

Patrícia Silva Gomes

**OCUPAÇÃO DO SOLO E MICROCLIMAS URBANOS:
O CASO DE MONTES CLAROS - MG**

**Florianópolis –SC
2008**

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PósARQ)

OCUPAÇÃO DO SOLO E MICROCLIMAS URBANOS: O CASO DE MONTES CLAROS - MG

Patrícia Silva Gomes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de Concentração: Tecnologia do Ambiente Construído

Orientador: Prof. Roberto Lamberts

**Florianópolis –SC
2008**

**OCUPAÇÃO DO SOLO E MICROCLIMAS URBANOS:
O CASO DE MONTES CLAROS - MG**

PATRÍCIA SILVA GOMES

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 25 de abril de 2008, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Prof. Ph.D Roberto Lamberts – PósARQ/ UFSC
(Orientador)

Prof.^a Dra. Eleonora Sad de Assis – Escola de Arquitetura UFMG
(Examinadora Externa)

Prof. Dr. Fernando Oscar Ruttkay Pereira - PósARQ/ UFSC
(Examinador 1)

Prof.^a Dra. Sonia Afonso - PósARQ/ UFSC
(Examinador 2)

AGRADECIMENTOS,

A Deus, pela vida e seus ensinamentos.

À minha família: pais, irmãos e avó, por estarem sempre ao meu lado.

Ao Professor Roberto Lamberts pela orientação.

Ao funcionário Saulo do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFSC pela ajuda na confecção dos abrigos.

Às pessoas que cederam os espaços para a colocação dos abrigos.

Aos funcionários do 5º DISMET e do Aeroporto pelo fornecimento dos dados climáticos.

Aos funcionários da Prefeitura de Montes Claros pelas informações e coleta de dados.

Aos funcionários da Copasa pelo fornecimento dos mapas e pelas informações.

Ao funcionário do INPE pelo fornecimento das imagens de satélite.

Ao Professor Expedito Ferreira da Unimontes pelas proveitosas orientações.

A Gisele Fagundes e ao Professor Antônio Wagner pela ajuda na formatação.

Aos membros do Laboratório de Conforto Ambiental da UFMG: a Professora Roberta Vieira pelo empréstimo da máquina fotográfica com a lente olho de peixe; a mestrandia Iara Santos na ajuda com o método para o cálculo do Fator de Visão de Céu; e a Professora Eleonora Sad Assis pelo auxílio teórico, pelo empréstimo de material e por participar da banca.

Aos professores Sonia Afonso e Fernando Oscar Ruttkay Pereira por participarem da banca.

RESUMO

O trabalho se refere à análise do clima urbano de Montes Claros, cidade localizada no norte do estado de Minas Gerais, com cerca de 350 mil habitantes. O município possui o clima tropical sub-úmido, sendo definido por duas estações típicas: um verão quente com chuvas e uma estação seca prolongada.

O trabalho parte do pressuposto de que há uma correlação entre as variáveis climáticas de temperatura e a umidade relativa (variáveis - resposta), medidas em campo, e as variáveis urbanísticas (variáveis explicativas) utilizadas no estudo que são: Proporção de Áreas Permeáveis e Impermeáveis, Densidade Construída, Fator de Forma e Fator de Visão de Céu e da análise qualitativa da topografia.

Os dados climáticos foram medidos em onze pontos distintos da malha urbana, que representam diferentes padrões de uso do solo no município, em três períodos distintos: o verão quente e úmido, o inverno ameno e seco, e estação mais seca, com temperatura elevada e baixa umidade.

Os resultados foram analisados sob três aspectos: através da análise causal e temporal da ilha de calor, através da correlação entre as variáveis e em relação à situação do conforto térmico exterior por meio do Diagrama Bioclimático de Givoni de 1992.

Os resultados encontrados mostram elevada correlação entre os dados, especialmente no período noturno, estendendo-se até a madrugada, o que permitiu a identificação da ilha de calor na cidade como fenômeno noturno.

Os resultados mostraram que há interdependência entre as variáveis, assim, conclui-se que o comportamento climático dos pontos não pode ser explicado por uma variável isoladamente.

Contudo, correlações encontradas foram mais significativas para as variáveis de Densidade Construída, Fator de Forma e Fator de Visão de Céu. As correlações encontradas foram negativas para as áreas verdes e positivas para as áreas impermeáveis, em todos os períodos medidos. As variáveis levantadas se relacionam diretamente à legislação urbanística, e podem ser utilizadas como uma ferramenta para a incorporação dos dados do clima ao planejamento urbano do município.

ABSTRACT

This work refers to the analysis of urban climate of Montes Claros, a city located in the north of Minas Gerais state in Brazil with about 350 mil inhabitants. The city's climate is sub-humid tropical, being defined by two typical seasons: warm summer with rain and prolonged dry season.

