4	50.000		0,57	0,35	18%	63%	37 %	5	0,2	<i>Compact low rise</i>	5.200m	
Segunda campanha	5	100.000		0,29	3,3	29,5%	98,5%	1,5%	25	0,2	<i>Compact high-rise</i>	700m	
	6	70.000		0,35	4	35,8%	70.000 100%	0 0%	30	0,1	<i>Compact high-rise</i>	1.100m	
	7	70.000		0,70	0,55	25%	91,3%	8,7%	12	0,2	<i>Open midrise</i>	1.500 m	
	8	70.000		0,69	0,4	28%	95,2 %	4,8 %	5	0,3	<i>Open midrise</i>	100m	
	9	50.000		0,72	0,4	24%	94%	6%	5	0,1	<i>Open midrise</i>	350m	
	10-11	50.000		0,75	0,3	15%	70,7%	29,3%	5	0,3	<i>Lightweight low-rise</i>	25m	
	12-13	70.000		0,80	0,25	7%	8%	92%	2	0,5	<i>Low Plants</i>	25 m	

Figura 74 – Sistema de classificação de Zonas Climáticas Locais das áreas monitorados
Fonte: Adaptada de Stewart & Oke (2012)

3.2. Etapa 2 - Procedimentos de Medição

O monitoramento e a coleta de dados micrometeorológico no ambiente urbano foram realizados simultaneamente com a leitura das imagens de satélite GOES, dos boletins Meteorológicos disponibilizados pelo INPE - CEPTEC (2012 e 2013), os dados fornecidos pelas estações meteorológicas do CIIAGRO (2012 e 2013), CETESB (2012 e 2013) e de estações meteorológicas portáteis.

3.3. Instrumentação e Procedimentos de Medição

Os dados de temperatura e umidade intraurbanos foram coletados de hora em hora com os sensores HOBO Pro V2 U23-001, colocado dentro de escudos ventilados de PVC conforme recomendações e especificações do fabricante. (Figuras 75 e 76)

		Faixa de operação: -40 °C a 70 °C Precisão: 0,2 °C acima de 0 °C até 50 °C Resolução: 0,02 °C a 25 °C Tempo de resposta: 40 min no ar em movimento de 1 m/s
Figura 75 - Sensor HOBO Pro V2 U23-001	Figura 76 - Escudo contra radiação	Especificações Técnicas do Fabricante Fonte: ONSET Brasil (2013)

Para auxiliar a tarefa de caracterização dos fenômenos atmosféricos em macroescala, duas estações meteorológicas localizadas próximas da área de estudo disponibilizaram os dados via web, são elas:

- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2012 e 2013)
- Instituto Agrônomo de Campinas – IAC CIIAGRO (2012 e 2013)

A estação meteorológica da CETESB está localizada na área periférica da cidade em um bairro predominantemente residencial a noroeste da Represa Municipal. A Estação Meteorológica do CIIAGRO - IAC está situada em área rural a 6 km de distância a sudeste da represa e pode ser utilizada como padrão de referência das análises.

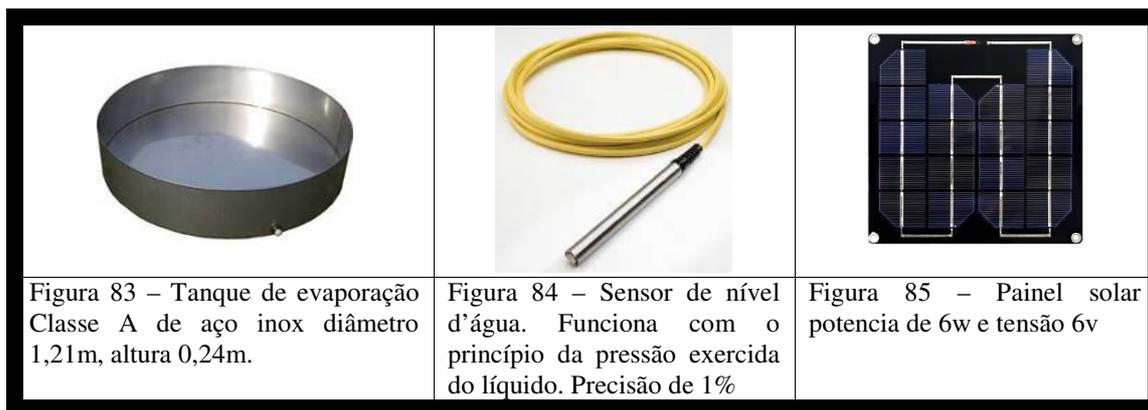
A estação da CETESB é uma estação de monitoramento automático, portanto disponibiliza dados relativos à qualidade do ar urbano, dos parâmetros meteorológicos e de níveis de poluentes presentes no ar. Nela, o equipamento utilizado é um termo-higrômetro, instalado a uma altura de 3,0 m em relação ao solo. A faixa de trabalho para temperatura do ar está entre -30 °C e 70 °C, com precisão de medida de 0,1 °C (CETESB, 2012).

O Instituto de Pesquisa da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, IAC, tem sede no município de Campinas. Entre as atividades desenvolvidas está o serviço prestado pelo Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIAGRO, 2012). Este, operacionaliza e disponibiliza informações e aconselhamento às atividades agrícolas, com base nos parâmetros agrometeorológicos e na previsão do tempo, a partir de uma rede de coleta de dados em todo o estado.

O padrão da altura da medição nas estações do IAC é de aproximadamente 3 m acima da superfície vegetada. O sensor de temperatura e umidade utilizado é um HMP45, da Campbell, cuja faixa de medição de temperatura vai de -39,2 °C a 60 °C, com precisão de $\pm 0,5$ °C.

Dois estações meteorológicas portáteis foram utilizadas na segunda campanha de coleta de dados. A primeira consiste em uma Estação Meteorológica marca HOBO modelo U30 com os seguintes componentes, figuras 77 a 85:

		
<p>Figura 77 – Data logger com 10 canais digitais com bateria e transmissor de dados Ethernet em tempo real</p>	<p>Figura 78 – Sensor de irradiância global horizontal com precisão de $\pm 10\text{W/m}^2$</p>	<p>Figura 79 – Sensor de temperatura e umidade S – THB-M002. Precisão de temperatura $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Precisão Umidade $\pm 2,5\%$ com Escudo</p>
		
<p>Figura 80 – Anemômetro com precisão de 5 graus e resolução de 1,4 graus</p>	<p>Figura 81 – Pluviômetro de alumínio e aço inoxidável com precisão de 1% de 20mm</p>	<p>Figura 82 – Sensor de Pressão Barométrica S-BPB-CM50</p>



Fonte: ONSET Brasil (2014)

A segunda é uma mini estação Meteorológica marca Davis, modelo Vantage PRO 2, composta por um sensor de temperatura e umidade com precisão $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e 3% respectivamente, pluviômetro, um anemômetro, um painel solar e um módulo controlador com datalogger. Figuras 86 e 87.



Figura 86 – Estação meteorológica DAVIS Vantage PRO 2

Fonte: Adaptada de Davis Instrument (2014)



Figura 87 – Módulo controlador com datalogger

3.4. Procedimentos de Calibração de equipamentos

Entre os dias 30 de Maio e 01 de Junho de 2011, foi realizada uma etapa de verificação do funcionamento dos sensores termo-higrométricos e das duas Estações Meteorológicas, a Hobo U30 e a Davis Vantage PRO 2 para que o grau de precisão de todos os sensores utilizados na pesquisa pudesse ser aferido.

Todos os equipamentos foram configurados e dispostos a aproximadamente 1,5m de altura do solo na área da Estação Meteorológica do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – a qual está situada no Campus de São Carlos da Universidade Federal de São Carlos. Figuras 88 e 89.

Os dados de temperatura, umidade, direção e velocidade do vento coletados durante estes três dias foram comparados com os dados disponibilizados pela Estação Meteorológica do INMET (2013), de forma que as discrepâncias entre os resultados gerados pelos equipamentos pudessem ser reduzidas através da correlação estatística dos dados.

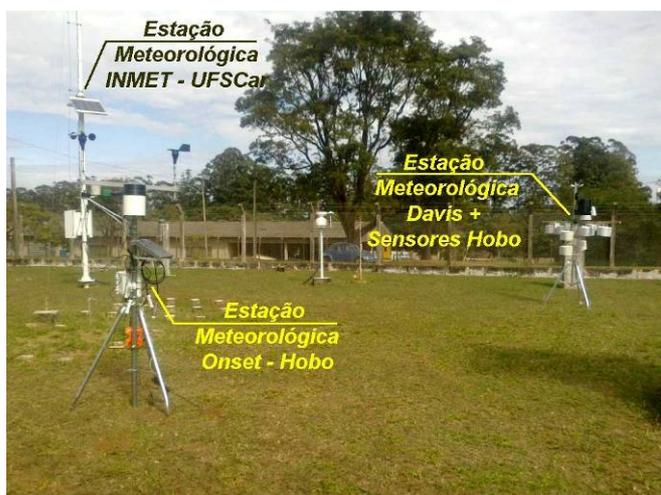


Figura 88 – Campo de testes junto à estação Meteorológica INMET Campus UFSCar São Carlos, SP



Figura 89 – Sensores HOBO U-23 e Estação Meteorológica Davis

As diferenças de temperatura entre os sensores U23 da Hobo em relação aos da Estação do INMET ficaram próximas do grau de precisão especificado pelo fabricante que está entre $\pm 0,2$ e $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, dependendo das condições meteorológicas. Em relação aos dados de umidade relativa, todos os sensores U23 da Hobo também apresentaram precisão próxima do valor de 3,5% especificado pelo fabricante (ONSET BRASIL, 2014).

As maiores discrepâncias registradas ocorreram nos horários de pico de irradiância global horizontal entre o sensor de temperatura da estação Davis em relação aos valores registrados pela Estação do INMET. Foi detectado que a Estação Davis superestima os valores de temperatura atingindo diferenças de até 3°C por volta das 15h (Figura 90). Nos horários em que a radiação atua menos intensamente e durante a noite, a precisão do sensor de temperatura da Estação Davis apresentou valores mais acurados. De acordo com o fabricante o escudo protetor contra radiação com aspiração mecânica melhora sensivelmente a precisão das medições (DAVIS, 2014).

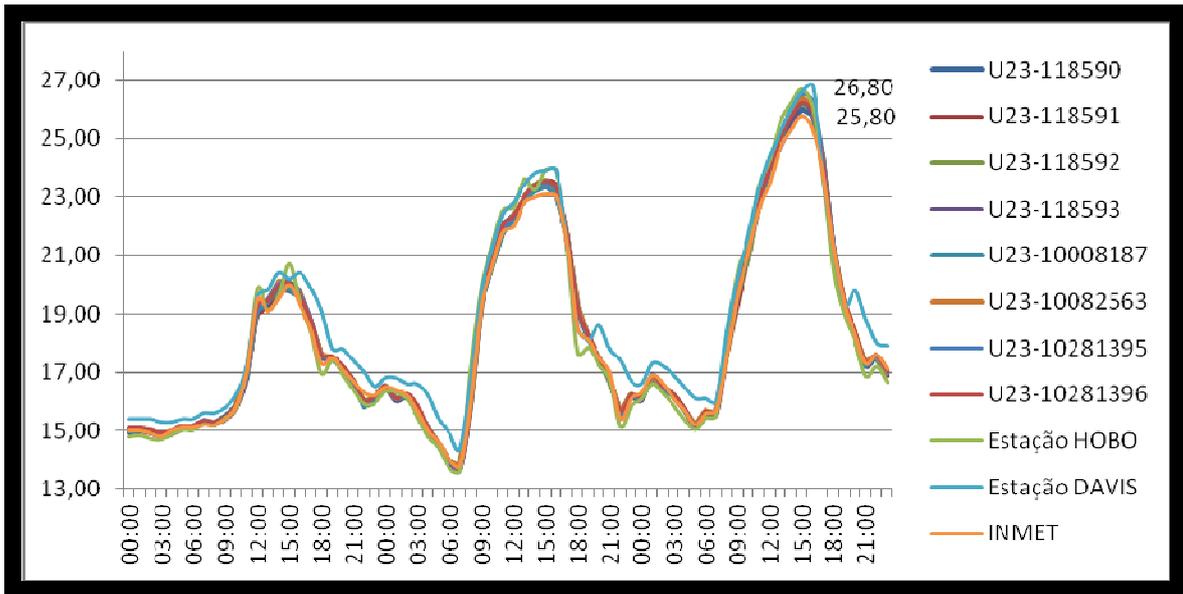


Figura 90 - Dados originais antes da calibração

Desta forma, foram aplicados os fatores de correção para os valores de temperatura conforme a análise estatística e dos gráficos de dispersão a seguir.

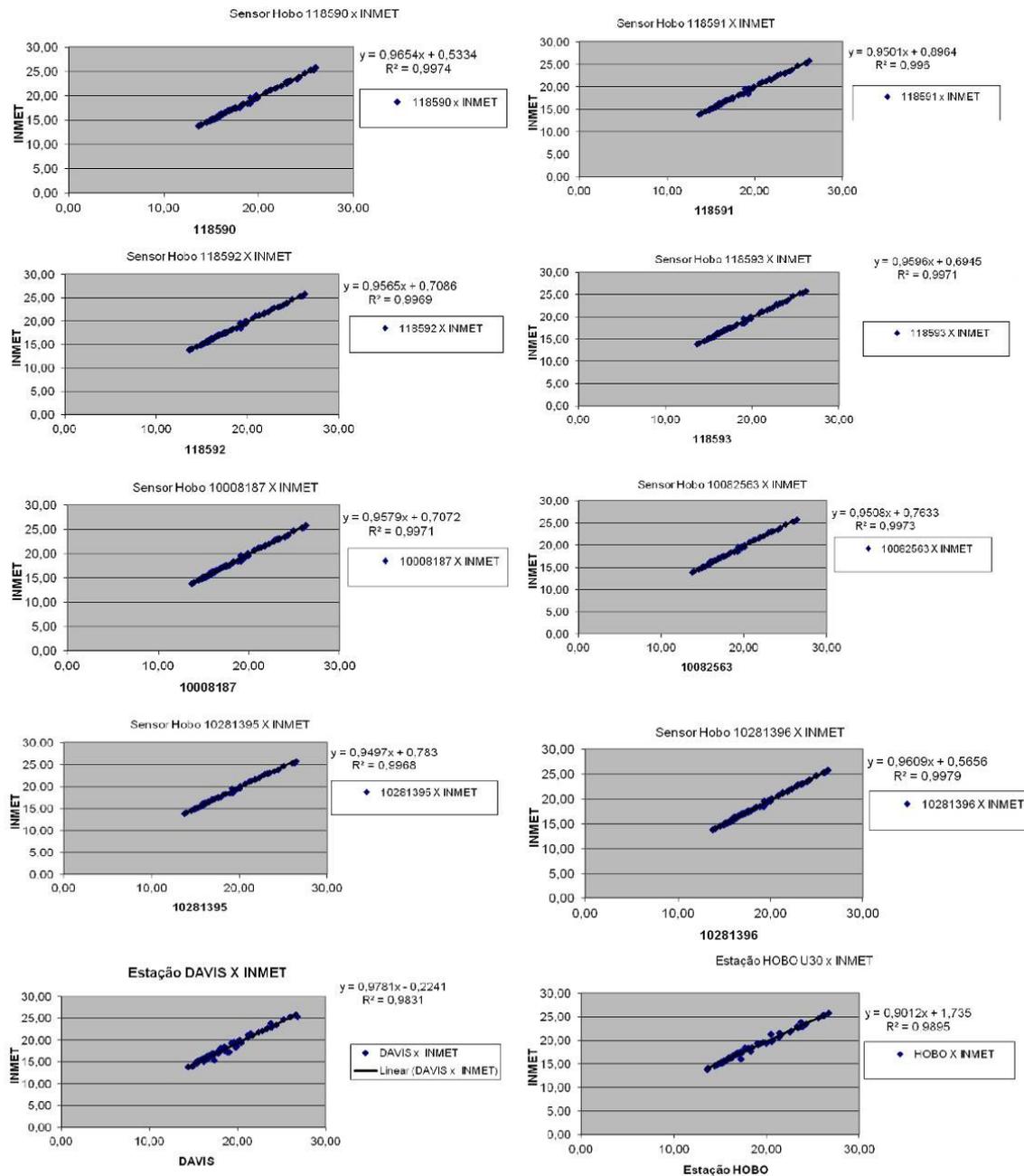


Figura 91 – Gráficos de dispersão dos dados obtidos pelos sensores

Após a aplicação dos valores de y gerados a partir da análise dos gráficos de dispersão, as discrepâncias entre os valores de temperatura para a Estação Meteorológica Davis, Hobo U30 e demais sensores U23 foram reduzidas, conforme os gráficos das figuras 92 e 93. Após a calibração, a maior discrepância entre os valores foi de 0,21°C, valor muito próximo à precisão dos sensores especificada pelos fabricantes.

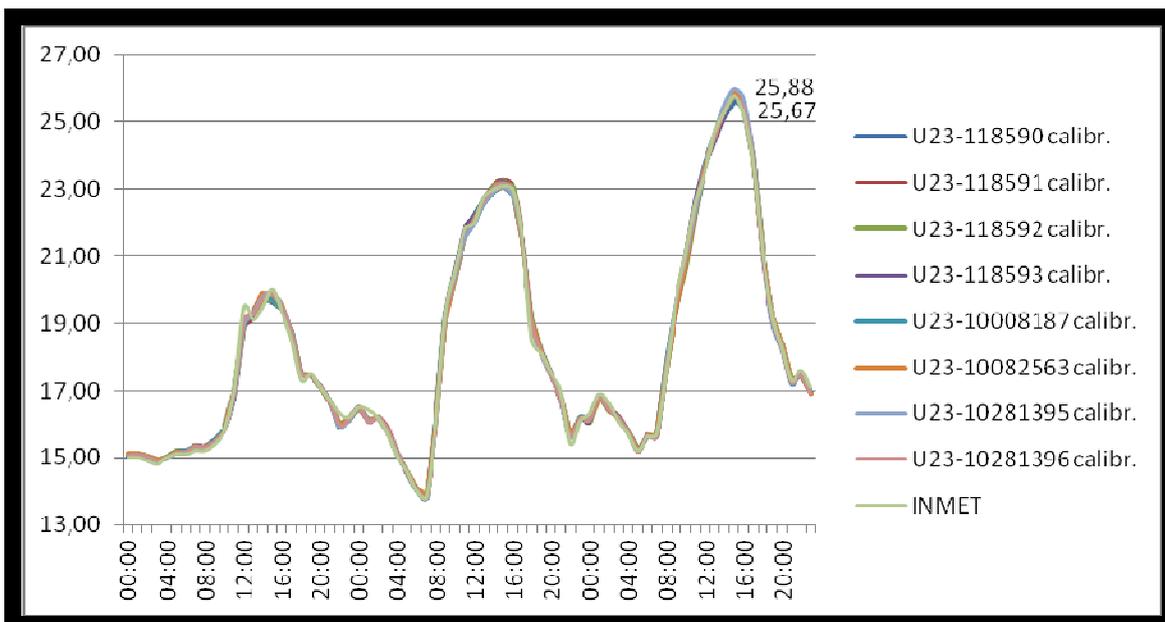


Figura 92 – Dados dos sensores HOBO U-23 após a calibração

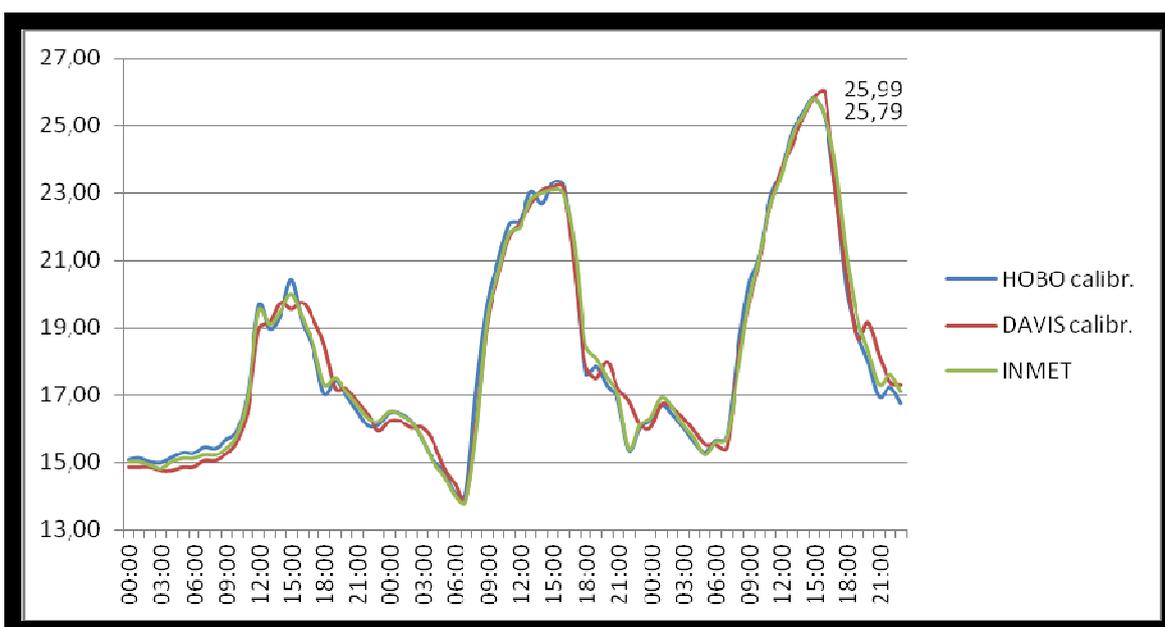


Figura 93 – Dados das estações meteorológicas HOBO e DAVIS após a calibração

3.5. Etapa 3 - Análise climática regional e determinação da escala temporal

O território paulista encontra-se no limite de duas zonas climáticas – a Intertropical e a Subtropical. Na primeira, desenvolvem-se climas controlados por massas equatoriais e tropicais, enquanto na segunda desenvolvem-se climas controlados por massas tropicais e polares. Esse aspecto determina as características de verão quente

e chuvoso e invernos secos. Nimer (1979) relata que fatores de ordem estática e natureza dinâmica se combinam para definir os processos climatológicos da Região Sudeste, onde está situada a cidade de São José do Rio Preto e recebe influências das perturbações climáticas típicas dessa região. Segundo o mesmo autor, a Região Sudeste está localizada sob a trajetória preferida das frentes polares e, frequentemente, o sistema de circulação do anticiclone polar das altas latitudes e o sistema de circulação dos anticiclones do Atlântico Sul das baixas latitudes se combinam em equilíbrio dinâmico, fato que caracteriza a diversificação do clima da região (Figuras 94, 95 e 96).

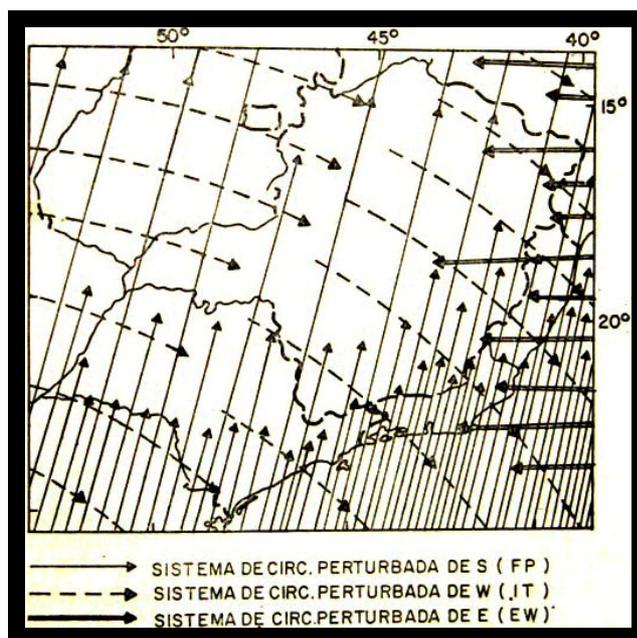


Figura 94 – Sistema de Circulação Atmosférica Perturbada na Região Sudeste
Fonte: Nimer (1979)

De acordo com Monteiro (1973), o território paulista é vulnerável à ação das principais correntes da circulação atmosférica da América do Sul. As massas Tropical Atlântica e Continental, Polar Atlântica e Equatorial Continental, juntamente com os fatores geográficos de posicionamento e relevo, contribuem para definir as características de climas tropicais alternadamente secos e úmidos.

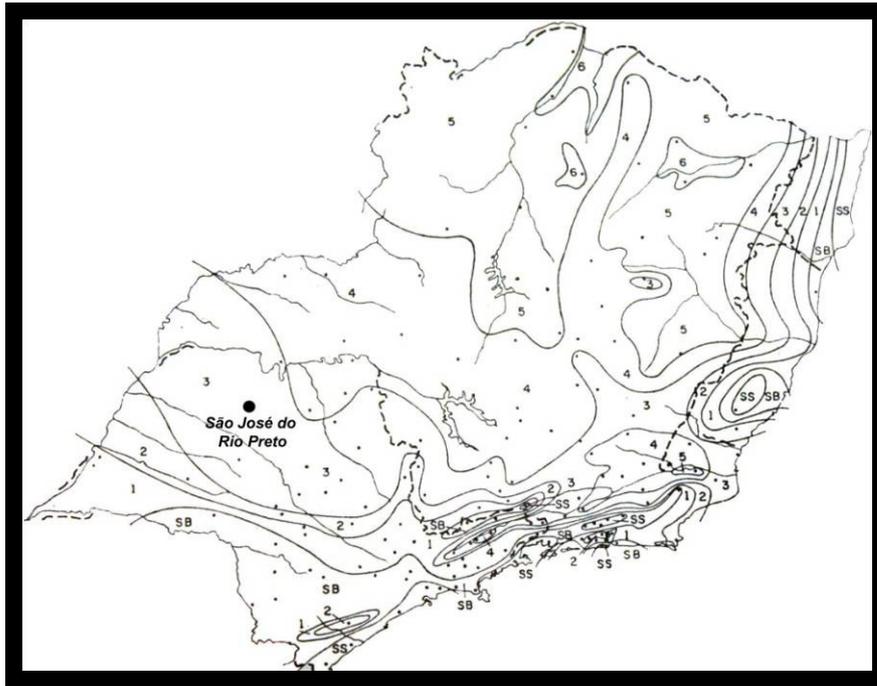


Figura 95 – Duração do Período Seco na Região Sudeste – São José do Rio Preto - 3 meses
 Fonte: Adaptada de Nimer 1979

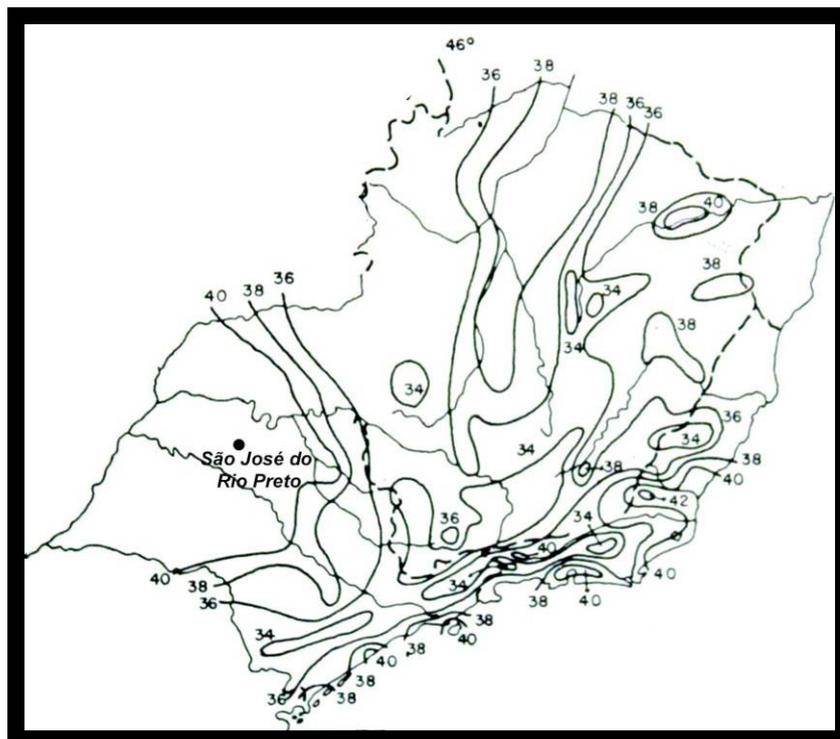


Figura 96 – Temperaturas máximas absolutas na Região Sudeste – São José do Rio Preto
 Fonte: Adaptada de Nimer 1979

Segundo Castilho (2006), os volumes anuais de chuvas sofrem muita variação, e se distribuem irregularmente, em função de interferências atmosféricas regionais. O

período chuvoso ocorre entre dezembro e março e coincide com o período mais quente. Entre junho e agosto ocorre o período o seco que apresenta índices de umidade bastante reduzidos e temperaturas mais amenas.

Peel et al. (2007) atualizaram o mapa de classificação climática mundial criado por Köppen-Geiger e classificam São José do Rio Preto como Aw, que corresponde ao clima Tropical de Altitude com invernos secos, verões quentes e chuvosos. A temperatura média no inverno fica próxima aos 18°C e 30°C no verão. A umidade relativa do ar média anual se situa na casa dos 70% aproximadamente, podendo chegar até abaixo de 20% nos meses mais secos (Figura 97).

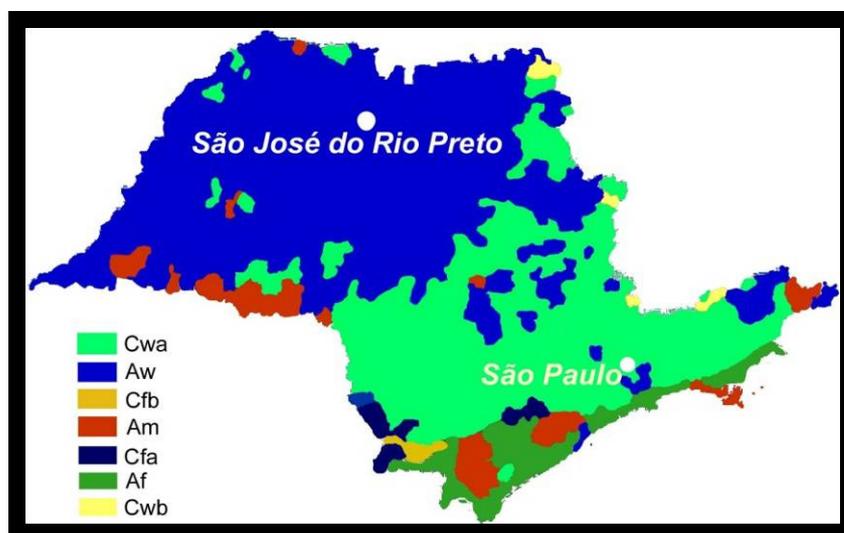


Figura 97 – Adaptado da Atualização da classificação climática mundial criada por Köppen-Geiger.
Fonte: adaptada de Peel (2007)

A predominância do vento na região de São José do Rio Preto durante os meses de inverno ocorre na direção sudeste, principalmente durante a noite. O vento proveniente da direção nordeste também é bastante frequente e predomina principalmente sob o domínio da Massa Tropical Atlântica, o que confere períodos de atmosfera estável e seca ao longo do inverno. A Figura 98 apresenta a variação da velocidade e direção do vento e, apesar da direção sudeste ser predominante, as rajadas mais intensas ocorrem na direção noroeste durante o dia ao longo do ano.

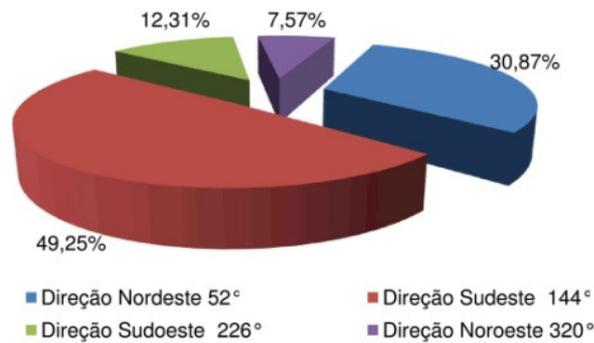


Figura 98 – Porcentagem da direção predominante do vento durante o inverno.
Fonte: Masiero & Souza (2012a)

A determinação de janela de tempo para análise dos dados ocorre após a detecção de períodos que se caracterizam pelo comportamento atmosférico estável, céu claro, vento fraco, irradiância global horizontal intensa.

Os períodos mais quentes e secos foram selecionados, de forma que a detecção da influência da umidade proveniente do corpo d'água ficasse mais evidente. Após o tratamento dos dados e a confecção dos gráficos analíticos, foi realizado o cálculo da umidade absoluta, através da carta psicrométrica. A relação psicrométrica deste fenômeno foi realizada com o auxílio do programa computacional *Psicrom 1.0* (RORIZ, 2003).

3.6. Etapa 4 - Localização de informações através de mapeamento

O comportamento das variações de temperatura e de umidade absoluta pode ser associado às condições físicas e geográficas de implantação de São José do Rio Preto. O mapeamento dos dados de temperatura e umidade foi realizado com auxílio do programa computacional *Surfer 11*, o qual foi aplicado para estabelecer graficamente as diferenças intraurbanas entre os dados coletados.

Os dados coletados nos treze pontos espalhados pela malha urbana foram interpolados pelo método da Krigagem para estimar a variação de valores entre eles.

3.7. Etapa 5 - Análise gráfica e qualitativa

Após a localização dos dados coletados através do mapeamento, foi feita uma análise gráfica e qualitativa da distribuição da umidade absoluta pela malha urbana e da variação da temperatura, sob diversas condições climáticas, e estabelecidas às relações com as características físicas, geográficas e de uso e ocupação do solo da cidade. Os gráficos tanto de variação dos valores dos parâmetros microclimáticos assim como os gráficos de dispersão estatística foram traçados com o auxílio do programa computacional Excel. As rosas dos ventos dos períodos analisados foram traçadas com o programa computacional *WR Plot*, o qual relaciona graficamente a frequência e a intensidade das variações de direção e velocidade do vento. O programa *AutoCAD* auxiliou na confecção dos mapas, juntamente com os mapas de isolinhas gerados pelo *Surfer 11*, sobrepostos nos arquivos vetoriais.

Após traçados os gráficos analíticos das variáveis microclimáticas, com os recortes de tempo, foram relacionadas a cada uma das LCZs monitoradas, de modo a se detectar a influência da morfologia urbana na alteração dos parâmetros micrometeorológicos, de acordo com cada situação específica macrometeorológica.

3.8. Etapa 6 - sugestões para o planejamento urbano

Com base no comportamento microclimático detectado e característico dos locais estudados, algumas sugestões foram feitas para futuras intervenções urbanas em áreas já consolidadas e outras para o planejamento do meio físico para novas áreas de ocupação humana em São José do Rio Preto.

4. Resultados

Os resultados de cada campanha de levantamento de dados são apresentados separadamente. Embora haja semelhança nos procedimentos de recorte de tempo e espaço, os enfoques, em termos de escala e dados micrometeorológicos, foram distintos. Como a campanha 1 de levantamento de dados enfocou uma escala que abrangesse o perímetro urbano como um todo, as diversas configurações espaciais foram tratadas de forma genérica e com pouco detalhamento. A campanha 2 recebeu um número maior de áreas monitoradas e as características da morfologia urbana foram tratadas mais detalhadamente. Além dos dados de variação de temperatura, umidade, velocidade e direção do vento, a Campanha 2 também incluiu o monitoramento da evaporação da água e da irradiância global horizontal, de forma que fosse possível agregar novos parâmetros e compreender mais detalhadamente a conjunção de fatores atuantes no ambiente térmico urbano.

4.1. Resultados da Campanha 1

De acordo com os valores levantados do período entre 05 e 08 de Outubro de 2012 e com a Rosa dos Ventos da Figura 99, verificaram-se valores de velocidade do vento próximos a 2,1 m/s provenientes da direção sudeste. A irradiância global horizontal se aproximou dos 700 W/m² nos horários de pico e céu claro, conferindo uma classificação de estabilidade atmosférica A, de acordo com o sistema PGT.

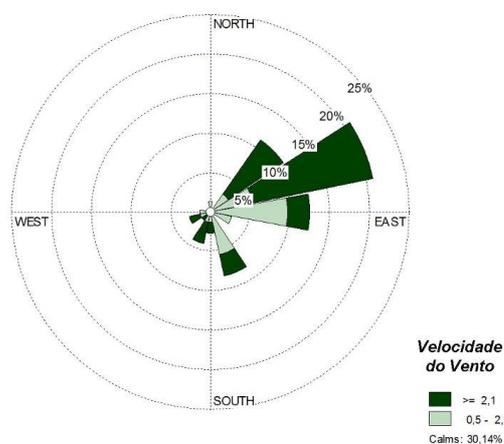


Figura 99 – Rosa dos Ventos entre 05 e 08 de Outubro 2012

Os resultados para a temperatura do ar são demonstrados na figura 100. Foi detectado que o ponto 2 (margem da represa) permaneceu, em média, aproximadamente 2°C abaixo do ponto 4 (zona norte residencial) nos horários mais quentes dos três dias de mediação. Tal fato está relacionado à abundante presença de água no ponto 2 e à escassez de elementos que contribuam para a umidificação do ar no ponto 4, principalmente pelo baixo índice de áreas verdes da zona norte da cidade. O fenômeno do resfriamento evaporativo adiabático, que ocorre com maior intensidade no ponto 2, pode ser observado como resultado do fluxo de ar que atravessa um meio úmido e favorece a evaporação da água junto com a redução da temperatura do ar. Vale ressaltar que, devido ao uso de diferentes tipos de sensores durante a etapa de coleta de dados, a imprecisão dos resultados pode chegar até $\pm 0,5$ °C entre os quatro pontos estudados durante esta campanha.

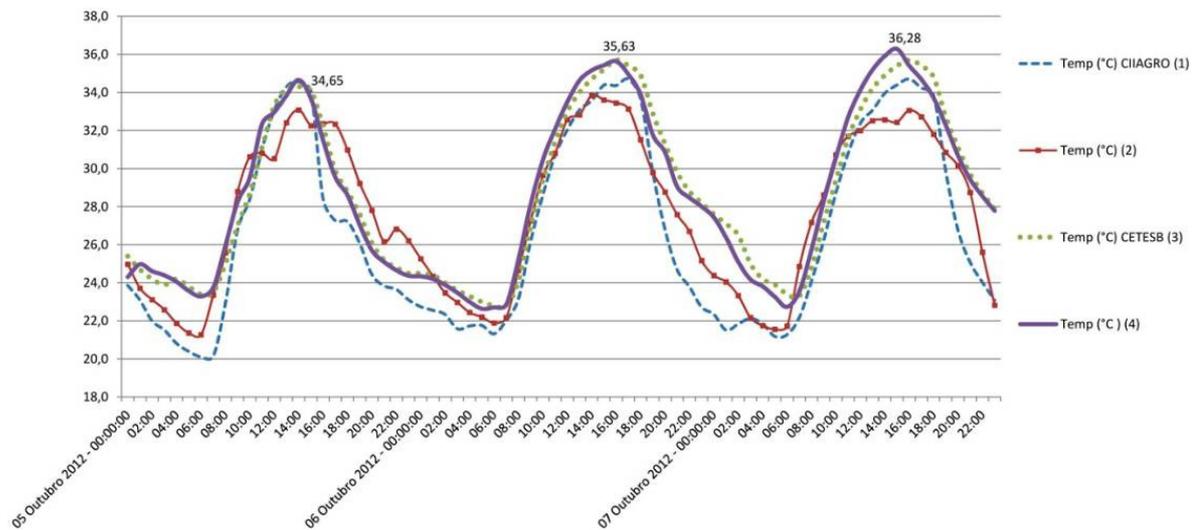


Figura 100 – Variação da temperatura do ar entre 4 pontos urbanos

A alta taxa de impermeabilização do solo favorece a rápida evaporação e também contribui para que a retenção da umidade no ambiente urbano seja reduzida. Foi registrada uma diferença de aproximadamente 7 g/m³ entre o ponto 2 (margem da represa) e o ponto 4 (zona norte residencial), no horário mais seco do estudo, ou seja, às 10h do dia 07 de Outubro 2012 (Figura 101).