This work assumes the presupposed that there is an intimate relation between temperature climate variables and relative humidity (answer variables), measured on the field, and urban variables (explicative variables) which are: Proportion of Permeable and Impermeable Areas, Constructed Density, Form Factor and Sky View Factor and Topographic Qualitative Analysis.

The climate data was measured on eleven distinct points of the urban tissue, which represent different patterns of municipal ground use on three different periods: warm and humid summer; mild and dry winter; and drier season, with high temperatures and low humidity.

The results were studied about three aspects: through causal and temporal analysis of the urban heat island, through the correlation between variables and about thermal comfort through the Diagram Bioclimatic of Givoni 1992.

The results show a high correlation between the data, especially during nighttime, extending through dawn, which allowed the identification of the heat island in the city as a nocturnal phenomenon.

The results show that there is interdependence between the variables, then concluded that the conduct climate of points can not be explained by a variable alone.

However, the correlations found were more significant in the Constructed Density, Form Factor and Sky View Factor. The correlations found were negative for green areas and positive for impermeable areas, during all measured periods. The found data relates directly to the urban legislation, which allows it to be used as a tool for incorporating data from the climate to the urban planning of the city.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Modelo metabólico do espaço urbano. Adaptado pela autora.....	20
Figura 2	Localização geográfica de Montes Claros. Adaptado pela autora.....	25
Figura 3	Fluxograma metodológico.....	29
Figura 4	Classificação Climática de Köppen para o território brasileiro.....	33
Figura 5	Articulação dos sistemas segundo os canais de percepção do SCU...	36
Figura 6	Diagrama básico do SCU.....	37
Figura 7	Esquema do balanço de energia no ambiente urbano.....	40
Figura 8	Seção transversal genérica de uma típica ilha de calor urbano.....	43
Figura 9	Representação esquemática da atmosfera urbana. Adaptado pela autora.....	44
Figura 10	Formação da “pluma de calor” com a circulação de poluentes. Modificado pela autora.....	45
Figura 11	Fator de Visão de Céu (ψ).....	56
Figura 12	Efeito da vegetação nas transformações da radiação.....	60
Figura 13	Valores de ganhos de calor para cada uma das superfícies.....	61
Figura 14	Gradientes genérico de vento em área urbana, suburbana e área aberta	64
Figura 15	Influência do relevo na formação de microclimas.....	65
Figura 16	Diagrama Bioclimático de Givoni associado à Carta Psicrométrica.....	67
Figura 17	Divisão territorial das mesorregiões de Minas Gerais segundo o IBGE.....	74
Figura 18	Mesorregião do Norte de Minas Gerais com destaque para o município de Montes Claros.....	75
Figura 19	Radiação solar global diária - média anual típica ($Wh/m^2.dia$).....	79
Figura 20	Alguns trechos das Avenidas Sanitárias, na figura (a) o curso d’água foi enterrado, em (b) e (c) encontra-se canalizado.....	84
Figura 21	Vegetação e principais recursos hídricos do município.....	85
Figura 22	Fases do crescimento urbano do município.....	89
Figura 23	Vista da Praça Dr. Carlos e Shopping Popular ao fundo.....	90
Figura 24	Zoneamento do município.....	92
Figura 25	Imagem de satélite IKONOS de 2000 com a sobreposição dos pontos medidos.....	96
Figura 26	Localização do ponto dos Morrinhos.....	97

Figura 27	Característica da ocupação no ponto da Catedral.....	97
Figura 28	Os distintos perfis de ocupação no local: a esquerda os calçadões centrais e a direita a Praça da Matriz.....	98
Figura 29	Avenida Sanitária.....	99
Figura 30	Avenida Sanitária, próximo ao Senac (à esquerda) onde implantou-se o ponto de medição.....	99
Figura 31	Parque Municipal a mata à frente e a lagoa ao fundo.....	100
Figura 32	Sítios presentes na região, ao fundo a vegetação nativa da Serra do Ibituruna.....	100
Figura 33	Entorno ao ponto localizado fora do perímetro urbano.....	101
Figura 34	Lagoa Interlagos.....	101
Figura 35	Ponto do Aeroporto.....	102
Figura 36	Exemplo determinação das superfícies.....	104
Figura 37	Identificação do número de pavimentos de cada edificação.....	105
Figura 38	Em (a) representação esquemática da abóbada celeste, em (b) diagrama de fator de forma de projeção equidistante.....	107
Figura 39	Imagem do local em projeção equidistante (a). Relação entre a área do círculo e a área da obstrução a partir do qual foram realizados os cálculos (b).....	108
Figura 40	Área de trabalho do Mapinfo®, no detalhe o FVC calculado automaticamente pelo SIG.....	109
Figura 41	Abrigo utilizado na pesquisa. Ponto Senac.....	112
Figura 42	Zoneamento em cada quadra para Catedral (a), Matriz (b), Avenida Sanitária (c) e Senac (d).....	122
Figura 43	Identificação das Superfícies urbanas em cada amostra (raio= 150 metros).....	127
Figura 44	Gabarito de cada edificação para a identificação da Densidade Construída (Raio = 150 metros).....	130
Figura 45	Identificação do Fator de Visão de Céu (FVC).....	135
Figura 46	Localização dos pontos do cálculo do FVC.....	135
Figura 47	Mapa hipsométrico.....	136
Figura 48	Média horária em cada ponto sobre o Diagrama Bioclimático de Givoni e a Carta Psicrométrica para Montes Claros, resultados de janeiro 2007.....	147
Figura 49	Média horária em cada ponto sobre o Diagrama Bioclimático de Givoni e a Carta Psicrométrica para Montes Claros, resultados de junho e julho 2007.....	148