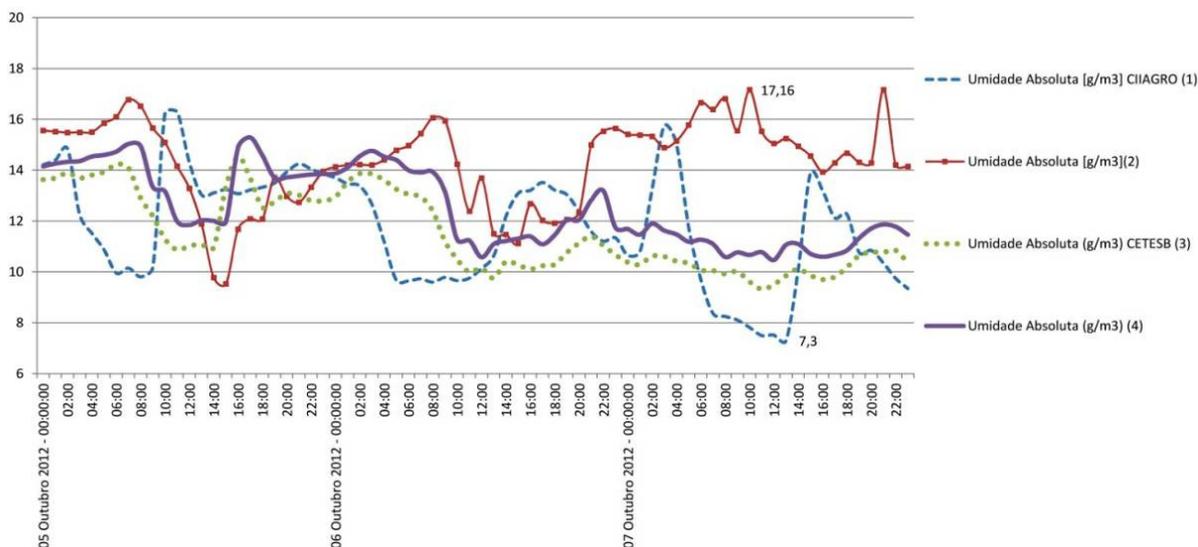


Figura 101 – Variação da Umidade Absoluta entre 4 pontos urbanos

Os valores de umidade relativa do ar também apresentaram variações excessivas entre os diversos pontos medidos na área urbana, de modo que fica evidente a forte influência da composição dos elementos urbanos na qualidade do ambiente térmico. No dia 07 de Outubro 2012, a máxima diferença registrada foi de aproximadamente 32% entre o ponto mais seco e o mais úmido (Figura 102).

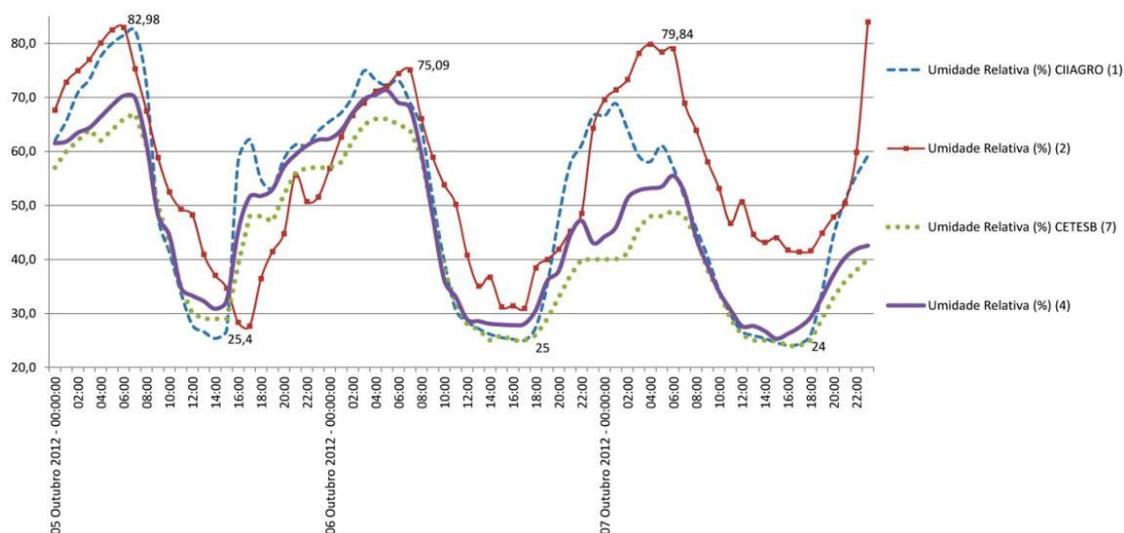


Figura 102 – Variação da Umidade Relativa entre 4 pontos urbanos

A figura 103 apresenta a variação dos índices de umidade absoluta no ponto 2, de acordo com a atuação da direção do vento. É possível compreender que, conforme o vento soprou de oeste para leste no dia 05 de Outubro de 2012, os índices de umidade

foram fortemente reduzidos, consequência da perda de umidade da massa de ar ao atravessar a área urbana antes de atingir o sensor. Conforme o vento soprou de leste para oeste, a massa de ar foi umidificada pela água da represa antes de atingir o sensor, e, portanto, os índices de umidade absoluta registrados foram maiores no dia 07 de Outubro de 2012.

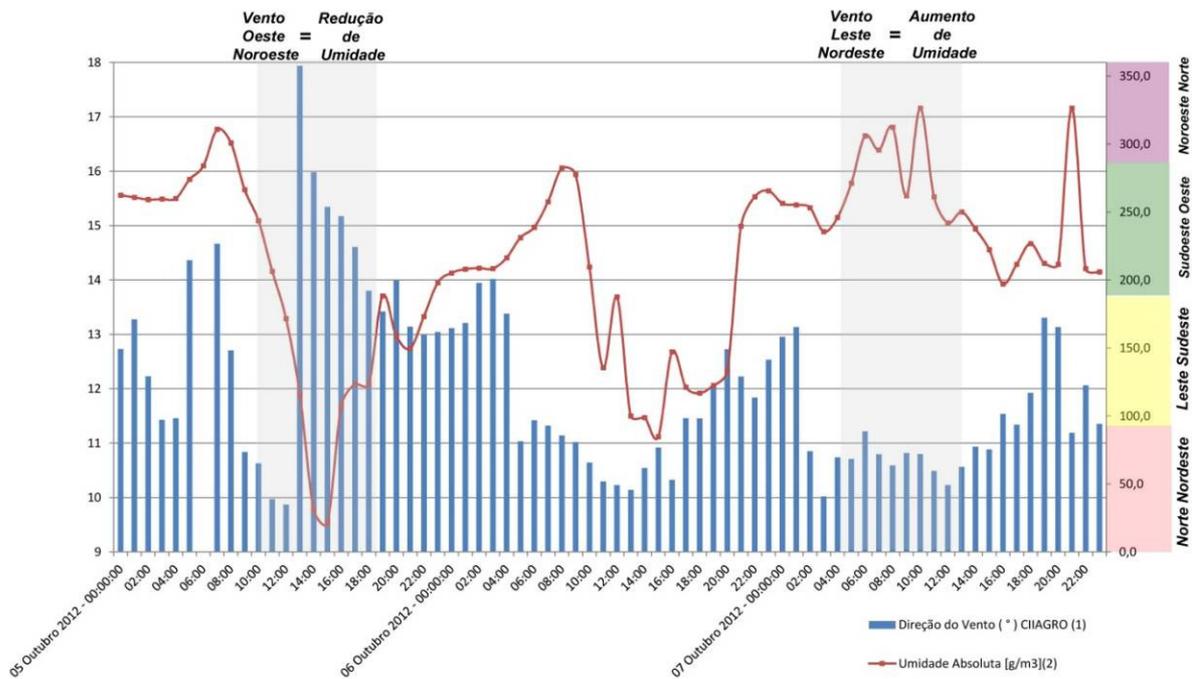


Figura 103 – Variação da Umidade Absoluta comparada com a atuação do vento no ponto 2

O estudo das condições de temperatura e umidade através de mapeamento contribuiu para uma análise genérica dos fenômenos envolvidos de trocas de calor no ambiente urbano e para a compreensão da tendência de comportamento e dos limites de influência do corpo d'água.

A Figura 104 apresenta o mapeamento da distribuição dos valores de temperatura que ocorreram no dia 07 de outubro de 2012 às 15h. É possível verificar graficamente que a área ao redor da represa municipal apresenta as temperaturas mais amenas da cidade. Inclusive, a área central, a qual é a de ocupação mais densa e impermeabilizada, não apresenta os maiores índices de temperatura do município, devido a sua proximidade com o corpo d'água. Embora o sombreamento provocado pelo conjunto de edifícios nos cânions urbanos possa contribuir para o registro das temperaturas mais baixas no centro da cidade do que as da área norte, destaca-se que a presença da umidade nas áreas centrais influi de fato nos valores de temperatura.

Outro fator de suma importância refere-se à diferença de cota de nível existente entre a zona norte e a zona sul da cidade. Pelo fato da zona norte estar situada na região mais elevada, é provável que a umidade disponibilizada pela represa municipal não influencie significativamente às condições térmicas, de modo que a umidade do ar tende a se distribuir mais facilmente pelos vales em um entorno imediato, dependendo das condições de vento. Desta forma, recomenda-se que o planejamento urbano produza mecanismos que contribuam, tanto para a permeabilidade ao vento, como também crie estratégias de redução das taxas de evaporação nas áreas periféricas da cidade.

A Figura 105 apresenta a localização através de mapeamento da distribuição dos valores de umidade absoluta. Foi escolhido o dia 07 de Outubro 2012 às 10h, por ser o momento que apresentou as maiores variações ao longo do período de estudo. Constatou-se que a represa municipal representa um importante elemento urbano para a criação de condições microclimáticas mais agradáveis na região central. No entanto, o perfil topográfico natural e a ocupação mais adensada no sentido nordeste – sudoeste são fatores decisivos que prejudicam a permeabilidade aos ventos e a distribuição homogênea da umidade. Ambos os fatores se tornam barreiras, que impedem que a combinação de ventos com a umidade da represa atinjam as áreas mais elevadas e áridas da cidade, situadas na zona norte.

Os mapas de distribuição de temperatura e umidade são resultados de interpolações de valores monitorados em poucos pontos em campo e apresentam aproximações decorrentes dos cálculos geostatísticos da Krigagem, de forma que a precisão do estudo pode aumentar, com o aumento do número de pontos.

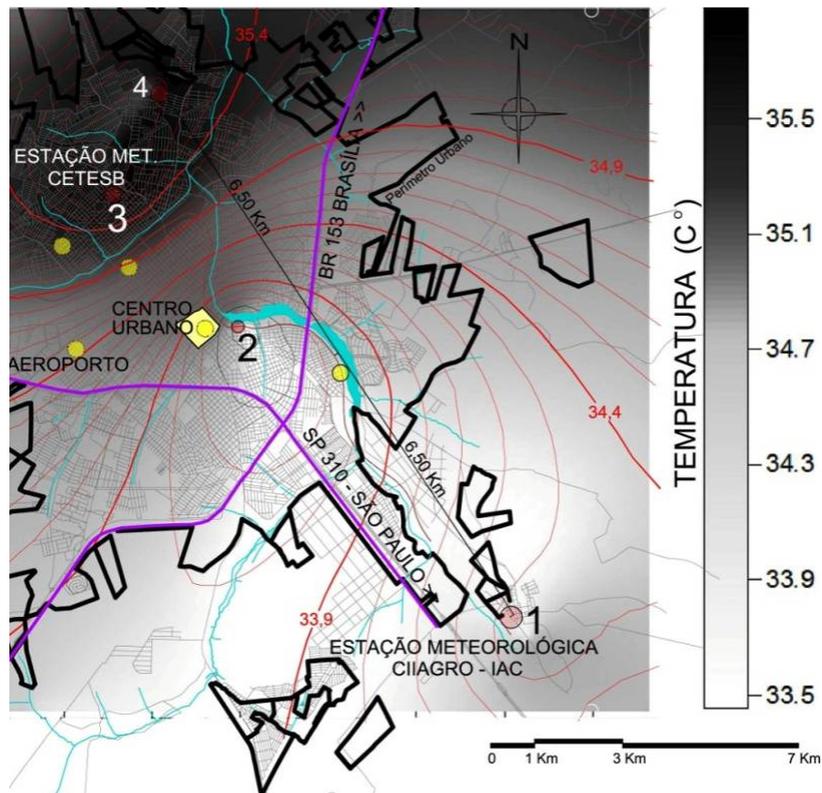


Figura 104 – Distribuição dos valores de temperatura – tendência de aumento na área norte

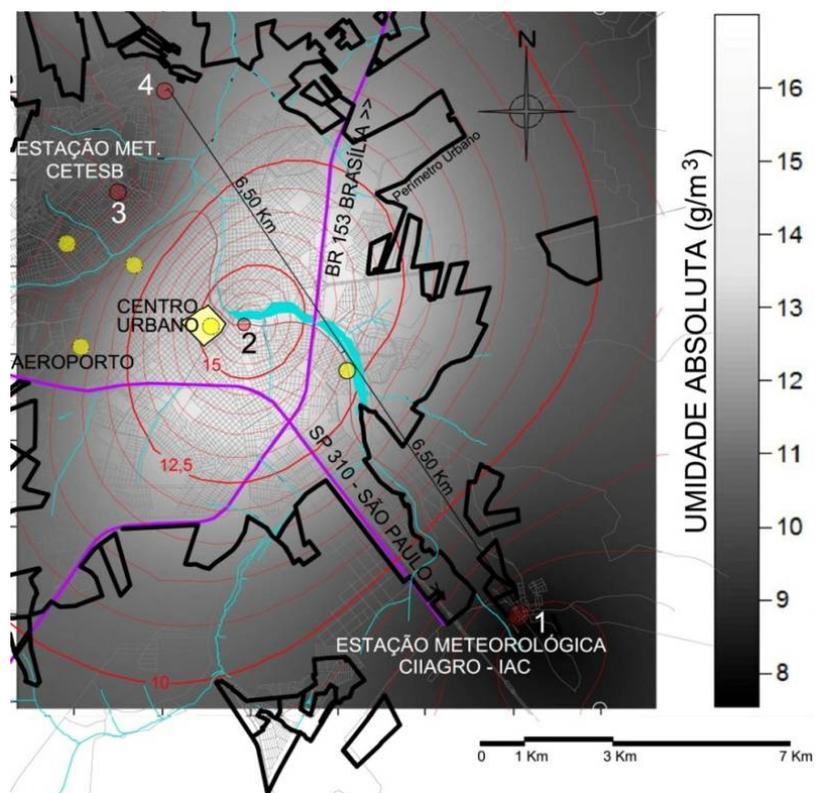


Figura 105 – Distribuição dos valores de umidade absoluta – tendência da redução na área norte

4.2. Resultados da Campanha 2

Durante a campanha 2, realizada entre 09 de Junho e 07 de Julho de 2013, verificou-se pelos dados levantados e pela Rosa dos Ventos (da figura 106), que a direção do ventos variou entre norte, nordeste e sudeste, sendo que a atuação na direção sudeste foi levemente mais frequente que as demais. A velocidade do vento variou entre 0,5 e 2,1 m/s chegando poucas vezes a ultrapassar estes valores.

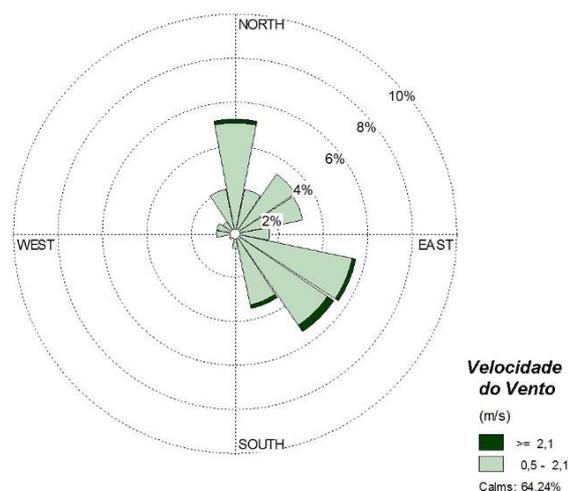


Figura 106 – Vento de 09 de Junho a 07 Julho 2013

A irradiância global horizontal permaneceu entre 500 e 800 W/m² nos horários de pico, sendo que a única exceção do período ocorreu entre os dias 15 e 16 de Junho de 2013. Nesse período houve variação repentina da direção e da velocidade do vento, ocorreram chuvas e céu nublado, fatores que conferiram condições instáveis da atmosfera e impróprios para análise dos fenômenos microclimáticos urbanos. Os períodos mais estáveis da atmosfera ocorreram no início e no final do mês de Junho, sendo que, em ambos os casos, a classificação atmosférica de acordo com o sistema PGT varia entre E e F em ambos os períodos (Figura 107).

O volume total de água evaporada registrado pelo sensor de nível d'água do tanque Classe A foi de aproximadamente 97mm ao longo do período de análise. O valor médio de volume de água evaporada por dia foi de aproximadamente 3,20mm.

Os dados de temperatura, direção e velocidade do vento, umidade relativa e absoluta e irradiância global horizontal coletados no Ponto 12 foram relacionados com o

volume diários de água evaporada, para se verificar quais as variáveis que mais contribuem para o aumento do processo de evaporação da água.

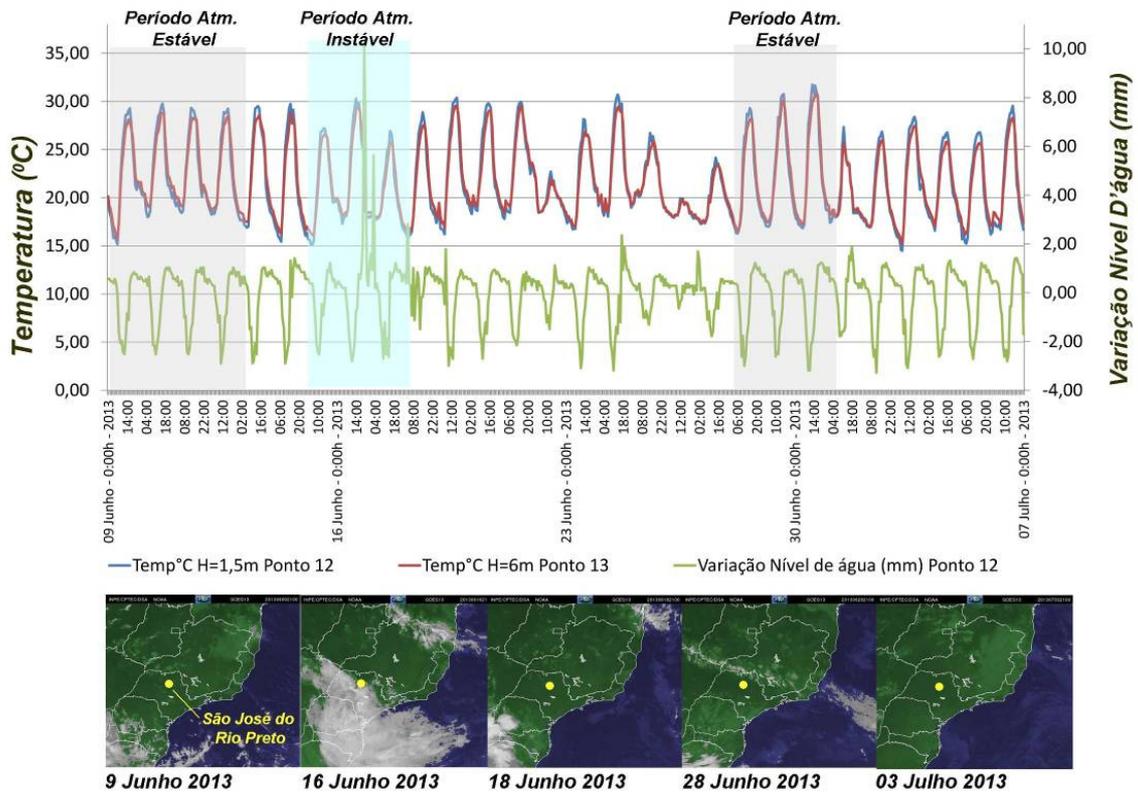


Figura 107 – Variação de nível d'água e temperatura no Ponto 12

De acordo com a figura 108, não é possível verificar um padrão de comportamento entre a direção do vento e o aumento do processo de evaporação. No entanto, de acordo com a figura 109, o aumento da velocidade do vento indica o aumento das taxas de evaporação.