Figura 50	Média horária em cada ponto sobre o Diagrama Bioclimático de Givoni e a Carta Psicrométrica para Montes Claros, resultados de setembro 2007.....	148
Figura 51	Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	149

Apêndice

Figura 1	Nebulosidade nos horários de 10 e 16 horas respectivamente dia 19/01/07.....	179
Figura 2	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa% (b) para o dia 19/01/07.....	180
Figura 3	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 20/01/07.	181
Figura 4	Nebulosidade nos horários de 10 e 16 horas respectivamente dia 21/01/07.	181
Figura 5	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 21/01/07.....	182
Figura 6	Nebulosidade nos horários de 16 e 22 horas respectivamente dia 22/01/07.	183
Figura 7	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 22/01/07.....	184
Figura 8	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 23/01/07.....	185
Figura 9	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 24/01/07.....	186
Figura 10	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 25/01/07.....	187
Figura 11	Nebulosidade nos horários de 16 e 22 horas respectivamente dia 26/01/07.....	187
Figura 12	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 26/01/07.....	188
Figura 13	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 27/01/07.....	189
Figura 14	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 28/01/07.....	190
Figura 15	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 25/06/07.....	191
Figura 16	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 26/06/07.....	192
Figura 17	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 27/06/07.....	193
Figura 18	Nebulosidade nos horários de 09 e 21 horas respectivamente dia 28/06/07.....	194
Figura 19	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 28/06/07.....	194
Figura 20	Nebulosidade nos horários de 09 e 21 horas respectivamente dia 29/06/07.....	194

Figura 21	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) 29/06/07.....	196
Figura 22	Nebulosidade nos horários de 09 e 21 horas respectivamente dia 30/06/07.....	196
Figura 23	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 30/06/07.....	197
Figura 24	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 01/07/07.....	198
Figura 25	Nebulosidade nos horários de 09 e 21 horas respectivamente dia 02/07/07.....	199
Figura 26	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 02/07/07.....	199
Figura 27	Nebulosidade nos horários de 09 e 15 horas respectivamente dia 03/07/07.....	200
Figura 28	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 03/07/07.....	201
Figura 29	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 04/07/07.....	202
Figura 30	Nebulosidade nos horários de 09 e 15 horas respectivamente dia 20/09/07.....	202
Figura 31	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 20/09/07.....	203
Figura 32	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 21/09/07.....	204
Figura 33	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 22/09/07.....	205
Figura 34	Nebulosidade nos horários de 09 e 15 horas respectivamente dia 23/09/07.....	206
Figura 35	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 23/09/07.....	206
Figura 36	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 24/09/07.....	207
Figura 37	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 25/09/07.....	208
Figura 38	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 26/09/07.....	209
Figura 39	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 27/09/07.....	210
Figura 40	Nebulosidade nos horários de 09 e 15 horas respectivamente dia 28/09/07.....	211
Figura 41	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 28/09/07.....	212
Figura 42	Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 29/09/07.....	213