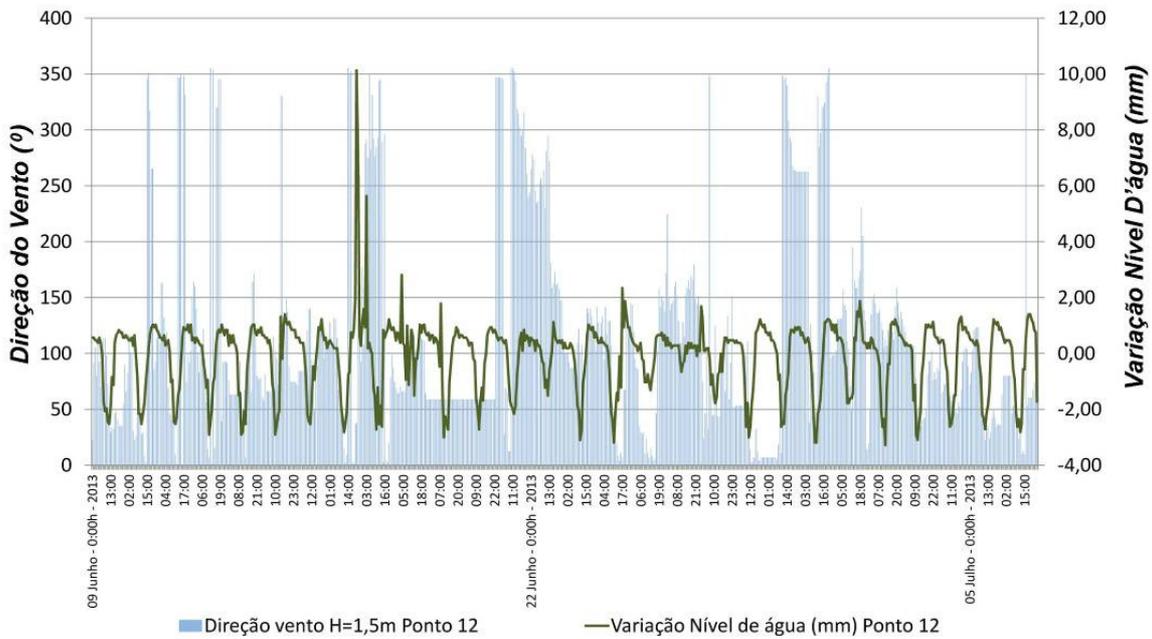


Figura 108 – Variação de nível d'água e direção do vento no Ponto 12

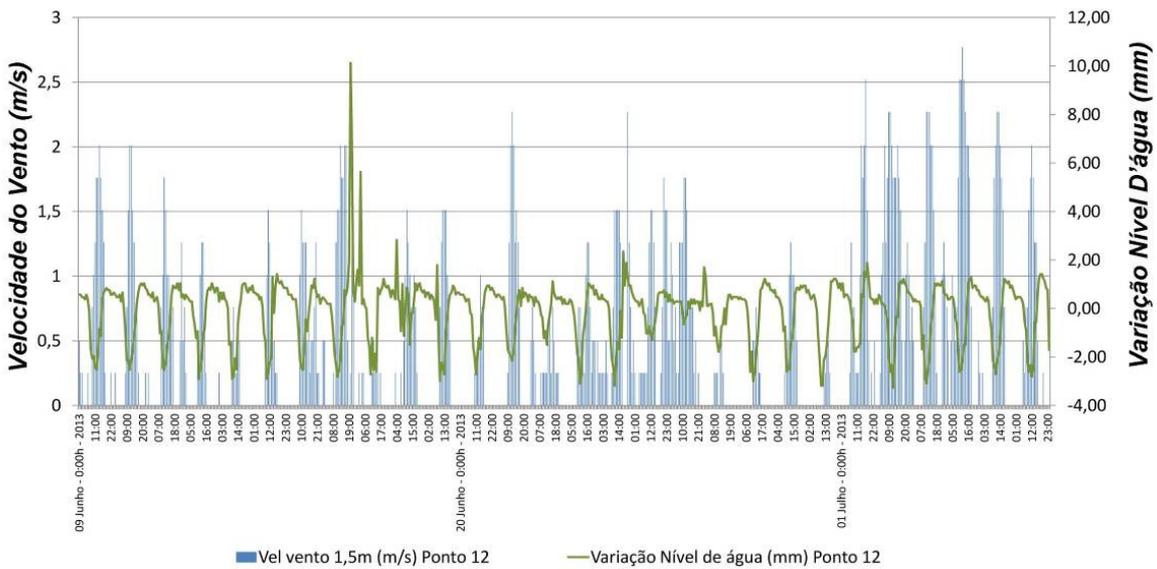


Figura 109 – Variação de nível d'água e velocidade do vento no Ponto 12

A figura 110 indica que também não há uma relação direta e evidente entre a variação dos valores de umidade absoluta e os valores de volume de água evaporada. Observa-se que mesmo durante o período de baixa umidade, que ocorreu no início do mês de Julho, o padrão de evaporação se manteve estável. Desse modo, a variação da Umidade Absoluta das massas de ar atuantes na região em um determinado período tem influência relativamente pequena nas taxas de evaporação da represa.

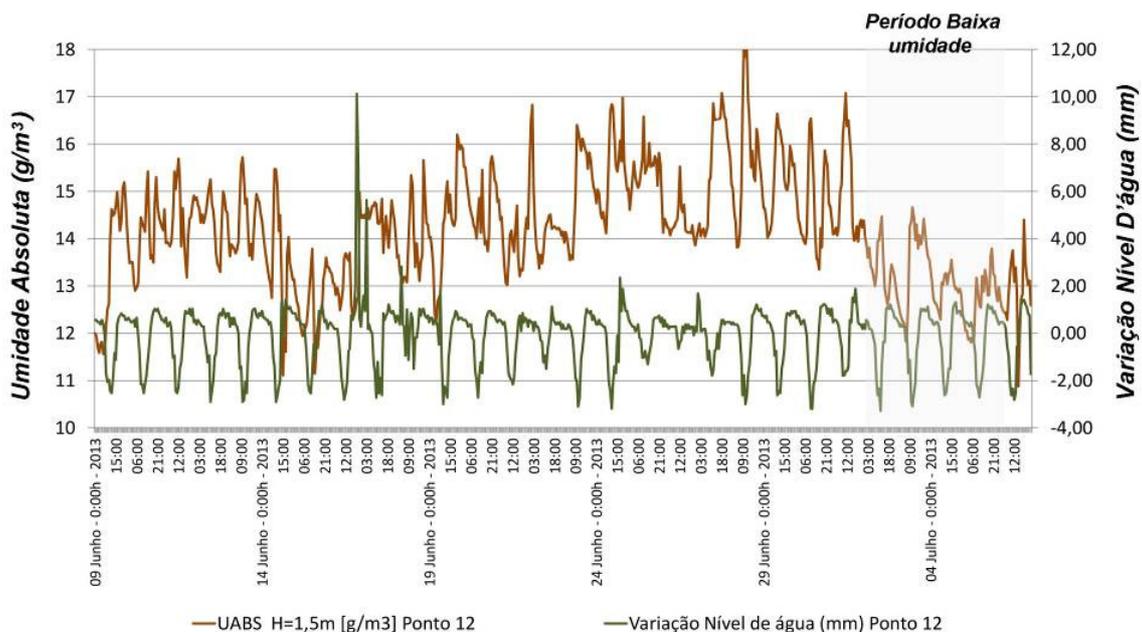


Figura 110 – Variação de nível d'água e variação de umidade absoluta no Ponto 12

A figura 111 indica um padrão de aumento da evaporação com a diminuição da umidade relativa durante o dia e uma diminuição da evaporação durante os períodos noturnos. Observa-se, inclusive, que entre os dias 25 e 26 de Junho de 2013 os valores de umidade relativa permaneceram elevados. Devido ao tempo parcialmente nublado, a irradiância global horizontal diurna verificada apresentou baixos valores e o volume de água evaporada também foi menor do que os dias subsequentes.

A variação da umidade relativa não necessariamente pode estar correlacionada diretamente à variação do volume de água evaporada, devido ao fato da umidade absoluta ter apresentado baixa influência também. Assim, a irradiância global horizontal se apresenta como o fator de maior capacidade para otimizar o aumento das taxas de evaporação da água no ambiente urbano (Figura 111).

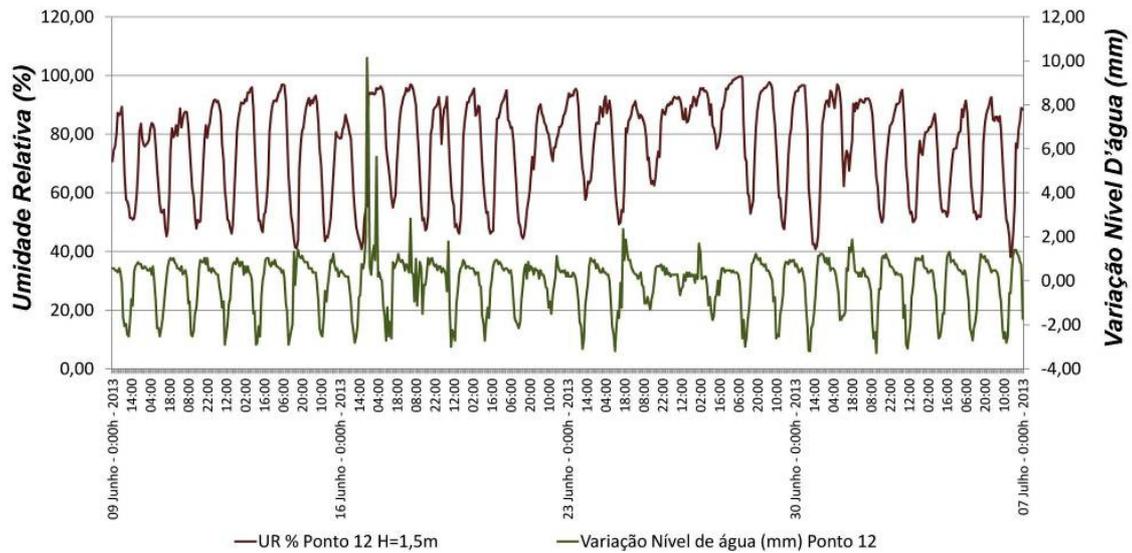


Figura 111 – Variação de nível d'água e variação de umidade relativa no Ponto 12

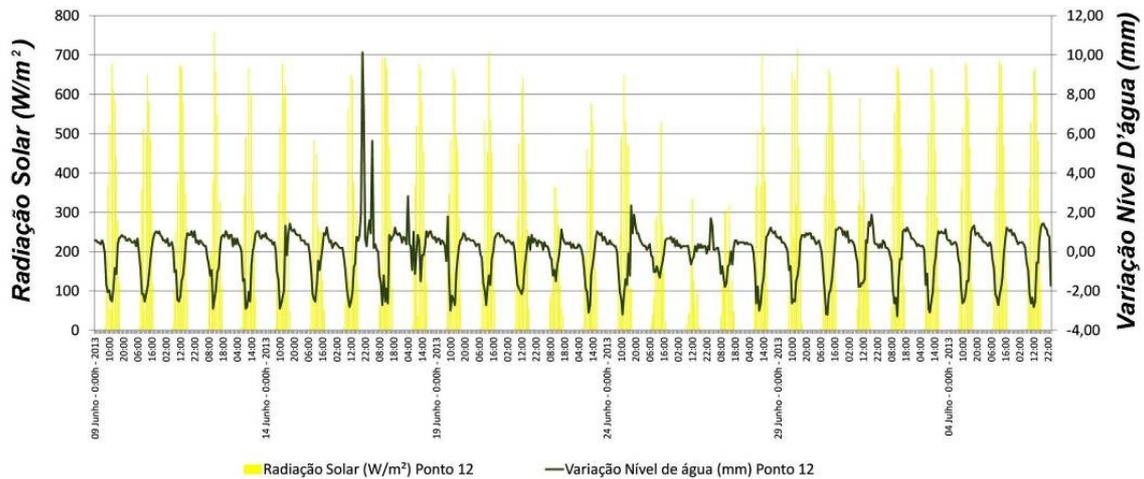


Figura 112 – Variação de nível d'água e variação de incidência de irradiância global horizontal Ponto 12

A irradiância global horizontal apresentou maior valor de correlação entre as diversas variáveis monitoradas, chegando ao coeficiente de correlação de $r=0,65$, e assim, apresentou maior capacidade de influência direta no aumento das taxas de evaporação durante o período avaliado (Figura 113).

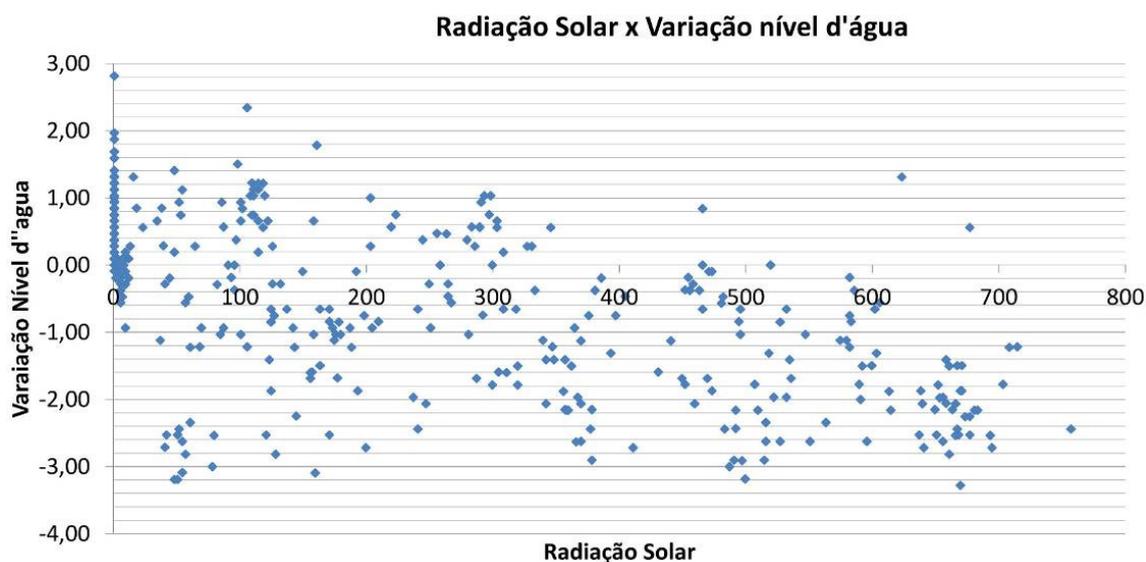


Figura 113 – Coeficiente de correlação entre irradiância global horizontal x variação de nível d'água, $r=0,65$

A temperatura do ar e a velocidade do vento apresentaram valores próximos a 0,40 e ainda assim demonstraram alguma capacidade em influenciar as taxas de evaporação. Todas as demais variáveis macroclimáticas monitoradas indicaram valores inferiores a 0,40 e indicaram pequena influência na variação das taxas de evaporação (Figura 114).

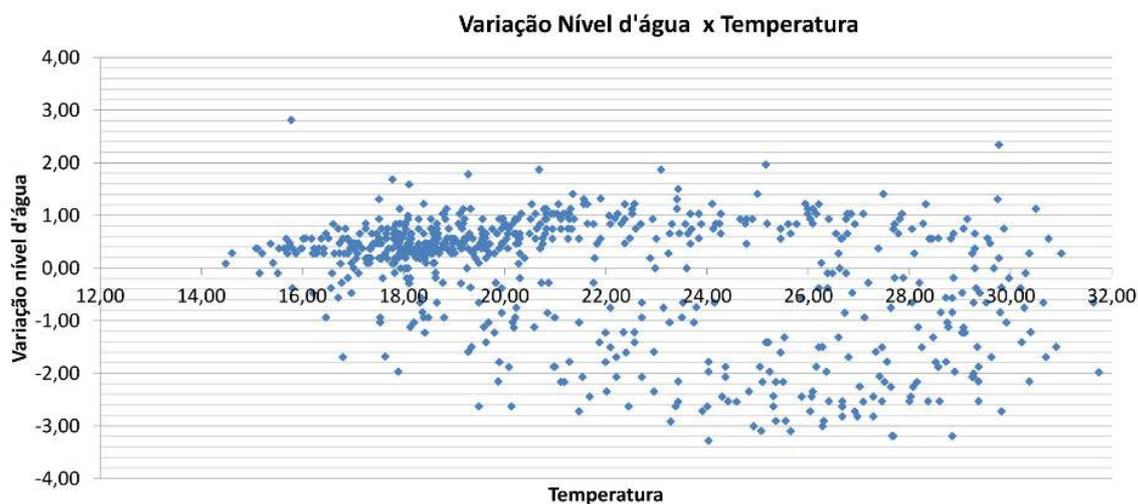


Figura 114 – Coeficiente de correlação entre temperatura x variação de nível d'água, $r=0,346$

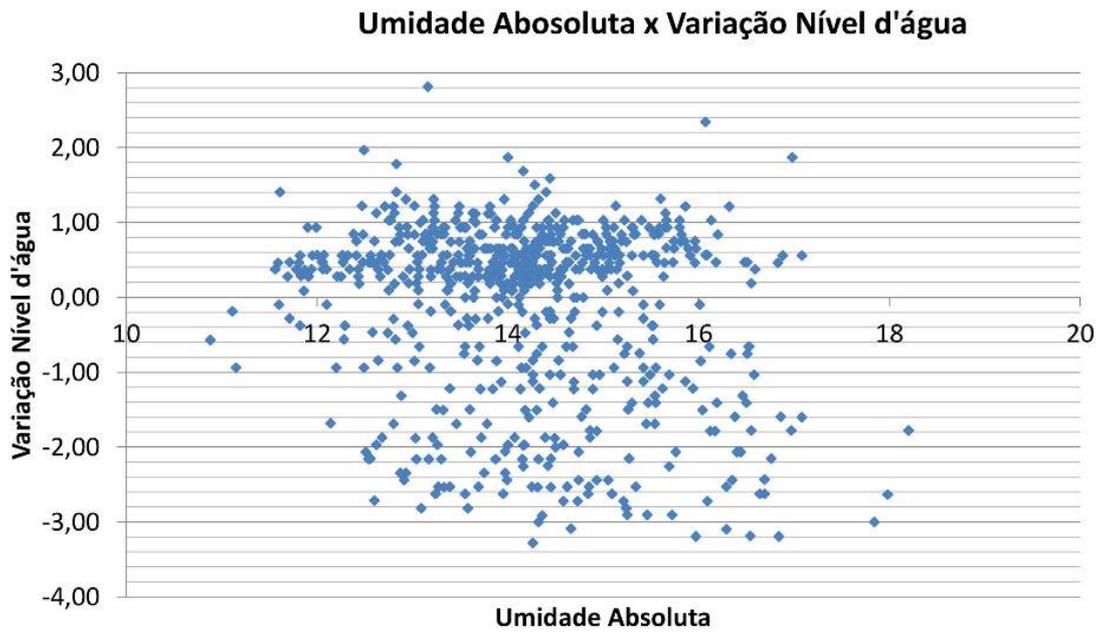


Figura 115 – Coeficiente de correlação entre umidade absoluta x variação de nível d'água, $r=0,19$

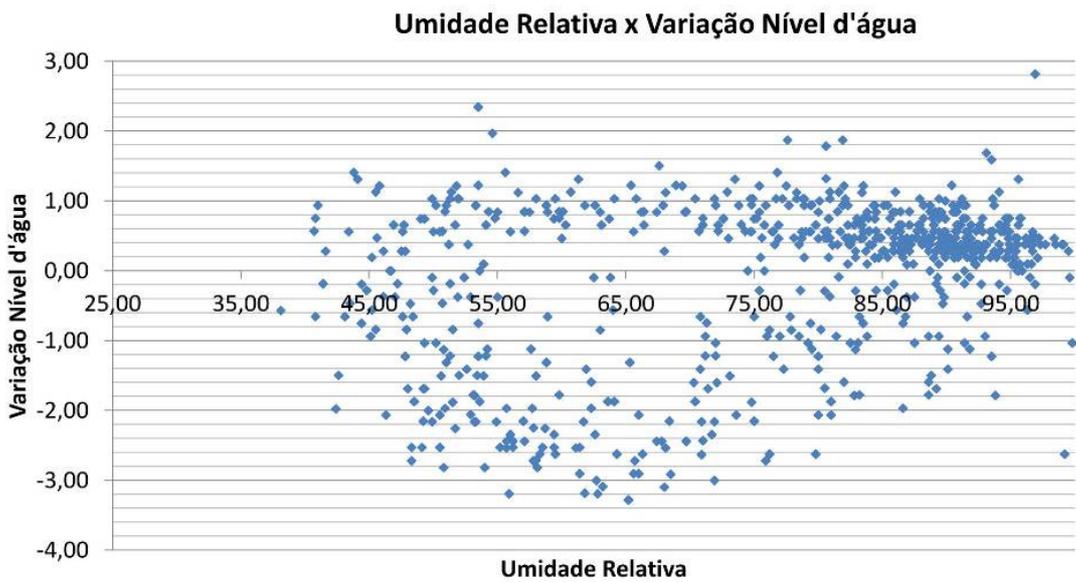


Figura 116 – Coeficiente de correlação entre umidade relativa x variação de nível d'água, $r=0,31$

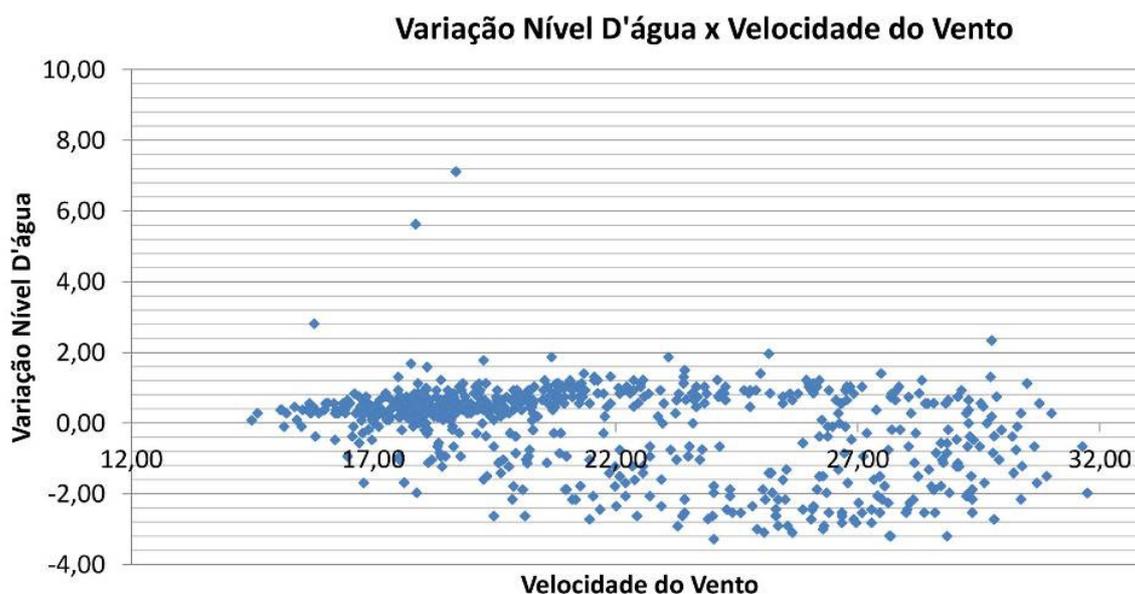


Figura 117 – Coeficiente de correlação entre velocidade do vento x variação de nível d'água, $r=0,346$

Dentre todos os fatores climáticos analisados, os que mais influenciam na evaporação são, respectivamente, a irradiância global horizontal e a temperatura. Embora o vento apresente a menor influência na taxa de evaporação da lâmina d'água da represa, é o fator que contribui para distribuir a umidade pelo espaço urbano. Por isso, o planejamento do ambiente construído se torna importante, para que o aproveitamento do recurso eólico possa ser maximizado na melhoria do ambiente térmico urbano. Conforme a umidade do ar permanece elevada, a amplitude térmica diária tende a ser reduzida. Assim, a figura 118 apresenta uma relação entre a amplitude térmica de todos os recortes urbanos monitorados, sendo verificado que os que mantiveram os menores valores foram o ponto 10 e o ponto 2, respectivamente. Tanto o ponto 10 quanto o ponto 2 permaneceram situados a menos de 100m das margens e altamente sujeitos a influência da umidade proveniente da represa. O Fator de Visão do Céu do Ponto 10 de 0,75 indica um ambiente com baixa densidade construída, muitas áreas com vegetação rasteira e arbórea. Desse modo, a proximidade com o corpo d'água e a facilidade de penetração da umidade são os fatores que mais podem estar associados a este comportamento. Os pontos 5 e 6 estão situados na região central entre 700 e 1.100m, a qual apresenta os menores valores de Fator de Visão do Céu e as maiores taxas de adensamento do ambiente construído. Dessa forma, a presença de diversos cânions urbanos situados nas direções Nordeste – Sudoeste e Noroeste – Sudeste das vias centrais, muitas sombras provocadas pelas edificações e relevo

relativamente suave, propiciam a penetração das massas de ar umidificadas. De tal maneira, a área central apresentou variações de temperatura e umidade próximas aos valores encontrados nos arredores do corpo d'água.

Os maiores valores de amplitude térmica foram verificados na área rural – ponto 1 e na zona norte da cidade – ponto 4, a qual apresenta altos índices de solo impermeabilizado, vegetação escassa, topografia suave, porém elevada – acima dos 530m de altitude –, distante mais de 5.000m do corpo d'água e longe de qualquer influência da umidade disponibilizada pela represa ou por outra superfície que possa lhe fornecer umidade. Desta forma, a zona norte da cidade aproveita pouco dos recursos ambientais disponíveis na região para se criar microclimas favoráveis.

A figura 119 apresenta os valores de amplitude da umidade absoluta e verifica-se que os Pontos 8 e 9, apesar de estarem a menos de 1.000 m da represa, estão situados em regiões elevadas da cidade, com ruas implantadas em direções desfavoráveis à ação do vento sudeste, pouco sombreamento devido à predominância de habitações térreas e isoladas, muitos imóveis sem recuos frontais e laterais, vegetação escassa e solo altamente impermeabilizado. Conforme o vento proveniente das direções Noroeste, Norte ou Nordeste agem, nota-se uma redução drástica dos valores de umidade absoluta nesta área, devido ao fato do vento perder umidade ao cruzar um ambiente urbano, antes de atingir os Pontos 8 e 9. Assim, apesar dos Pontos 8 e 9 receberem muita influência da umidade disponibilizada pela represa durante a ação do vento sudeste, a configuração urbana não favorece a permanência desta umidade, de modo que o microclima urbano seja beneficiado. Por isso, os ganhos e as perdas de umidade são tão elevados nesta região da cidade, os quais também refletem nas excessivas variações de temperatura diária.

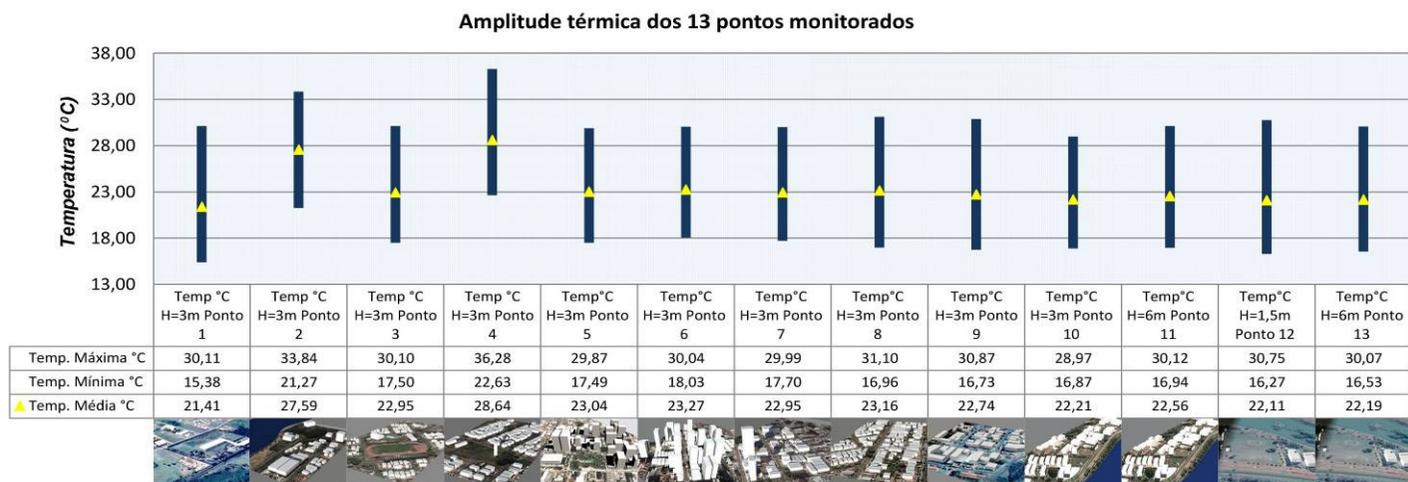


Figura 118 – valores de amplitude térmica de todos os pontos monitorados

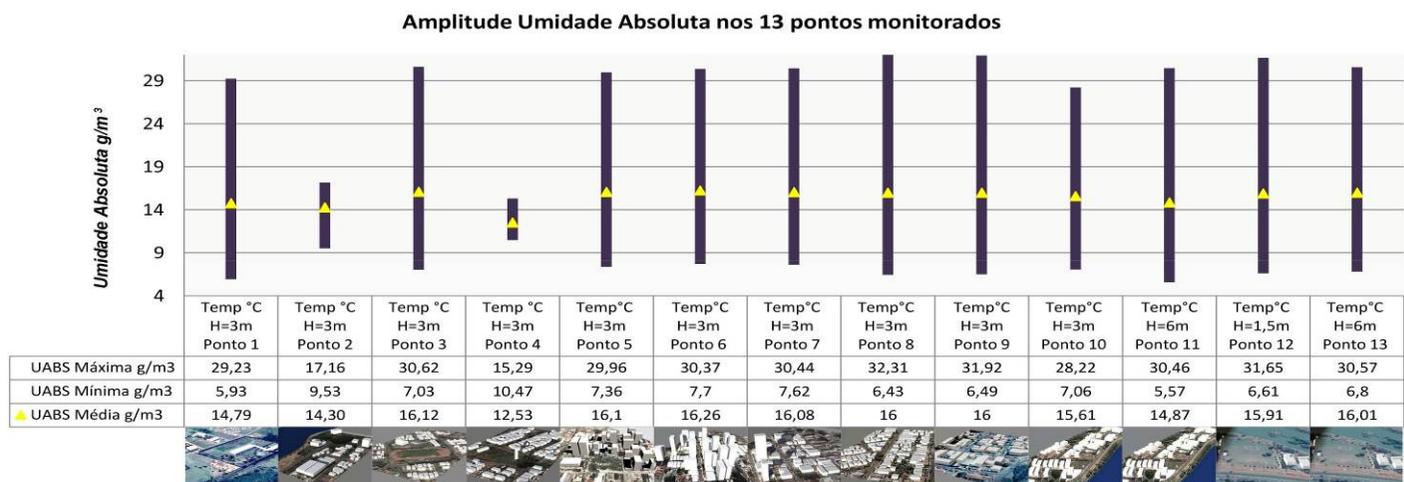


Figura 119 – valores de amplitude da umidade absoluta de todos os pontos monitorados

Para demonstrar mais claramente a comparação entre o comportamento térmico das diversas regiões da cidade monitoradas nesta pesquisa, foram elaboradas duas tabelas com o ranking da amplitude térmica e o ranking da amplitude de umidade absoluta. Figura 120.

Ranking Amplitude Térmica (°C)		Ranking Amplitude de Umidade (g/m ³)	
1°. Ponto 1	14,73	1°. Ponto 8	25,88
2°. Ponto 12	14,48	2°. Ponto 9	25,43
3°. Ponto 8	14,14	3°. Ponto 12	25,04
4°. Ponto 9	14,14	4°. Ponto 11	24,89
5°. Ponto 4	13,65	5°. Ponto 13	23,77
6°. Ponto 13	13,54	6°. Ponto 3	23,59
7°. Ponto 11	13,18	7°. Ponto 1	23,30
8°. Ponto 3	12,60	8°. Ponto 7	22,82
9°. Ponto 2	12,57	9°. Ponto 6	22,67
10°. Ponto 5	12,38	10°. Ponto 5	22,60
11°. Ponto 7	12,20	11°. Ponto 10	21,16
12°. Ponto 10	12,10	12°. Ponto 2	7,63
13°. Ponto 6	12,01	13°. Ponto 4	4,82

Figura 120 – Ranking de amplitude térmica e de umidade

A partir dos dados gerados ao longo do mês de Junho e início do mês de Julho 2013, durante a campanha 2 de levantamento de dados, foi possível recortar o período mais estável da atmosfera entre o dia 30 de Junho e o dia 01 de Julho. Outra razão para que este período fosse analisado detalhadamente refere-se às condições eólicas favoráveis, tanto em relação à velocidade quanto à direção.

De acordo com as figuras 121 e 122 observa-se que o dia 30 de Junho apresentou vento na direção Noroeste e o dia subsequente a direção predominante passou a ser sudeste e, em ambos os casos, a velocidade permaneceu próxima de 1m/s e céu claro. Assim, as condições atmosféricas permaneceram favoráveis para o registro dos efeitos do clima urbano durante estes dois dias em condições distintas de direção de vento.

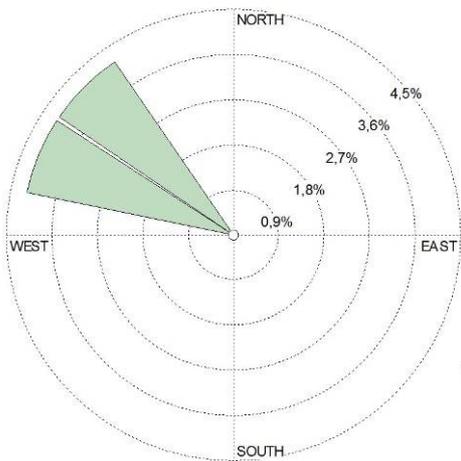


Figura 121 – Vento 30 Junho 2013

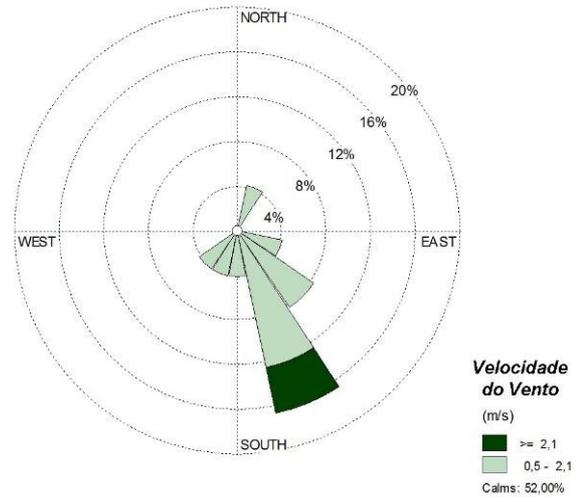


Figura 122 – Vento 01 Julho 2013

O vento proveniente da direção Noroeste cruza o espaço urbano da zona norte da cidade, a qual é caracterizada pela baixa umidade, conforme demonstrado na Campanha 1, e atinge os pontos 8 e 9 antes de atingir a área da represa Municipal. Desta maneira, verifica-se que o horário mais quente do dia 30 de Junho, às 16h, as temperaturas tendem a se aproximar do pico de 32°C. Enquanto que durante o dia 01 de Julho 2013, mesmo considerando a atuação de uma massa de ar levemente mais fria, a diferença entre as temperatura dos pontos 8 e 9 tende a se afastar, chegando a registrar diferenças próximas de 2°C. Figura 123.

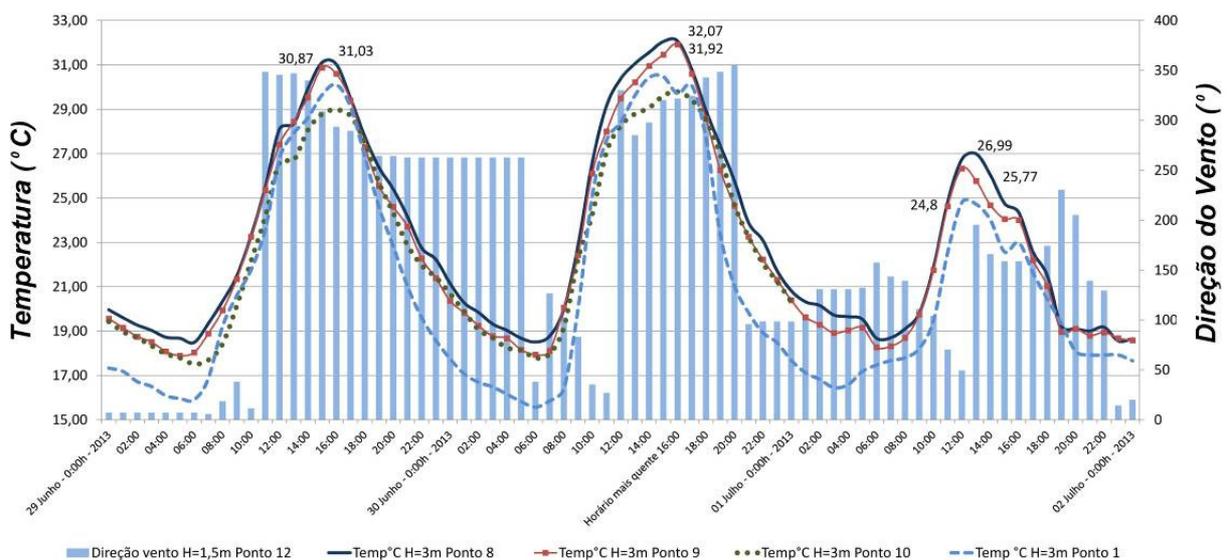


Figura 123 – Variação de temperatura x direção do vento entre 29 de Junho e 02 de Julho 2013

O gráfico de variação da umidade absoluta evidencia que o Ponto 10, situado a 25m da margem da represa, registra os valores mais elevados durante praticamente o período todo de avaliação. Enquanto que os Ponto 9 e 10 ficam sujeitos a ação conjunta entre o vento e a orientação da via urbana, espaço aberto pelo qual o vento se distribui ao nível do pedestre.

É possível observar na Figura 124 que somente os valores de umidade absoluta registrados no Ponto 8 diminuem, atingindo valor mínimo de 11,91 g/m³ na tarde do dia 01 de Julho, enquanto os valores de umidade absoluta aumentam em todos os outros pontos.

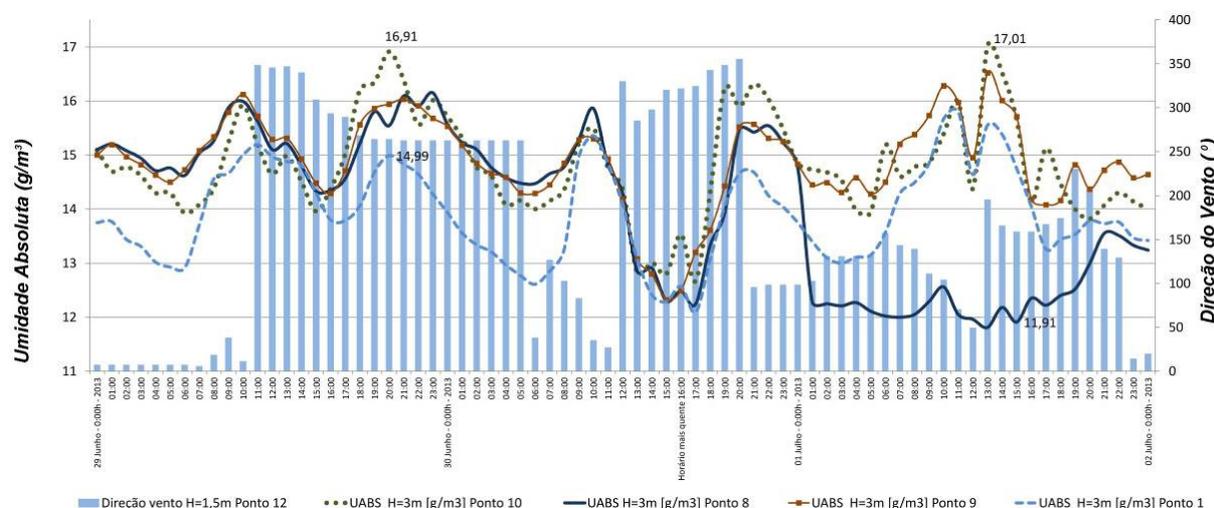


Figura 124 – Variação de umidade absoluta x direção do vento entre 29 de Junho e 02 de Julho 2013

Tal comportamento de variação de umidade absoluta demonstra que a configuração urbana em que o ponto 8 está situado, apesar de estar a apenas 100 m de distância da margem, não favorece a ação da umidade do corpo d'água. Devido ao fato deste cânion urbano estar orientado na direção leste-oeste, em uma cota de nível muito elevada em relação ao nível da lâmina d'água, nota-se que a penetração da pluma de umidade neste ambiente causa pouco efeito na atenuação da temperatura. A rua na qual o Ponto 9 foi instalado está implantada na direção norte-sul e, portanto, mais sujeita a ação da pluma de umidade carregada pelo vento sudeste para o ambiente urbano. Assim, observa-se diferença de até 4g/m³ no horário mais quente do dia 01 de Julho.

Apesar dos valores de umidade relativa não serem tão esclarecedores para a compreensão do efeito da pluma de umidade sobre o clima urbano, o Ponto 8 também registra valores sempre abaixo dos demais (Figura 125).