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	Intensidade da ilha de calor.....	46
QUADRO 2	Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano. Adaptado pela autora.....	50
QUADRO 3	Escalas climáticas e escalas de planejamento.	71
QUADRO 4	Dados Climáticos de Montes Claros.....	80
QUADRO 5	Modelos de assentamentos baseados na lei de uso e ocupação do solo.....	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Comparativo do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).....	76
Gráfico 2	Período de estabilização das medidas.....	111
Gráfico 3	Teste comparativo do Abrigo da Pesquisa e do Abrigo do 5º DISMET para os cinco dias consecutivos.....	114
Gráfico 4	Média horária da temperatura durante os dez dias de medição de janeiro de 2007.....	141
Gráfico 5	Média horária da temperatura durante os dez dias de medição de junho e julho de 2007.	141
Gráfico 6	Média horária da temperatura durante os dez dias de medição de setembro de 2007.	142
Gráfico 7	Média horária da umidade relativa durante os dez dias de medição de janeiro de 2007.....	142
Gráfico 8	Média horária da umidade durante os dez dias de medição de junho e julho de 2007.....	143
Gráfico 9	Média horária da umidade durante os dez dias de medição de setembro de 2007.....	143
Gráfico 10	Temperatura média do período de Janeiro	145
Gráfico 11	Temperatura média do período de Julho	146
Gráfico 12	Temperatura média do período de Setembro.	146
Gráfico 13	Coeficientes de determinação obtidos entre densidade construída e temperatura noturna (21 horas) para a medição de janeiro.....	151
Gráfico 14	Coeficientes de determinação obtidos entre densidade construída e temperatura noturna (21 horas) para a medição de junho e julho.....	151
Gráfico 15	Coeficientes de determinação obtidos entre densidade construída e temperatura noturna (21 horas) para a medição de setembro.....	151
Gráfico 16	Coeficientes de determinação obtidos entre o FF e temperatura noturna (21 horas) para a medição de janeiro.....	152
Gráfico 17	Coeficientes de determinação obtidos entre o FF e temperatura noturna (21 horas) para a medição de junho e julho.	152
Gráfico 18	Coeficientes de determinação obtidos entre o FF e temperatura noturna (21 horas) para a medição de setembro..	152
Gráfico 19	Coeficientes de determinação obtidos entre FVC e temperatura noturna (21 horas) para a medição de janeiro.....	153
Gráfico 20	Coeficientes de determinação obtidos entre FVC e temperatura noturna (21 horas) para a medição de junho e julho.....	153

Gráfico 21	Coeficientes de determinação obtidos entre FVC e temperatura noturna (21 horas) para a medição de setembro.....	154
Gráfico 22	Fatores de determinação obtidos entre taxa de cobertura vegetal e temperatura noturna (21 horas) para a medição de janeiro.....	155
Gráfico 23	Fatores de determinação obtidos entre taxa de cobertura vegetal e temperatura noturna (21 horas) para a medição de junho e julho.....	155
Gráfico 24	Fatores de determinação obtidos entre taxa de cobertura vegetal e temperatura noturna (21 horas) para a medição de setembro.....	155
Gráfico 25	Fatores de determinação obtidos entre % de áreas impermeáveis e temperatura noturna (21 horas) para a medição de janeiro.....	156
Gráfico 26	Fatores de determinação obtidos entre % de áreas impermeáveis e temperatura noturna (21 horas) para a medição de junho e julho.	156
Gráfico 27	Fatores de determinação obtidos entre % de áreas impermeáveis e temperatura noturna (21 horas) para a medição de setembro.	156
Gráfico 28	Fatores de determinação obtidos entre a UR% máxima e a taxa de cobertura vegetal (a) e a % de áreas impermeáveis (b) janeiro.....	157
Gráfico 29	Fatores de determinação obtidos entre a UR% máxima e a taxa de cobertura vegetal (a) e a % de áreas impermeáveis (b) junho.....	158
Gráfico 30	Fatores de determinação obtidos entre a UR% máxima e a taxa de cobertura vegetal (a) e a % de áreas impermeáveis (b) setembro....	158
Gráfico 31	Fatores de determinação entre a densidade construída e a temperatura média às 21 horas em janeiro (a), junho (b) e setembro (c).....	159
Gráfico 32	Fatores de determinação obtidos entre a temperatura média às 21 horas de janeiro e o Fator de Forma (a) e o FVC(b)	160
Gráfico 33	Fatores de determinação obtidos entre a temperatura média às 21 horas de junho e a densidade construída (a) e o FVC (b).....	160
Gráfico 34	Fatores de determinação obtidos entre a temperatura média às 21 horas de setembro e a densidade construída (a) e o FVC (b).....	160
Gráficos 35	Correlação entre cobertura vegetal e temperatura média às 15 horas (a) e Umidade Média Máxima e Áreas permeáveis (b), janeiro.....	161
Gráficos 36	Correlação entre cobertura vegetal e temperatura média às 15 horas (a) e Umidade Média Máxima e Áreas permeáveis (b), julho.....	162
Gráfico 37	Correlação entre cobertura vegetal e temperatura média às 15 horas (a) e Umidade Média Máxima e Áreas permeáveis (b), setembro.....	162
Gráfico 38	Correlação para as áreas permeáveis existentes utilizadas como referência para a análise do aumento das áreas permeáveis.....	163

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Distribuição populacional por década do município de Montes Claros com base nos dados Demográficos do IBGE.....	87
TABELA 2	Relação para a padronização das medidas.....	111
TABELA 3	Demonstrando a partir dos critérios descritos a escolha do período analisado.....	116
TABELA 4	Identificação das superfícies de ocupação em %.....	128
TABELA 5	Identificação da Densidade de ocupação em %	129
TABELA 6	Identificação do Fator de Forma (FF) em %.....	131
TABELA 7	Identificação do Fator de Visão de Céu (FVC) em %.....	131
TABELA 8	Dados de Temperatura, Umidade, Velocidade e Direção dos ventos medidos pela estação do 5º DISMET para os dias analisados em janeiro/2007.....	138
TABELA 9	Dados de Temperatura, Umidade, Velocidade e Direção dos ventos medidos pela estação do 5º DISMET para os dias analisados em junho-julho/2007.....	139
TABELA 10	Dados de Temperatura, Umidade, Velocidade e Direção dos ventos medidos pela estação do 5º DISMET para os dias analisados em setembro/2007.....	140
TABELA 12	Resultados encontrados aumento das Áreas Permeáveis.....	164

LISTA DE SIGLAS

AMPS - Área Mineira do Polígono das Secas
APP - Áreas de Preservação Permanente
CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais
CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento do Vale do Rio São Francisco
COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais
DISMET - Distrito Nacional de Meteorologia
DOE – Department of Energy
EIV - Estudo de Impacto de Vizinhança
ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
EPA – Environmental Protection Agency
FVC – Fator de Visão de Céu
FF – Fator de Forma
HIRI - Heat Island Reduction Initiative
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH - Índice de Desenvolvimento Humano
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
MA – Modelo de Assentamento
PDLI - Plano de Desenvolvimento Local Integrado
PECPM - Plano Especial Cidades de Porte Médio
PEMAS - Plano Estratégico Municipal para Assentamentos Subnormais
SCU – Sistema Clima Urbano
SE – Setores Especiais
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TGS - Teoria Geral dos Sistemas
TRUCE – Tropical Urban Climate Experiment
UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
UNIMONTES - Universidade Estadual de Montes Claros
WMO – World Meteorological Organization
ZC- Zona Comercial
ZI- Zona Industrial
ZR- Zona Residencial
PMMC – Prefeitura Municipal de Montes Claros

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18	
1.1	Introduzindo uma Problemática	19
1.2	Justificativa e Objetivos	25
2. REVISÃO DE LITERATURA	30	
2.1	Aspectos do clima	31
2.2	O Clima urbano	34
2.3	As características do clima urbano e o balanço de energia	38
2.4	A ilha de calor	41
2.5	Métodos e escalas de abordagem em clima urbano	46
2.6	Revisão teórica das principais abordagens em clima urbano	51
2.7	Aspectos da bioclimatologia urbana	56
2.7.1	Algumas características relacionadas à forma urbana	56
2.7.2	A vegetação	59
2.7.3	As Massas de água	62
2.7.4	Movimento das massas de ar	63
2.7.5	O relevo	65
2.8	Avaliação do conforto térmico exterior	66
2.9	Clima e planejamento urbano	68
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: A CIDADE DE MONTES CLAROS	73	
3.1	Aspectos Gerais	74
3.2	Análise dos condicionantes ambientais	77
3.2.1	Aspectos Climáticos	77
3.2.2	O sítio físico da região de Montes Claros	81
3.2.3	Levantamento da vegetação e dos cursos d'água significativos	81
3.4	Análise dos Condicionantes Urbanos	86
3.4.1	O processo de urbanização de Montes Claros	86
3.4.2	Análise do Plano Diretor atual	90
4. MÉTODO DE TRABALHO	95	
4.1	Estrutura dos pontos	95
4.2	Método para a análise dos padrões de ocupação físico-urbanística	102
4.2.1	Identificação percentual das superfícies da ocupação urbana	103
4.2.2	Determinação da Densidade Construída	104
4.2.3	Determinação do Fator de Forma e do Fator de Visão do Céu	106
4.2.4	Análise da Topografia	109

4.3	Método para a medição das variáveis climáticas	110
4.3.1	Os instrumentos utilizados e a calibração dos equipamentos da pesquisa	110
4.3.2	Método para o levantamento das variáveis climáticas (temperatura e umidade relativa)	115
4.4	Método para a Avaliação do Conforto térmico dos locais analisados	117
4.5	Método para Correlação entre as variáveis climáticas e urbanísticas	118
4.6	Método para a Proposição de outros cenários de Ocupação	121
4.6.1	Método para a criação do cenário com a densidade construída máxima permitida pela LUOS do município	121
4.6.2	Método para a criação do cenário com o aumento das áreas permeáveis	123
4.6.3	Método para a avaliação da temperatura-limite da zona de conforto	123
4.7	Considerações finais	123

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES **124**

5.1	Resultados das Variáveis físico-urbanísticas	125
5.1.1	Identificação das diferentes superfícies de ocupação e suas respectivas porcentagens	125
5.1.2	Determinação da Densidade Construída	128
5.1.3	Determinação do Fator de Forma e do Fator de Visão do Céu	131
5.1.4	Caracterização da altimetria dos pontos estudados.	136
5.1.4.1	Análise da Topografia e dos ventos	137
5.2	Resultados das Variáveis climáticas (Temperatura e Umidade relativa)	138
5.3	Avaliação do Conforto térmico dos locais analisados	147
5.4	Correlação entre as variáveis climáticas e urbanísticas	150
5.4.1	Comportamento das áreas construídas	150
5.4.2	Comportamento das Áreas Verdes e Impermeáveis	154
5.4.3	Análise de Comportamento Climático dos pontos centrais	159
5.5	Proposição de outros cenários de ocupação baseados no poder preditivo das equações de regressão linear da área central	163
5.5.1	Cenário proposto: aumento das áreas permeáveis	163
5.5.2	Avaliação da temperatura-limite da zona de conforto térmico	164
5.6	Considerações Finais	165