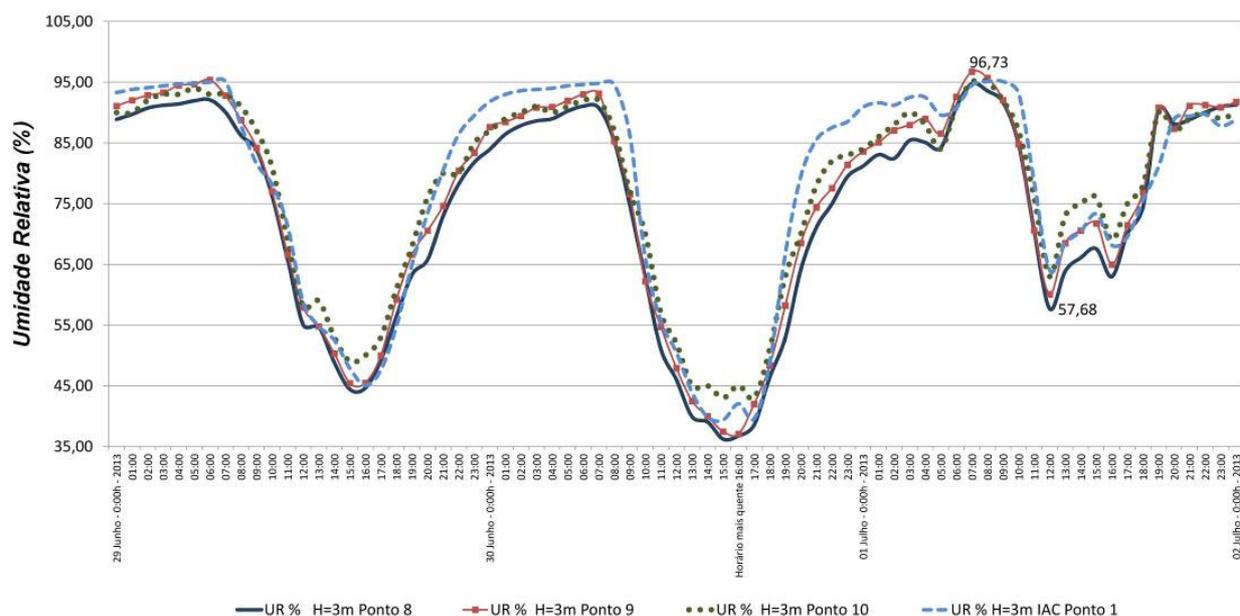


Figura 125 – Variação de umidade relativa entre 29 de Junho e 02 de Julho 2013

Os dados de Temperatura, Umidade Absoluta e Umidade Relativa são apresentados nos mapas das Figuras 126 a 131, de modo a evidenciar as diferenças microclimáticas no recorte urbano de 100.000 m² simultaneamente. Os mapas foram traçados nos dias 30 de Junho às 16h com ação do vento na direção Noroeste e no dia 01 Julho às 14h com ação do vento da direção sudeste, subseqüentemente.

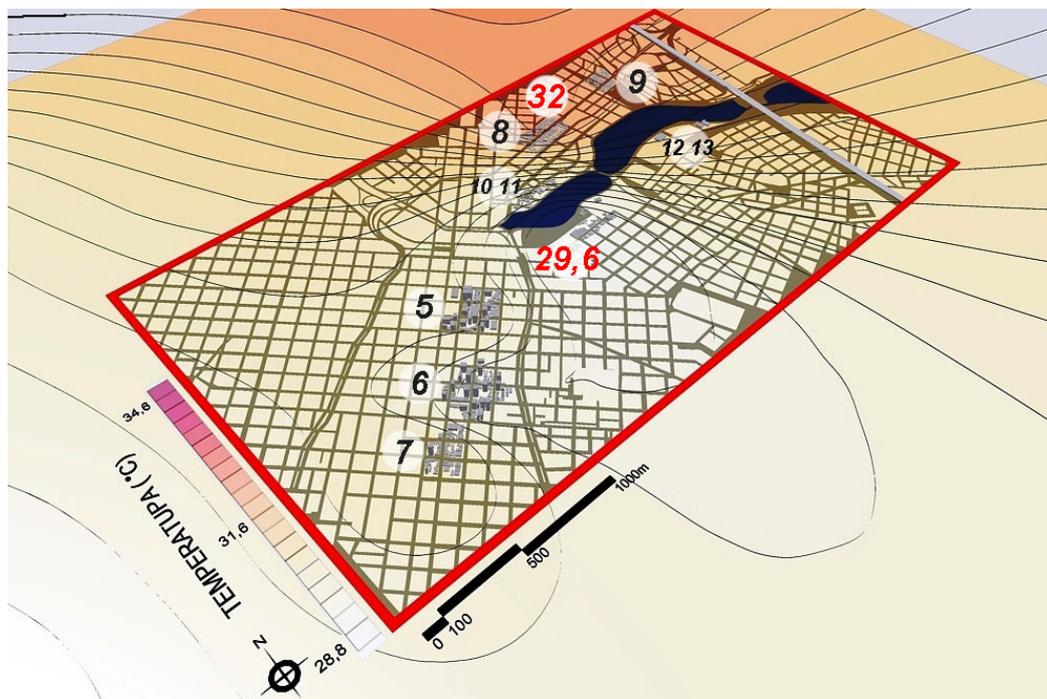


Figura 126 – Mapa Variação de Temperatura dia 30 Junho 2013 16h – Vento Noroeste

Ao observar os mapas das isolinhas de temperatura, observa-se a nítida diferença entre as áreas norte e sul da cidade. A área central sofre alguma influência da umidade da represa, quando o vento sopra da direção Nordeste, principalmente nos cânions urbanos orientados na direção Nordeste – Sudoeste. No entanto, o vento sudeste, apesar de ser mais frequente, tem dificuldades de penetrar mais profundamente na malha urbana.

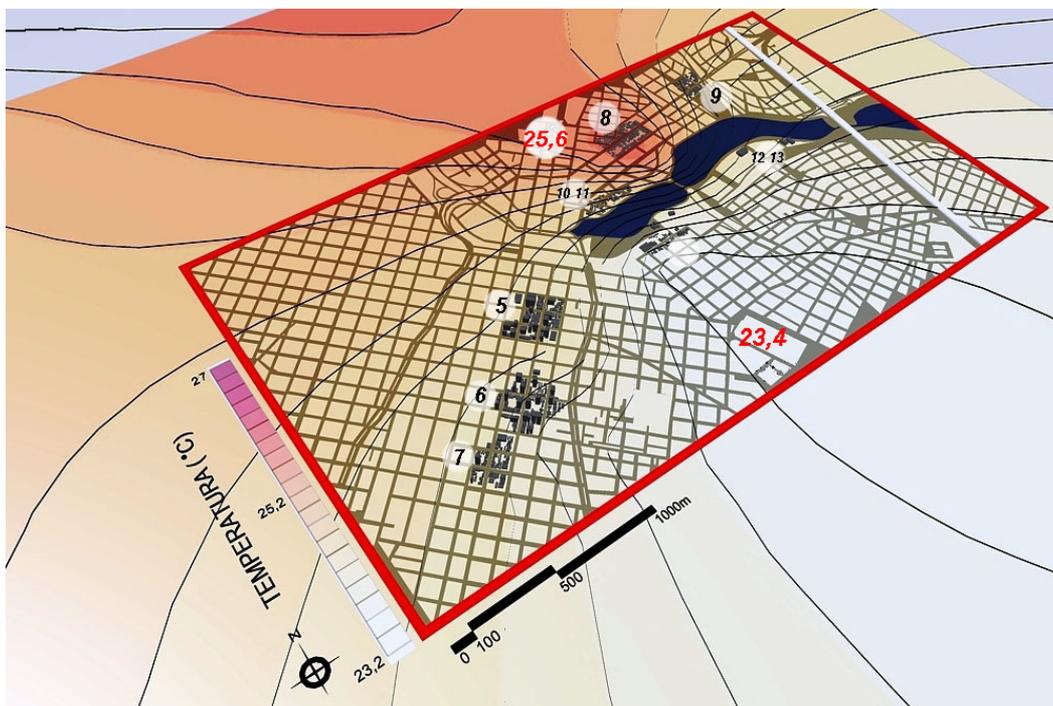


Figura 127 – Mapa Variação de Temperatura dia 01 Julho 2013 14h – Vento Sudeste

Os mapas de isolinhas, tanto de umidade absoluta quanto de umidade relativa, apresentam claramente o efeito do vento seco proveniente de Noroeste no dia 30 de Junho e a expressiva influência da pluma de umidade agindo sobre a malha urbana no dia 01 Julho, sob condição de vento proveniente da direção sudeste (Figuras 126 e 127).

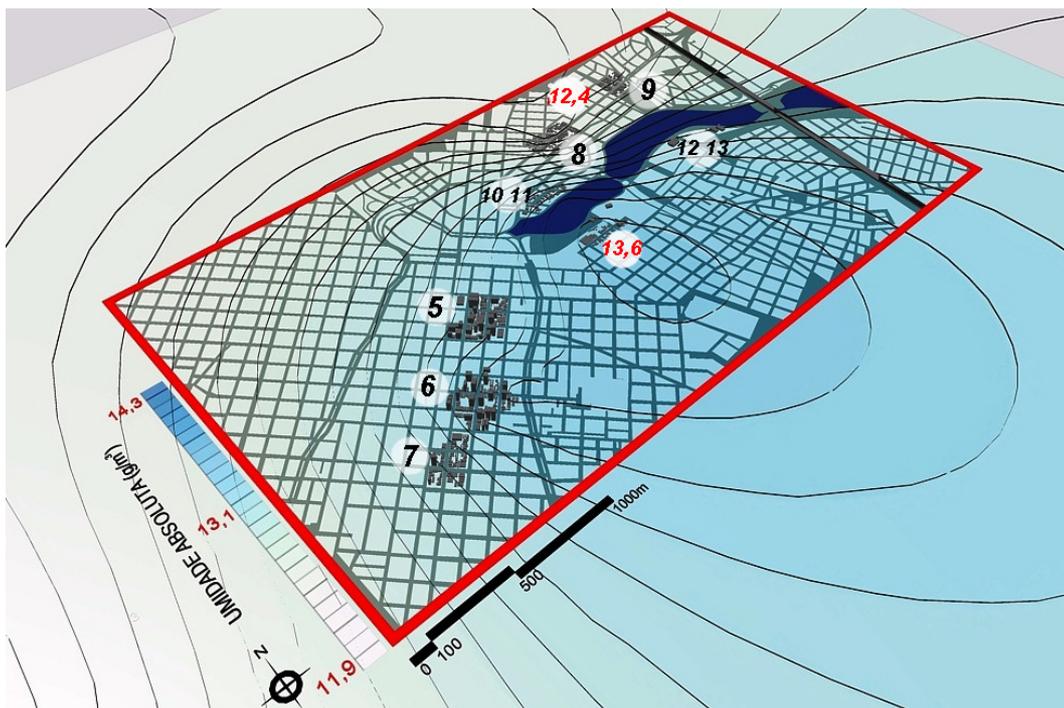


Figura 128 – Mapa variação de Umidade Absoluta no dia 30 Junho 2013 16h – Vendo Noroeste

É possível observar valores mais elevados de umidade nos Pontos 5, 6 e 7, que estão situados no centro urbano em relação ao dia anterior, e um deslocamento da posição da pluma de umidade sobre a área central.

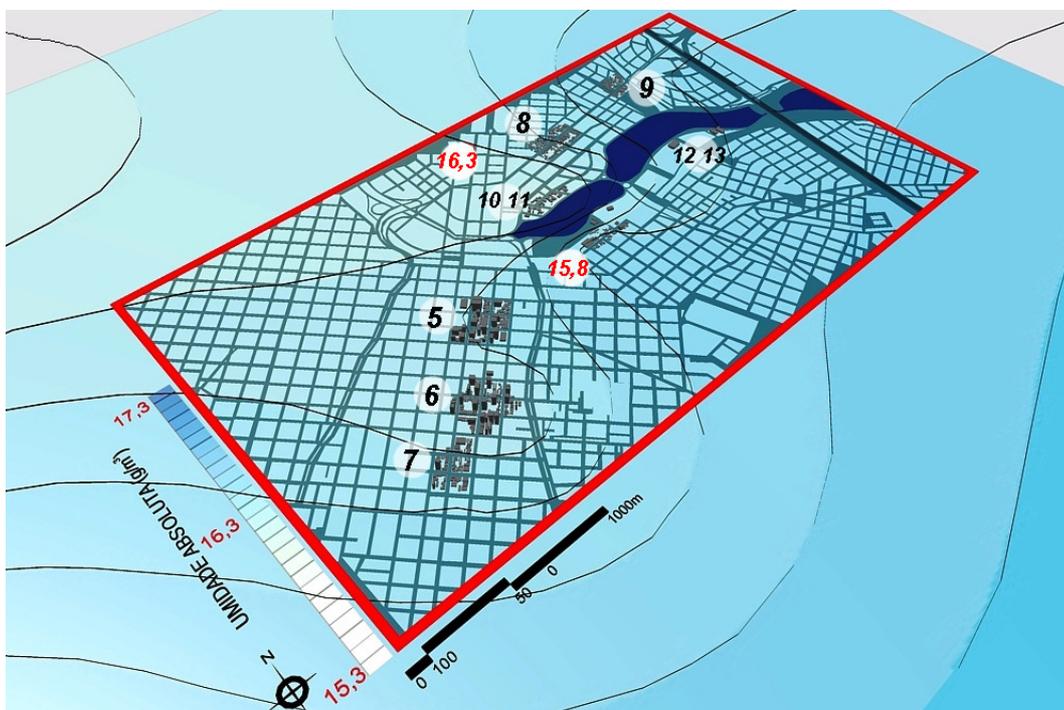


Figura 129 – Mapa variação de Umidade Absoluta no dia 01 Julho 2013 14h – Vendo Sudeste

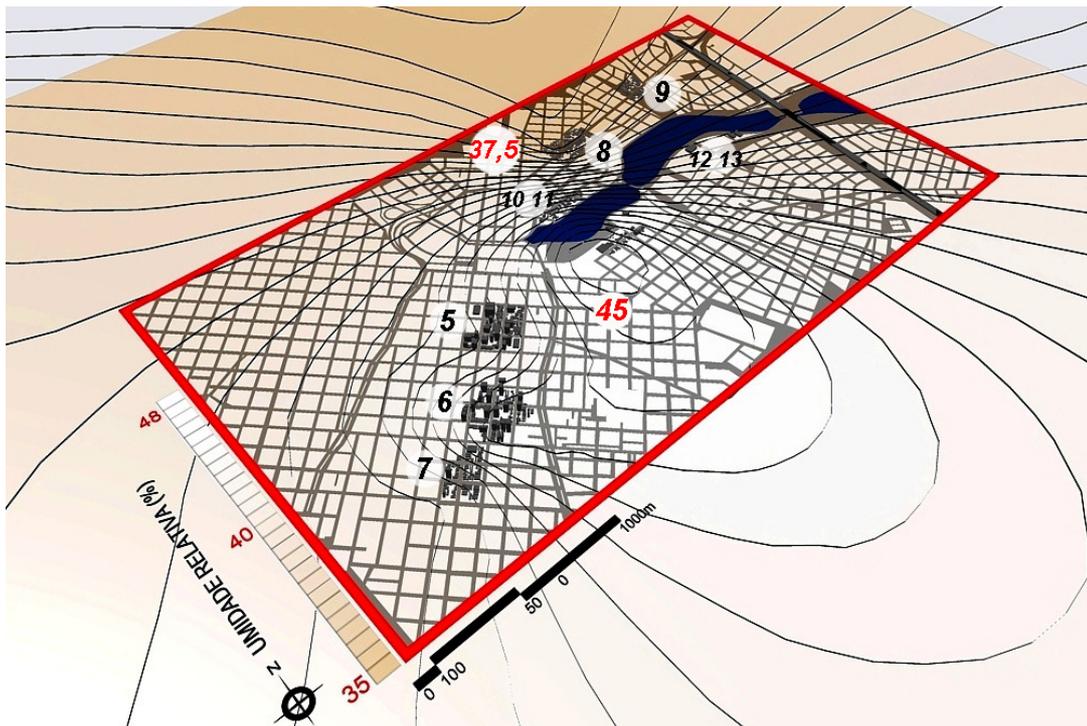


Figura 130 – Mapa variação de Umidade Relativa no dia 30 Junho 2013 16h – Vendo Noroeste

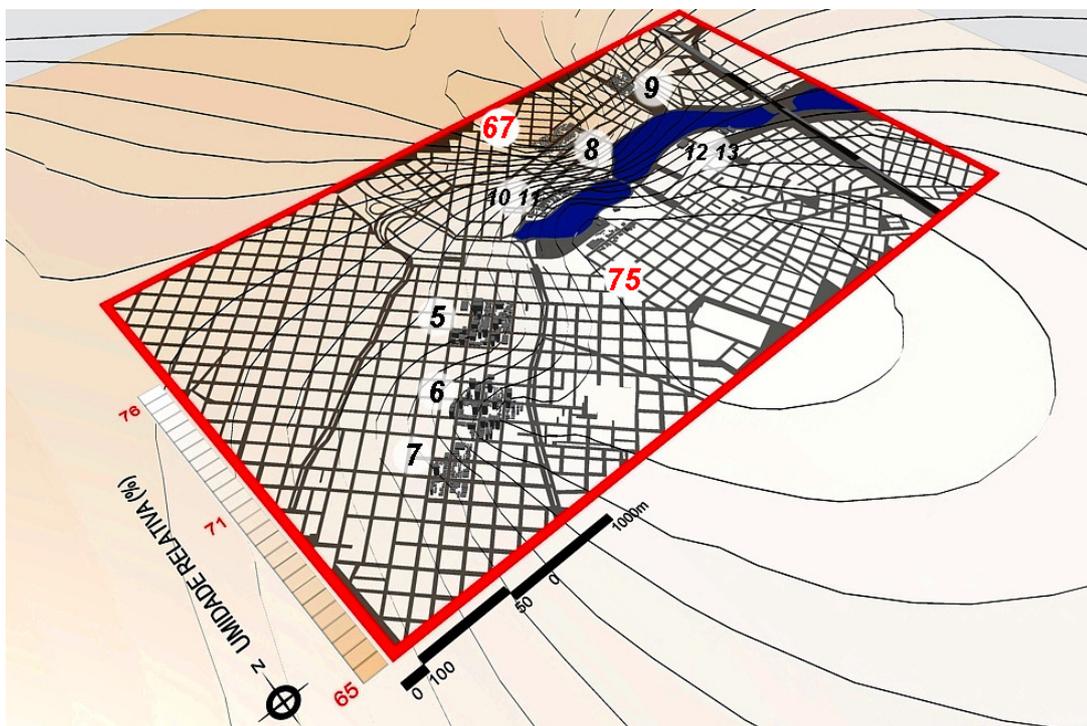


Figura 131 – Mapa variação de Umidade Relativa no dia 01 Julho 2013 14h – Vendo Sudeste

5. Discussão dos resultados

Os resultados destes estudos aqui apresentados se baseiam na análise do movimento horizontal das massas de ar atuantes nas camadas intraurbanas, sob a influência de um corpo d'água. O fornecimento de água e sua distribuição na atmosfera através do represamento de corpos d'água ou da evapotranspiração da vegetação conferem características mais estáveis ao comportamento da temperatura e índice de umidade do ar urbano mais adequado ao ser humano. É de fundamental importância que planejadores conheçam os benefícios e as limitações de diversas estratégias passivas de obtenção de ambientes confortáveis e saudáveis, de forma que os investimentos em infraestrutura sustentável possam ser otimizados.

O estudo baseado nas duas campanhas aqui apresentadas demonstrou que a pluma de umidade tende a se distribuir pelos espaços que oferecem menor resistência. A direção leste-oeste de implantação dos cânions urbanos e o adensamento das construções no sentido nordeste-sudoeste dificulta a ação do vento combinada com o espalhamento da umidade da represa pela malha urbana.

Conforme o vento atua na direção sudeste, os valores de umidade tendem a ser maiores no centro da cidade e na zona norte, embora a barreira física das construções e do relevo dificultem uma maior influência na amenização do calor nas áreas mais ocupadas ao norte da cidade.

Os resultados obtidos por outros trabalhos revisados nesta tese, assim como as análises realizadas em São José do Rio Preto, confirmam que os corpos d'água representam elementos importantes para a manutenção da qualidade do ar urbano, por aumentarem os índices de umidade, distribuírem os fluxos de ar pelo espaço aberto e influenciarem diretamente o ambiente térmico do seu entorno, principalmente em regiões com característica climática quente e seca. A amplitude térmica próxima a corpos d'água demonstrou ser menor e, dependendo da configuração urbana, esta pode aumentar significativamente. Portanto, quanto mais distante do corpo d'água, maior a necessidade de uso de vegetação, de sombreamento pelas edificações, de canalização de umidade ou de outros recursos para a manutenção da estabilidade dos índices de temperatura e umidade adequados ao bem estar do ser humano.

A integração do conhecimento sobre clima urbano com o planejamento do espaço construído não tem sido bem sucedida. Isso ocorre em parte, pelo fato da

comunicação das questões referentes à climatologia urbana serem ineficientes e, em outra parte, pelas escalas de abordagem dos estudos abrangerem aspectos isolados Stewart & Oke (2012). Ou seja, embora os fenômenos físicos muitas vezes sejam compreendidos, há ainda muita dificuldade para se transferir e aplicar o conhecimento em situações reais que auxiliem de fato projetos de intervenções físicas nas cidades. Informações referentes aos princípios da climatologia urbana devem avançar e subsidiar projetos de intervenções urbanas em escalas locais e regionais para que se estabeleçam, por exemplo, índices adequados de cobertura vegetal, altura de edifícios, materiais construtivos, posicionamento de elementos urbanos como cânions urbanos, massas edificadas e principalmente de corpos d'água.

As elevadas diferenças de temperatura e umidade do ar constatadas entre as áreas sul e a norte da cidade apresentam o efeito do resfriamento evaporativo como o principal fator de influência. No entanto, a ocorrência da evaporação da água e a distribuição da umidade do ar intraurbano estão relacionadas, principalmente, às características climáticas predominantes de uma região, à configuração do ambiente construído e vegetado e à disponibilidade de recursos hídricos locais, de forma que a interação entre este conjunto de fatores contribui para o comportamento térmico do espaço urbano.

Como a cidade de São José do Rio Preto está situada em uma região continental com clima Tropical de Altitude, a umidade relativa do ar atinge frequentemente índices abaixo de 20%, principalmente nos meses mais secos de inverno. Em situações de atmosfera quente e seca, Krüger & Pearlmutter (2008) relatam que o efeito do resfriamento evaporativo em cânions urbanos afeta de maneira efetiva os índices de temperatura e umidade. A amplitude térmica diária em climas secos costuma ser elevada em função dos baixos índices de umidade e quanto maior a quantidade de água na atmosfera, menor será a variação térmica ao longo do dia. Assim, o incremento de umidade em cidades que se situam nestas áreas, pode reduzir a amplitude térmica diária e tornar o ambiente menos agressivo ao corpo humano.

É importante salientar que, durante a noite as áreas mais úmidas de uma cidade tendem a perder menos calor que as secas. Portanto, a umidade, tanto pode favorecer a criação de ambientes mais amenos durante o dia, como pode criar ambientes abafados durante a noite, caso haja pouca disponibilidade de ventos. Johansson & Emmanuel (2006) constataram que com os ventos moderados, o clima quente e úmido em

Colombo, Sri Lanka, e a alta densidade da ocupação urbana contribuem para o excessivo acúmulo de umidade nos cânions, assim, a brisa marítima não chega a beneficiar o microclima da região central da cidade. Neste caso, a pouca preocupação por parte do planejamento em direcionar a implantação dos cânions, somada aos baixos índices de ventilação urbana, não favorecem a dispersão e a distribuição da umidade do ar.

No caso de São José do Rio Preto, o relevo e a ocupação verticalizada da área central impedem que os ventos provenientes de sul e sudeste distribuam a umidade do ar disponibilizada pela represa até as áreas mais elevadas da cidade. Tal fato elucidada que, apesar da região dispor de recursos hídricos e de potencial eólico, a implantação da malha urbana não aproveita o potencial natural para garantir qualidade térmica do espaço urbano.

Pode-se ainda estabelecer uma comparação entre outros resultados apontados na literatura e os aqui obtidos. Em Osaka, no Japão, a administração pública da cidade propôs o uso do potencial de resfriamento das brisas marítimas para mitigar os efeitos do rigor térmico dos meses de verão. Aquele trabalho de Yoshida (2012) revelou uma diferença de 2°C em média entre as áreas planejadas para captar e distribuir a umidade do ar no distrito de Nakanoshima e as áreas adjacentes sem o mesmo rigor de planejamento. Resultados muito similares também foram relatados por Wong (2012), que investigaram a influência de um corpo d'água na temperatura do ar em Cingapura. Foi observado naquele estudo que a diferença de temperatura entre os pontos analisados na malha urbana permaneceram entre 0,6°C e 2°C entre os mais distantes e os mais próximos do corpo d'água. No caso do estudo desenvolvido em São José do Rio Preto, foi detectado que a área da margem do corpo d'água permaneceu em média 2°C abaixo da área mais distante, entretanto, os resultados referentes ao comportamento da umidade absoluta no ambiente urbano ainda são escassos na literatura científica.

Hathway & Sharples (2012) detectaram uma diferença de temperatura de 1,5°C menor em uma área próxima ao rio Don em Sheffield, Inglaterra, em relação a uma mais distante durante a primavera. Tal diferença é quantificada com base na variação das condições ambientais, na forma urbana e na distribuição da umidade favorecida pela forma do rio. Assim, os autores reforçam que as condições térmicas desfavoráveis em áreas urbanas centrais e densamente ocupadas podem ser amenizadas com a introdução

e distribuição de umidade, tirando proveito da ação entre o vento e a água do rio e da forma de ocupação do território.

Jauregui (1991) relata que o aumento da umidade local provocada pela combinação entre os novos lagos e pela área revegetada na periferia nordeste da Cidade do México foram responsáveis pela redução de até 3°C na temperatura de um entorno de 6 km em condições favoráveis de vento, principalmente nos períodos secos. Tal estudo reforça que a combinação de estratégias de planejamento urbano com os recursos passivos pode combater os efeitos maléficos das constantes tempestades de poeira que acometiam a região, prejudicando inclusive a operação do aeroporto que se situa nas proximidades.

Ng et al. (2012) sugere que o potencial de resfriamento passivo da arborização urbana é maior do que a vegetação rasteira ao nível do pedestre. Os autores relatam que para se reduzir em 1°C, a área vegetada deve corresponder a 33% da área urbana em Hong Kong, China, de forma que o estabelecimento de relações entre áreas verdes e áreas construídas pode orientar planejadores na elaboração de propostas de políticas de ocupação espacial. Portanto, pelo fato da legislação Municipal de São José do Rio Preto PMSJRP (2010a) estabelecer o coeficiente de permeabilidade em 15% na maioria dos casos como parâmetro genérico para a ocupação do solo em função apenas da drenagem urbana, não há dados suficientes para determinar a relação entre o espaço construído e a área verde ou superfície de água necessária para se garantir qualidade do ambiente térmico urbano nesta região.

Os resultados apresentados e os fenômenos físicos detectados nessa tese são condizentes com a literatura científica e reforçam a necessidade de intervenção do poder público no desenho urbano. Tanto os procedimentos metodológicos aplicados quanto os resultados das pesquisas aqui apresentadas apontam para a necessidade de uma aproximação cada vez maior da climatologia com o planejamento urbano.

O fato da região de São José do Rio Preto apresentar altas variações dos valores de temperatura e umidade absoluta do ar, as quais foram detectadas neste estudo, corroboram a necessidade de serem criadas estratégias para a redução da evaporação nas áreas periféricas e melhoria da distribuição da umidade da represa municipal pela malha urbana.

5.1. Cenários de ocupação urbana

Os resultados das duas campanhas de monitoramento microclimático comprovaram uma influência expressiva na manutenção dos índices de temperatura através da inserção de umidade no ambiente. Foi detectado inclusive que a umidade, os recursos eólicos e principalmente o ambiente construído devem trabalhar em conjunto para proporcionar melhores condições térmicas do ar para a população. A proposta primordial para a elaboração de diretrizes urbanas condizentes com o clima urbano de São José do Rio Preto se baseia na hipótese de que a distribuição de umidade seja otimizada através de corredores urbanos, que possibilitem a minimização dos extremos de temperatura e, sobretudo, aumentem os índices de umidade nas épocas secas.

Neste sentido, algumas recomendações para o redesenho urbano da área norte de São José do Rio Preto são apresentadas, de modo que se promova a distribuição igualitária de recursos naturais entre as diversas regiões da cidade. O sistema proposto procura integrar a criação de novas represas em áreas estrategicamente localizadas juntamente com a criação de corredores de distribuição de umidade nas direções Norte-Sul e Sudeste-Noroeste, de modo a aproveitar a direção das vias já existentes, sem provocar intervenções drásticas no espaço urbano.

Assim, foram prospectadas áreas com alto potencial de implantação de novas represas urbanas que atendessem as seguintes exigências técnicas.

- Consonância com a lei de zoneamento de São José do Rio Preto, Lei no. 5135/1992. (PMSJRP, 2010b)
- Consonância com a lei municipal 10.290/2008 que trata do Programa Permanente de Gestão das Águas Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Preto (PMSJRP, 2008), a qual procura garantir a preservação da qualidade das águas superficiais na área urbana.
- Apresente topografia suave e de preferência em áreas mais elevadas do perímetro urbano.
- Tenha posicionamento da área em relação à frequência dos ventos predominantes, os quais são Sudeste e Nordeste, de forma que se aproveite o máximo do recurso eólico disponível.

- Favoreçam a implantação das novas represas com mínimas intervenções físicas no sítio e abrissem possibilidades de ligações entre si pelas vias já existentes.
- Estivessem localizadas em áreas carentes de infraestrutura verde, dotadas de sistemas de acesso e que favoreçam o uso da população aos possíveis parques urbanos que venham a ser implantados futuramente.

Três áreas foram detectadas com as características exigidas e, embora tenham funções sociais distintas de acordo com a Lei de Zoneamento 5135/1992 (PMSJRP 2010a), a implantação de parques e represas urbanas não contraria qualquer diretriz ou legislação nos âmbitos Federal, Estadual ou Municipal. Desta forma, seria possível propor a criação de represas urbanas, sendo uma no extremo nordeste da cidade – Área A – outra, no centro da zona norte – Área B – e ao longo do Córrego Piedade – Área C. Todas apresentaram condições favoráveis à criação de microclimas urbanos para aquela região (Figura 132).

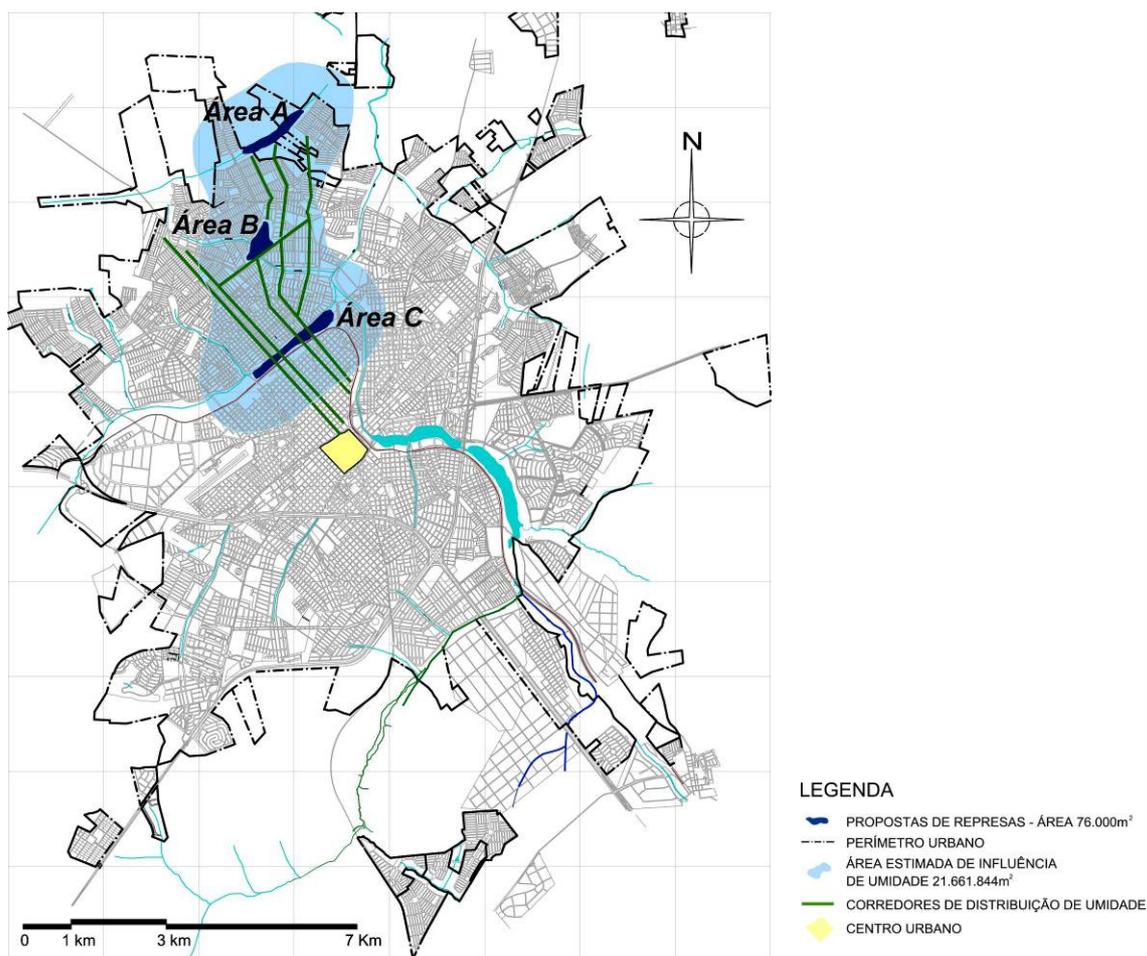


Figura 132 – Proposta de intervenção urbana na zona norte de São José do Rio Preto

A dimensão da proposta de configuração de cada novo represamento de corpo d'água na zona norte da cidade varia de acordo com as características geográficas do espaço urbano, tal como a configuração das curvas de nível de cada local, dos limites já definidos pela ocupação e da possibilidade de criação de áreas coletivas que atinjam o maior número de pessoas.

Sendo assim, a área A formaria um corpo d'água com aproximadamente 25.000m² através do represamento do Córrego São Pedro. Por estar situada em cotas elevadas de nível e junto às fronteiras com área rural, a área A apresenta grande potencial de influência no microclima, em parte por contar com poucas barreiras construídas ao seu redor e, em parte, por estar justamente na trajetória dos ventos provenientes de Nordeste.

O vazio urbano da porção central da zona norte formaria a Área B e com represamento do Córrego Piedadinha daria origem a um corpo d'água aproximadamente 20.000m². Apesar de ser o menor dos três, sua criação beneficiaria uma das áreas mais populosas da cidade e seria um ponto central de conexão entre o corpo d'água da Área A com o da Área C. as quais também são carentes de infraestrutura urbana em diversos aspectos.

A partir do represamento do Córrego Piedade, seria criada a Área C, que daria origem a um corpo d'água de 36.000 m² e, apesar de estar situado em uma cota de nível inferior aos demais é o que está mais próximo das represas existentes e na trajetória dos ventos predominantes de Sudeste. Portanto, sua criação favoreceria a distribuição da umidade no sentido Sudeste-Noroeste e atingiria grande penetração na malha urbana, agindo em conjunto com os corredores de distribuição de umidade das outras áreas.

As áreas em que os corredores urbanos de distribuição de umidade estão previstas fazem parte, em sua maioria, da Zona 6, que, de acordo com a Lei de Zoneamento (PMSJRP 2010a) sugere índice de aproveitamento 4, taxa de ocupação de 50% e recuo frontal de 5 metros. Assim, estes parâmetros urbanísticos favorecem a criação de cânions urbanos com edificações que permaneçam entre 2 e 5 pavimentos e áreas com FVC que variem entre 0,50 e 0,70. Os ambientes urbanos com estes valores de FVC e relação H/W que foram monitorados apresentaram baixa amplitude térmica diária durante as campanhas de monitoramento. Principalmente pelo fato desta tipologia de ocupação provocar sombras no espaço do pedestre durante os horários mais quentes

do dia que ocorrem entre 15h e 17h e não acumularem tanto calor quanto os altos edifícios da área central.

A tipologia sugerida obedece a padrões de edificação com uso misto de, no máximo, sete pavimentos, sendo que o lado oeste das vias deve ser ocupado por edificações mais elevadas. Assim, podem ser criadas áreas sombreadas mais generosas sobre os passeios públicos nos horários mais quentes do dia. Também deve ser observado o fato das edificações avançarem sobre os recuos de cinco metros a partir do primeiro ou do segundo pavimento, de forma que as calçadas se tornem menos dependentes do sobreamento provocado pela arborização, tornando o ambiente mais confortável termicamente.

O principal objetivo da intervenção é garantir a permeabilidade aos ventos em diversas direções. As circulações do ar nas direções norte-sul são as que mais receberão influência da umidade dos futuros corpos d'água por estarem na trajetória principal dos ventos predominantes. Os ventos nas direções leste-oeste devem permitir a circulação de ar sobre as coberturas das edificações circunvizinhas. Desta forma, é sugerido que as edificações mais altas reservem espaços abertos sobre as lajes entre o segundo e o quarto pavimento, conforme as figuras 133, 134 e 135.



Figura 133 – Cenário de ocupação com corpo d'água, sombreamento e circulação de ar



Figura 134 – Cenário de ocupação urbana da zona norte – Passeio público sombreado



Figura 135 – Cenário de ocupação da zona norte – edifícios habitacionais e de uso misto

Do total de aproximadamente 120 km² de área do perímetro urbano de São José do Rio Preto, estima-se que quase 62% do perímetro urbano possam ser beneficiados pelas intervenções propostas de represamento dos três córregos na zona norte e pelos corredores de distribuições de umidade.

A implantação de tais intervenções certamente vai exigir estudos mais detalhados das áreas atingidas, principalmente no que tange às adequações às leis ambientais e à supressão da vegetação existente em determinados lugares. É importante ressaltar que as legislações urbanísticas municipais devem atuar de forma a exigir contrapartidas justas de projetos de empreendimentos imobiliários, que possam ser utilizadas na implantação de infraestrutura que garanta qualidade ambiental mais igualitária.

Outra tarefa dos administradores municipais é aplicar efetivamente os instrumentos sugeridos pelo Estatuto da Cidade (2001) nas leis de zoneamento, de forma a planejar o ambiente construído, visando à minimização dos impactos negativos do clima urbano. E, sobretudo, incentivar propostas de intervenções no espaço público que sejam condizentes com as condições macroclimáticas as quais as cidades brasileiras estão submetidas.

6. Conclusões

O aproveitamento dos recursos climáticos, combinados com o potencial dos elementos naturais é uma das estratégias recomendadas para que a cidade de São José do Rio Preto obtenha ambientes mais confortáveis. O estudo da interação entre ventos, corpos d'água e espaço construído elucida o alto potencial de controle microclimático através de recursos passivos e naturais disponíveis. Portanto, a principal hipótese, cuja é decorrência da combinação entre os efeitos do resfriamento evaporativo urbano e da distribuição horizontal das massas de ar, se comprova.

Destaca-se que a ação do vento sobre a massa d'água pode influenciar no seu entorno imediato, chegando a beneficiar com bastante eficiência até aproximadamente 1.000m, dependendo das características topográficas e de ocupação, por umidificar o ar urbano e reduzir a amplitude térmica diária. No entanto, a expressiva diferença detectada nos índices de temperatura e umidade nas camadas intraurbanas esclarece que os 9 km² da represa municipal, situada nas cotas de níveis mais baixas da cidade, não são suficientes para influenciar a zona norte, sob quaisquer condições de vento. Inclusive, a umidade presente nos vales pouco penetra no tecido urbano localizado nas cotas de níveis mais elevadas. O relevo e o adensamento das edificações do centro urbano, predominante no sentido nordeste – sudoeste, contribuem para diminuir a ação dos ventos na distribuição da umidade. Tais fatores impedem que a interação dinâmica entre o potencial eólico com a umidade da represa atinjam as áreas mais elevadas e áridas da cidade, situadas na zona norte.

Dessa maneira, a amplitude térmica próxima da represa apresenta valores menores e conforme o ambiente se torna mais árido e urbanizado, uma maior amplitude térmica pode ser observada. Esse fato deve ser levado em consideração para a determinação de estratégias que criem microclimas e garantam a qualidade do espaço construído como um todo. A inserção de umidade através do represamento de rios e córregos pode ser uma estratégia viável de planejamento urbano para a melhoria das condições do ambiente térmico em cidades situadas em regiões continentais, com clima predominantemente quente e seco.

O estudo do potencial de umidificação promovido por corpos d'água procura elucidar os principais fenômenos microclimáticos que podem ser utilizados para garantir

um controle de índices de qualidade do ar saudáveis e confortáveis. Pelo fato da umidade relativa do ar na região de São José do Rio Preto atingir níveis abaixo de 20% frequentemente durante os meses de outono e inverno, a adoção de estratégias para umidificação passiva do ar se torna altamente relevante no planejamento dos seus espaços abertos.

O estabelecimento pela legislação urbana do coeficiente de permeabilidade do solo, da cobertura vegetal e da área de corpos d'água não deve ser definido somente em função da drenagem urbana, da suscetibilidade a erosão do solo, da manutenção da qualidade das águas superficiais e da infraestrutura. É necessário, sobretudo, incluir parâmetros climáticos na elaboração de diretrizes de uso e ocupação do solo que garantam índices de temperatura e umidade do ar em níveis adequados ao ser humano em cidades de clima tropical de altitude para áreas continentais brasileiras.

Apesar dos avanços científicos na detecção das modificações climáticas geradas por áreas urbanas, o homem possui ação limitada sobre os fenômenos naturais para manter o ar nas camadas intraurbanas nos níveis ideais de qualidade. A melhoria das condições do ar externo de uma cidade conta apenas com modelos de ocupação territorial, os quais são pouco precisos para se detectar previamente a ação de fenômenos climáticos e termodinâmicos que sobre ela podem atuar. No entanto, do ponto de vista do desenho urbano, vários fatores podem ser gerenciados, modificados e controlados pela ação humana, com o intuito de se obter ganhos para a qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

ABREU L. V.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A.. Reduction of Mean Radiant Temperature by Cluster of Trees In Urban and Architectural Planning In Tropical Climates. The case of Campinas, Brazil. **PLEA2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture.** Lima, Peru 7-9 November 2012

ABREU, L. V.; LABAKI, L. C.. As árvores e a mitigação da temperatura do ar: qual a extensão de sua influência? **XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Búzios.** Anais... Rio de Janeiro: ANTAC, 2011.