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES **167**

Referências	173
Apêndice	179

1

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

1.1 Introduzindo uma Problemática

Nesse início de século, muitas cidades têm acumulado vários problemas ambientais como consequência da chamada “Realidade Urbana”¹. Diante dos problemas urbanos e ambientais que incidem diretamente no cotidiano da população, comprometendo os padrões de qualidade de vida, os diversos atores (planejadores, técnicos e sociedade) são desafiados a pensar a cidade: que futuro é desejado para essas?

Não se trata apenas de uma frase de efeito, mas sim da constatação de que, apesar dos inúmeros desafios, é preciso procurar alternativas para que o crescimento urbano possa ocorrer sem causar tantos prejuízos sociais e ambientais.

No atual contexto da modernidade capitalista, as cidades refletem seu posicionamento frente ao mercado global. Paradoxalmente, o meio urbano - local privilegiado para a difusão do progresso e das inovações, é o espaço para a materialização de um modo de vida urbano industrial, que é marcado pelo uso indiscriminado de recursos naturais, consumo, desperdício, gasto de energia e pela predominância dos interesses privados e individuais em detrimento dos interesses públicos e coletivos. Contudo, dado ao agravamento dos problemas ambientais, fortes iniciativas de mudança desse posicionamento podem ser percebidas, especialmente nos países desenvolvidos.

As cidades são, cada vez mais, o lugar de moradia, vida e trabalho da maioria da população mundial, estima-se que o número de habitantes em áreas urbanas no mundo seja em torno de 50% (MENDONÇA, 2003a: 175). Esse crescimento se mostra mais intenso nos países em desenvolvimento como é o caso do Brasil.

Seguindo o pensamento sistêmico e utilizando teorias da ecologia humana², pode-se dizer que ao intervir sobre a natureza, a partir das relações econômicas e sociais estabelecidas, o homem cria condições para a modificação do meio natural

¹ A Realidade Urbana é mencionada por Lefebvre (1999) como sendo o resultado do processo de industrialização e de urbanização das cidades.

² A ecologia humana é definida por Lawrence (2003) como o estudo das interações dinâmicas entre as populações e as características físicas, bióticas, sociais e culturais do seu ambiente.

preexistente levando à criação do que Lefebvre (1969) denominou de “natureza segunda” como sendo aquela constituída pela cidade e pelo urbano.

Santos (1993) observa que as alterações provocadas pelo processo de urbanização sobre o meio ambiente criaram em cada local um *meio geográfico artificial* (grifo nosso). Em contrapartida, a natureza reage do seu modo, a essa ação antrópica, mostrando, por vezes, sinais de colapsos, sobretudo através do tratamento incorreto dado aos recursos naturais. Como consequência, constata-se que uma série de impactos têm sido comuns, com destaque para aqueles relativos ao sistema atmosférico.

Segundo Andrade (2005), tomando-se o espaço urbano como um ecossistema - o ecossistema urbano - pode-se dizer que este reúne elementos bióticos, abióticos (como o clima), e também fatores sócio-culturais, que, ao interagirem, condicionam a população humana.

Newman (1999) analisa o sistema urbano como uma extensão do modelo metabólico, figura 1. De acordo com seu modelo, pode-se dizer que as aglomerações urbanas demandam grande quantidade de recursos externos à cidade (*inputs*), como por exemplo, matérias-primas, água, alimento e energia que são transformados, sob diversas formas, para suprir as necessidades econômicas, a produção industrial, a dinâmica urbana e as demandas sociais por habitação, abastecimento, resultando na liberação de grandes quantidades de resíduos (*outputs*) como lixo, poluição das águas, emissão de poluentes (veicular e industrial) e produção de calor.