ALVAREZ DOMINGUEZ, S.; Control Climático em Espacios Abiertos. El Proyecto EXPO'92. Sevilla: 1992. CIEMAT.

ARNFIELD, A. J.. Review: Two Decades of Urban Climate research: A Review of Turbulence, Exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology.** No. 23, 1–26, 2003.

ASSIS, E. S.. Aplicações da Climatologia Urbana no Planejamento da Cidade: **Revisão dos Estudos Brasileiros. Revista de Urbanismo e Arquitetura Rua.** Vol. 7, nº. 01, 2006.

ASSIS, E. S. de; RAMOS, J. G. L.; SOUZA, R. V. G. de; CORNACCHIAM, G. M. M.. Aplicação de dados do clima urbano no desenvolvimento de planos diretores de cidades mineiras. In...**IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, ENCAC,** Ouro Preto, Agosto, 2007.

BARBIRATO, G. M. ; BARBOSA, R. V. R. ;FERNANDES, M.F. ; MORAIS, C. S.; A influencia da proximidade de massas D'água em ambiente climático urbano de Maceió – Alagoas. Antac **VI Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído,** São Pedro, SP, Brasil, 2001.

BARBIRATO, G. M.; BARBOSA, R.V. R.; FERNANDES, E.; MORAIS, C. S. (2002). Análise de perfis térmicos urbanos em Maceió – AL. In. **IX Encontro Nacional de tecnologia do Ambiente Construído**. Anais... Foz do Iguaçu, PR.

BARBUGLI, R. A., RORIZ, M.. Mapeamento e Análise de Micro Climas Urbanos. Anais... **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC – COTEDI**, Curitiba – PR – Brasil, Novembro 2003.

BRASIL. Lei Federal no. 10.257 de 10 de Julho de 2001. Estatuto da Cidade. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm. Acessado em 10 Janeiro 2014.

BROWN, R. D.; GILLESPIE, T. J.; Microclimate Landscape Design: Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency. John Wiley & Sons, New York, 1995, 193p.

BUSTOS ROMERO, M. A.. Correlação entre o microclima urbano e a configuração do espaço residencial de Brasília. In...**X Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Natal, Setembro de 2009.

CARVALHO, H. J. M.; CORBELLA, O. D.; SILVA, Francisco A. G. da,. Influência da Direção dos Ventos Sobre as Correlações entre a forma Urbana e o Clima. In...**IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, ENCAC**, Ouro Preto, Agosto, 2007.

CASTILHO, F. J. V. (2006). Abordagem Geográfica do Clima Urbano e das Enfermidades em São José do Rio Preto. Dissertação de Mestrado do Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista - Campus Rio Claro, UNESP.

CASTRO, E., LOPES, A.. O conforto térmico urbano e o ordenamento do território na cidade de Guarda: Utilização dos Sistemas de Informação Geográfica e da Geoestatística... In: 4º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO Para o Planejamento

Urbano, Regional, Integrado e Sustentável - Pluris 2010, Faro, Portugal. Universidade do Algarve. 6 a 8 de Outubro 2010.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGRO METEOROLÓGICAS - CIIAGRO: Disponível em <http://www.ciiagro.org.br/ema/monitoramento.php> 2010: Acessado entre 05 e 08 de Outubro 2012.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS - CPTEC INPE: Disponível em: <http://infoclima1.cptec.inpe.br/> 2010. Acessado em 15 Outubro 2012.

_____ CPTEC INPE: Disponível em: <http://infoclima1.cptec.inpe.br/> Acessado em 10 de Dezembro 2013.

_____ CPTEC INPE Disponível: em: <http://satelite.cptec.inpe.br/setores/sudeste.jsp> Acessado em 10 Dezembro 2012.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGRO METEOROLÓGICAS - CIIAGRO: Disponível em <http://www.ciiagro.org.br/ema/monitoramento.php> : Acessado em 08 Janeiro 2014.

CHANGNON, Stanley A. Evidence of Urban and Lake Influences on Precipitation in the Chicago Area. **Journal of Applied Meteorology**. Vol., 19, No. 10, 1980

CHANDLER, T. J. The climate of London. Hutchinson & CO Publishers Ltd. London, 1965, 292 p.

CHANDLER, T. J. Urban climatology and its relevance to urban design. **WMO – N° 438**, Geneva: 1976.

CHEN, L.; NG, E.. Quantitative urban climate mapping based on a geographical database: A simulation approach using Hong Kong as a case study. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. 13, p. 586 – 594, 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Sistema de Informação de Qualidade do Ar. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/>>. Acesso em: 16 Setembro 2012.

_____ Sistema de Informação de Qualidade do Ar. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/>>. Acesso em: 16 Agosto 2013.

COSTA, Angelina Dias Leão ; LABAKI, L. C. ; ARAÚJO, Virginia M Dantas . Medições de campo na área urbana: o desafio da padronização. RUA. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, v. 1, p. 26-31, 2007.

DAVIS INSTRUMENT. Quick Reference Guide. Davis Vantage PRO2. Disponível em: <http://www.davisnet.com/weather/products/vantage-pro-professional-weather-stations.asp>. Acessado em 10 Janeiro 2014.

DACANAL, C. Microclima em Fundos de Vale: análise de diferentes ocupações urbanas em Campinas, SP. In: **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 12., Anais... Fortaleza: Antac, 2008.

DAVIS, M., STEADEMAN, P., ORESZCZYN, T.. Strategies for the modification of the urban climate and the consequent impact on building energy use. **Energy Policy**, n. 36, 4548-4551, 2008.

DUARTE, D. (2000) Padrões de ocupação do solo e micro-climas urbanos na região de clima tropical continental. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo.

EMMANUEL, R.; ROSENLUND, H.; JOHANSSON, E. Urban shading – a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 1995-2004, 2007

GARTLAND, L. Ilhas de calor: Como Mitigar Zonas de Calor em Áreas Urbanas. São Paulo. Oficina de Textos, 2010, 248p.

GIVONI, B.. Man, climate and architecture. Van Nostrand Reinhold, London. 1981. 483p.

GIVONI, B.. Climate Consideration in Building & Urban Design. New York: John Wiley. 1998.

GOOGLE EARTH. Versão 4.3.7284.3916 (beta), 2008. EUA. Acesso em 25 de Janeiro 2014.

GÓMEZ-MUÑOZ, V. M.; PORTA-GÁNDARA, M. A.; FERNÁNDEZ, J. L.. Effect of tree shades in urban planning in hot-arid climatic regions. **Landscape and Urban Planning**. No. 94, p. 149–157, 2010.

GRIMMOND, C., S., B., OKE, T., R.; Evapotranspiration rates in urban areas. Impacts of Urban Growth on Surface Water and Groundwater Quality. in **Proceedings of IUGG 99 Symposium HSS. Birmingham**, July 1999. IAHS Published no. 259.1999. 235-243.

GRIMMOND, S. Urbanization and global environmental change: Local effects of urban warming. The Royal Geographical Society, London, 2007, p. 83-88.

HATHWAY, E.A.; SHARPLES, S..The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: A UK case study. **Building and Environment**. No. 58, 14-22, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE Cidades, disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>Acessado em 27 Maio 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS a. Instalações. Disponível em http://www.inpe.br/institucional/sobre_inpe/instalacoes.php Acessado 05 Março 2014.

_____b. Super Computação do INPE. Introdução ao uso do Tupã. Disponível em <http://supercomputacao.inpe.br/manuais/introducao-ao-uso-do-tupa>. Acessado 05 Março 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. INMET. Dados Meteorológicos. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acessado em 08 Janeiro 2014.

JOHANSSON, Erik; EMMANUEL, Rohinton. Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate: the case of Colombo, Sri Lanka. **Climate Research**. Vol. 30: p. 189–200, 2006

JAUREGUI, E.. Effects of Revegetation and New Artificial Water Bodies on the Climate of Northeast Mexico City. **Energy and Buildings**, 15 – 16, p.447 – 455. 1991.

KATZSCHNER, L. Urban Climate Strategies Against Future Heat Stress Conditions, in: Resilient Cities: Cities and Adaptation to Climate Change. Proceedings of the Global Forum 2010. Konrad Otto-Zimmermann Editor. Springer, 2011.

KATZSCHNER, L., FREIRE, T., NERY, J., CARVALHO, L. Urban Climate Study of Salvador: Thermal Comfort Pattern In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO II ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5, 1999, Fortaleza. Anais... Fortaleza: ANTAC, 1999.

KRÜGER, E.L, ROHINTON, Emmanuel. Accounting for atmospheric stability conditions in urban heat island studies: The case of Glasgow, UK. **Landscape and Urban Planning**. No. 117 (2013) p.112– 121.

KRÜGER, E.L., PEARLMUTTER , D. The effect of urban evaporation on building energy demand in an arid Environment. **Energy and Buildings** 40, p. 2090 –2098, 2008.

KUTTLER, Wilhelm; WEBER, Stephan; SCHONNEFELD, Judith; HESSELSCHWERDT, Alexandra. Urban/rural atmospheric water vapor pressure differences and urban moisture excess in Krefeld, Germany. **International Journal of Climatology**, **27**: 2005–2015, 2007.

LEIVAS, J., FONTANA, D., BERLATO, M., CARDOSO, L.. Variação diária do albedo sobre uma superfície vegetada e sobre um lago na estação experimental da UFRGS, RS. in Anais... **XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Julho de 2007 – Aracaju – SE, 2007.

LIMBERGER, L. **O Clima do Oeste do Paraná: Análise da Presença do Lago de Itaipu**. Dissertação de Mestrado do Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista - Campus Rio Claro, UNESP, 2007.

LIN, Tzu-Ping; MATZARAKIS, A.; HWANG Ruey-Lung. Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. **Building and Environment** no. 45, p. 213–221, 2010

MARCUZZO, F., F., N., ARANTES, E., J., WENDLAND, E. Avaliação de Métodos de Estimativa de Evapotranspiração Potencial e Direta para a Região de São Carlos – SP. **Irriga**, Botucatu, v. 3, n. 3. Pg. 323-338. Julho-Setembro, 2008.

MASIERO, E.; SOUZA, L. C. L. de. Variação de umidade absoluta e temperatura do ar intraurbano nos arredores de um corpo d'água. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 25-39, jul./set. 2013. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

MASIERO, E. ; SOUZA, L. C. L . Interação Dinâmica Entre Ventos e Corpos D água no Ambiente Urbano. In: 5º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO Para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável - Pluris 2012, Brasília - DF. PLURIS 2012 - Planejamento Urbano e Regional Integrado e Sustentável. Reabilitar o Urbano. Brasília - DF: Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2012a. v. 1.

MASIERO, E. ; SOUZA, L. C. L.. Influence of a Water body in the Urban Microclimate. In: Passive and Low Energy Architecture. PLEA2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture Lima, Perú 7-9 November 2012b

MATZARAKIS, A.. Rayman 1.2. Disponível em: <http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman/intro.htm> 2009. Acessado em 15 Janeiro 2014

MATZARAKIS, A., RUTZ, F., MAYER, H.. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – Basics of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**. March 2010, Volume 54, pp 131-139.

MILLS, G., CLEUGH, H., EMMANUEL, R., ENDLICHERD, W., ERELLE, E., McGRANAHANF G., NGG, E., NICKSONH, A., ROSENTHALI, J., STEEMER, K., Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective). *Procedia Environmental Sciences* 1 (2010) 228–246.

MILLS, G.. Progress toward sustainable settlements: A role for urban climatology. *Theoretical Applied Climatology*,no. **84**, p.69–76, 2006.

MITCHELL, V. G.; CLEUGH, H. A.; GRIMMOND, C. S. B. and J. XU. Linking urban water balance and energy balance models to analyze urban design options. **Hydrological Process**, 2007

MODNA, D.. Influência das áreas verdes urbanas na temperatura e na umidade do ar em São Carlos – SP. 108p. Dissertação Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

MONTEIRO, A., FERNANDES, A.. A Geoestatística – Uma incursão exploratória a considerar no domínio da climatologia urbana. **Cadernos de Geografia**. No.15, p. 61-73, Coimbra, Portugal, 1996.

MONTEIRO, C. A. F., MENDONÇA, F. Clima Urbano. Editora Contexto. 2ed. São Paulo, 2011.

MONTEIRO, C. A. F., **A dinâmica climática e as chuvas do estado de São Paulo: estudo geográfico sob forma de Atlas.** São Paulo: Universidade de São Paulo. Instituto de Geografia. 68 p. 1973.

MOHAN, M., SIDDIQUI, T. A.. Analysis of various schemes for the estimation of atmospheric stability classification. **Atmospheric Environment.** 1998. No. 32(21), p. 3775–3781.

NAKATA, C. M.; SOUZA, L. C. L.; FARIA, J. R. G.. Simulação da Sensação Térmica do Pedestre. **XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído.** Búzios, Rio de Janeiro, 2011.

NG, E.. Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. **Building and Environment.** n. 44: p.1478-1488, 2009.

NG, E.; CHEN, L.; WANG, Y.; YUAN, C.. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. **Building and Environment.** No. 47, p. 256-271, 2012.

NIMER, E.. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE. 1979

OKE, T., 1984: Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning. *Energy Build.*, **7**, 1–10.

OKE, T. R. Boundary Layer Climate. 2nd Edition. London. Routledge, 435p. 1987.

OKE , T.R. Sitting and Exposure of Meteorological Instruments at Urban Sites. 27th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modeling and its Application, Banff, p.25-29 October, 2004.

OKE, T., Towards better communication in urban climate. **Theoretical and Applied Climatology**. 2006. no. 84, p.179–190.

ONSET BRASIL. Manuais HOBO U23. Disponível em <http://www.onsetcompbrasil.com.br/onsetcomp/manuais/U23-00x/10694-H-MAN-U23.pdf>. Acessado em 15 Dezembro 2013.

ONSET BRASIL. Manuais HOBO U30. Disponível em http://onsetcompbrasil.com.br/onsetcomp/manuais/estacao_-_01-sensor_de_temperatura_e_umidade_do_ar/sensor_de_temperatura_e_umidade_do_ar.pdf. Acessado em 10 Janeiro 2014

OLIVEIRA, G. X. S.. Relações entre medidas de evaporação de superfície de água livre por evaporímetros e estimativas por métodos meteorológicos em duas regiões do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado em Agronomia. Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

PEARLMUTTER, D., KRÜGER E. L., BERLINER P.. The role of evaporation in the energy balance of an open-air scaled urban surface. *International Journal of Climatology* no. 29: 911–920, 2009.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare, soil and grass. **Proceedings of the Royal Society**. A – Series, London, v193, p.120-145, 1948.

PATZ, J. A., CAMPBELL-LENDRUM, D., HALLOWAY T., FOLEY J. A. Impact of regional climate change on human health. **Nature**, Vol. 438/17 November, 2005.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A.. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*. No. 11, p. 1633-1644, 2007. Disponível em: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/hess-11-1633-2007.pdf> Acessado em 10 Janeiro 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO. Secretaria de Planejamento e Gestão Estratégica Municipal: Disponível em: <http://www.riopreto.sp.gov.br/PortalGOV/do/subportais_Show?c=5050>. Acessado em 08 Janeiro 2010a.

_____. Secretaria de Planejamento e Gestão Estratégica Municipal, São José do Rio Preto. **Lei de Zoneamento de São José do Rio Preto:** Disponível em: <http://www.riopreto.sp.gov.br/PortalGOV/do/subportais_Show?c=5050>. Acessado em 08 Janeiro 2010b.

_____. Secretaria de Planejamento e Gestão Estratégica Municipal, São José do Rio Preto. **Conjuntura Econômica de São José do Rio Preto.** São José do Rio Preto: Disponível em _____ em <http://www.riopreto.sp.gov.br/PortalGOV/do/subportais_Show?c=5050> Acessado em 08 Janeiro 2010c.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO. Programa Permanente de Gestão das Águas Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Preto. PGAS. Lei municipal no. 10.290. 24 de Dezembro 2008.

ROCHA, L.M.V.; SOUZA, L. C. L.; CASTILHO, F.J.V. Ocupação do solo e ilha de calor noturna em avenidas marginais a um córrego urbano. **Ambiente Construído** (online). v.11, n.3., 2011.

RORIZ M.. PSICROM 1.0. Programa computacional desenvolvido para cálculos de relações psicrométricas. Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós Graduação em Construção Civil. São Carlos, 2003.

ROSSI, F., A.. Proposição de Metodologia e de Modelo Preditivo para Avaliação da Sensação Térmica em Espaços Abertos em Curitiba. 188p. Tese de Doutorado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós Graduação em Tecnologia. Curitiba, PR. 2012.

SANDIFER, S. A. Using the Landscape for Passive Cooling and Bioclimatic Control: Applications for higher density and larger scale. University of California, Los Angeles, U.S.A. In... **PLEA2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture**, Quebec City, Canada, 22-24 June 2009

SANTAMOURIS, M. Energy and climate in the urban built environment. London: James & James (Science Publishers); 2001

SEMIDOR, C., VENOT-GBEDJI, F. Outdoor Elements Providing Urban Comfort: The role of fountains in the soundscape. GRECAU-Bx, ENSAPBx, Talence, France. **PLEA2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture**, Quebec City, Canada, 22-24 June 2009

SHASHUA-BAR, L., HOFFMAN, M.E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. **Energy and Buildings** no. 31, p. 221–235, 2000.

SHASHUA-BAR, L. A.; TSIROS, I. X.; HOFFMAN, M. E.. A Passive cooling design options to ameliorate thermal comfort in urban streets of a Mediterranean climate (Athens) under hot summer conditions. **Building and Environment**. No. 57, p.110-119, 2012.

SHINZATO, P.; DUARTE, D. H. S.. Quantificação da intensidade e a distribuição espacial dos efeitos microclimáticos da vegetação. **XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**. Búzios, Rio de Janeiro, 2011.

SILVA, J., S., MARIANO, Z., F., SCOPEL, I.. A influência do clima urbano na proliferação do mosquito *Aedes Aegypti* em Jataí (GO) na perspectiva da geografia médica. **HYGEIA, Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde** 2(5):33-49, Dez/2007 - ISSN: 1980-1726. 2007.

SOUZA, V. R. D. ; FARIA, J. R. G. . Problemas associados à extrapolação de informações espaciais e temporais no uso do programa ENVI-met. In: **XI ENCAC** -

Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VII ELACAC - Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2011, Armação de Búzios (RJ). Anais do XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. p. 1-10.

SOUZA, L. C. L. de, OLIVEIRA, A. P. de; Electrical energy consumption as a function of urban variables. **PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture**, Dublin, 22nd to 24th October 2008

STEWART, I. D., T. R. OKE,. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of American Meteorological Society**.no. **93**, 2012. p. 1879–1900. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>

TAIZ, L., ZEIGER, Eduardo. Plant physiology. 3 ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 2002. 690 p.

TSIROU, I. X.. Assessment and energy implications of street air temperature cooling by shade trees in Athens (Greece) under extremely hot weather conditions. **Renewable Energy**. No. 35, p.1866–1869, 2010.

TURNER, D. B.. Workbook of atmospheric dispersion estimates. Office of Air Program Pub. 1970. No. AP-26, **Environmental Protection Agency**, USA.

VECCHIA, F.A.S.. Clima e ambiente construído: a abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano. 316p. Tese de Doutorado – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

WEBER S.; KUTTLER W.. Surface energy-balance characteristics of a heterogeneous urban ballast facet. **Climate Research** **28**: 2005, 257–266.

WONG, N. H., TAN, E., JUSUF, S. K. Influence of water body on air temperature in Singapore Climate. In: ICUC8 – 8th International Conference on Urban Climates, 6th-10th, 566 August 2012, Dublin. **Anais...** UCD, Dublin Ireland. 2012

XU, J., WEI, Q., HUANG X., ZHU, X., LI, G. Evaluation of human thermal comfort near urban waterbody during summer. **Building and Environment** 45 p. 1072–1080. 2010.

YOSHIDA, A., YASUDA, R., TAKENAKA, K., KINOSHITA, S. Mobile Observation of Air Temperature and Humidity Distributions in Osaka-Nakanoshima Area during Summer Sea Breeze. In: ICUC8 – 8th International Conference on Urban Climates, 6th-10th 227 August, 2012, Dublin. **Anais...** UCD, Dublin Ireland. 2012

YUAN, Chao; NG, Edward; CHEN, Liang; REN Chao; FUNG, Jimmy. Improving the wind environment in high-density cities by understanding urban morphology and surface roughness: A study in Hong Kong. **Landscape and Urban Planning**, 101, p. 59 – 74, 2011.

YUAN, Chao; NG, Edward; CHEN, Liang; REN Chao; FUNG, Jimmy. Improving the wind environment in high-density cities by understanding urban morphology and surface roughness: A study in Hong Kong. **Landscape and Urban Planning**, 101, p. 59 – 74, 2011.