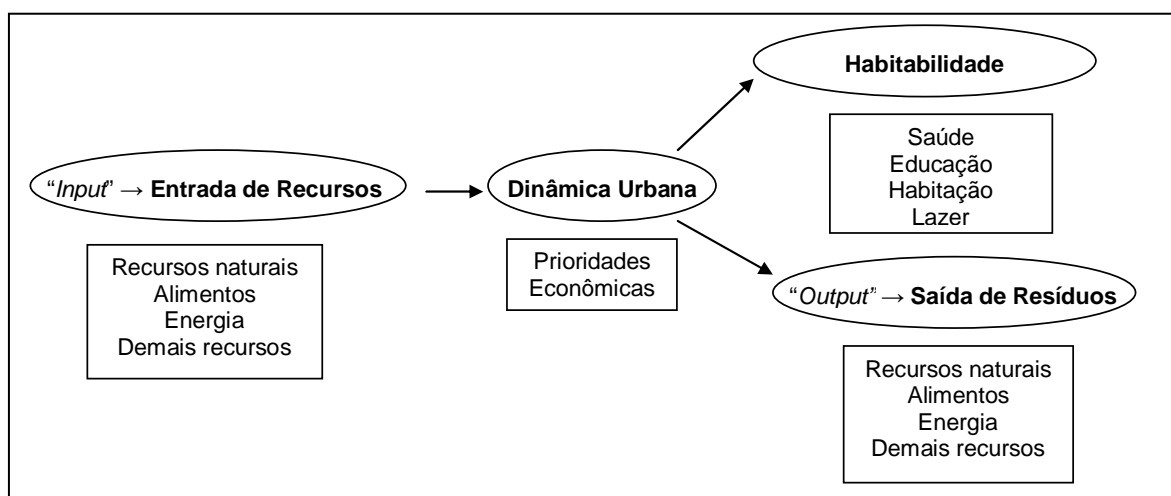


Figura 1 – Modelo metabólico do espaço urbano. Adaptado pela autora.
Fonte: NEWMAN, 1999, p. 222.

Assim, os problemas ambientais decorrentes da urbanização trazem prejuízos não apenas para o meio ambiente como também para a qualidade de vida do ser humano. Andrade (2005) coloca que a melhoria nos padrões de qualidade de vida requer decisões de planejamento que levem em consideração a otimização no uso dos recursos naturais (*inputs*) e a diminuição na quantidade de resíduos (*outputs*) produzidos.

Nesse sentido, Assis (2005) relaciona dados de autores como Changnon (1992)³ e Oke (1994)⁴ para comentar sobre o possível impacto em nível regional e/ou global trazido pela ocupação urbana sobre o sistema atmosférico. Segundo Assis (2005:93):

A grande quantidade de energia usada nas áreas urbanas as transforma nas maiores fontes indiretas de produção de gases causadores do efeito estufa. [...] Estudos realizados com séries climáticas dos últimos 100 anos da rede meteorológica mundial sugerem que o incremento médio observado na temperatura do planeta poderia ser devido à urbanização. Apesar de ser polêmica a idéia da influência da urbanização na mudança climática global, alguns autores levantam a questão de que os climas urbanos podem representar um microcosmo dos climas de larga escala do futuro, tendo em vista o processo de aquecimento global e os pesquisadores geralmente concordam sobre o impacto do ambiente construído no clima, pelo menos em nível local ou mesoclimático.

Desta forma, a urbanização acelerada engendrou consideráveis alterações na atmosfera urbana, o que levou inúmeros pesquisadores a observar que nas cidades as temperaturas são geralmente mais elevadas do que nas áreas rurais circunvizinhas. Essas diferenciações microclimáticas são resultados do uso intensivo do solo, impermeabilização excessiva, adensamento e verticalização nas áreas centrais, substituição de áreas verdes por áreas construídas e podem causar desconforto térmico, variações no regime de precipitações, maior consumo de energia, além de comprometer o equilíbrio térmico em uma escala maior. Assim, a sociedade e, especialmente, os mais empobrecidos, passam a conviver com vários problemas urbanos e se tornam vulneráveis a uma série de impactos severos.

Segundo Lombardo (1985:15):

³ CHANGNON, S. A. Inadvertent weather modification in urban areas: lessons for global climate change. *Bulletin American Meteorological Society*, n. 73, p. 619-627, 1992.

⁴ OKE, T. R. Keynote Address. In: Technical Conference on Tropical Urban Climates, 1993, Dhaka, Bangladesh. *Report...* Geneva: WMO TD, n.647, WCASP – 30, p. xxiii-xxvii, 1994.

Fenômenos inter-relacionados como a ilha de calor, poluição do ar, chuvas intensas, inundações, desabamentos passam a fazer parte do cotidiano urbano, sobrepondo mais um fenômeno aos demais, fazendo com que a população se defronte com essa natureza alterada e conviva diariamente com os problemas dela decorrentes.

No caso brasileiro, é preciso considerar o rápido processo de urbanização a partir de meados da década de 1950, em decorrência da política nacional de desenvolvimento industrial que, aliada ao capital internacional, produziu a concentração espacial da indústria e, por conseqüência, da oferta de emprego, o que resultou na alteração significativa da estrutura social do país - marcando a transição de uma sociedade tipicamente agrícola, como era na década de 1940, para uma sociedade urbano-industrial na década de 60.

Esse fato estimulou a concentração demográfica nas metrópoles e engendrou uma vertiginosa perda na qualidade de vida, porque os investimentos públicos e a política urbana adotada não conseguiram suplantar a extensiva ocupação do território e a demanda por habitação e infra-estrutura. Alguns autores como Bonduki (1997) colocaram que a expansão econômica e o “mito do progresso” subjugarão a necessidade de planejamento de caráter social ou ambiental, resultando no que Santos (1993) denominou de “urbanização corporativa”⁵.

Contudo, a partir da década de 80, as estratégias de desconcentração industrial, aliado a fatores como o deslocamento da oferta de empregos e a escolha de muitos, em especial da classe média, em residir e trabalhar longe das grandes cidades, fizeram gerar no país um fluxo migratório em direção a novas áreas de fronteira econômica, ou à cidades de porte médio, geralmente, pólos regionais, fruto direto de um processo de desmetropolização⁶.

Assim, enquanto as cidades médias cresciam em taxas expressivas⁷, as metrópoles, que já haviam passado pela expansão, inchavam; estruturando-se uma rede urbana com pequenas, médias, grandes e gigantescas cidades.

⁵ Santos (1993) definiu a urbanização corporativa como aquela empreendida sob o comando dos interesses das grandes firmas, constituindo-se num receptáculo das conseqüências de uma expansão capitalista devoradora de recursos públicos, uma vez que estes são orientados para os investimentos econômicos, em detrimento dos gastos sociais.

⁶ Santos (1993) observa que o processo de desmetropolização segue paralelo ao de metropolização, haja visto que as cidades grandes também continuaram a crescer.

⁷ Maricato (2001) aponta que o Censo do IBGE de 2000 constatou taxas de crescimento urbano de 4,8% para as cidades médias e de 1,3% para as metrópoles.

O crescimento urbano das cidades brasileiras baseou-se, de uma forma geral, na relação centro-periferia. Assim, a ação especulativa determinou o crescimento horizontal extensivo com inúmeros vazios urbanos internos deixados para a valorização imobiliária, resultando no aumento desmesurado da mancha urbana e maior demanda por infra-estrutura para atender áreas cada vez mais distantes.

Essa dinâmica define formas de segregação sócio-espacial, pois à população de baixa renda resta a ocupação em áreas periféricas (sem regularização fundiária), ou em locais de preservação ambiental, como encostas ou margens de rios, tornando-a sujeita à marginalidade econômica e social e passível das conseqüências dos problemas ambientais. Também as áreas centrais passaram por uma ação especulativa, na qual a busca por melhor localização e infra-estrutura estimulou o uso intensivo do solo, resultando no adensamento e verticalização devido à grande valorização imobiliária.

Assim, diante dos problemas configurados, o planejamento apresenta-se como alternativa para solucionar os impasses urbanos. O Estatuto da Cidade⁸ procurou dar um novo enfoque aos Planos Diretores com a busca pela cidade sustentável, a valorização da função social da propriedade urbana e a participação social no processo de planejamento urbano da cidade, através do orçamento participativo, por exemplo. Nesse contexto, a obrigatoriedade de elaboração ou revisão dos planos diretores municipais soou como um convite para se pensar a cidade, tornando-se uma grande oportunidade para que as questões referentes à qualidade ambiental fossem incluídas no planejamento urbano.

Nesse contexto, os métodos do urbanismo bioclimático que partem da compreensão das condições ambientais (insolação, iluminação natural, ventos, vegetação) e urbanas (sistema viário, áreas livres, estrutura urbana) são importantes para a definição de diretrizes de planejamento urbano que levem em consideração a capacidade de suporte de adensamento, a geração de ruído urbano, a demanda do sistema de transportes, as relações com o sítio natural, as próprias implicações dos domínios morfoclimáticos.

Mais especificamente, o estudo do clima urbano tem se mostrado uma importante contribuição para que os aspectos relativos à qualidade ambiental sejam

⁸ O Estatuto da Cidade, Lei Federal 10.257 de 2001, veio regulamentar os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, referentes à política urbana, estipulando que as cidades com população acima de 20.000 habitantes deveriam elaborar seus Planos Diretores.

tratados de forma mais adequada no Plano Diretor. Tal estudo permite associações tanto com o planejamento das áreas livres, do qual são derivadas questões como o zoneamento, a preservação ambiental, a expansão urbana, etc; quanto das áreas construídas, que relacionam-se ao Uso e Ocupação do Solo e ao Código de Edificações, podendo contribuir para a criação de índices urbanísticos mais adequados em termos da orientação solar, insolação e iluminação natural e ventilação.

Contudo, apesar da evidente relação entre os efeitos climáticos e o crescimento urbano, poucos desdobramentos práticos são estabelecidos entre esses dois campos temáticos na busca por uma maior sustentabilidade urbana, especialmente no caso brasileiro, onde a complexidade do próprio processo de urbanização é somada às condições climáticas de tropicalidade. Na visão de Andrade (2005), essa relação é insuficiente, quer pela incapacidade dos climatologistas em integrar o seu trabalho numa perspectiva ambiental mais ampla, quer pela reduzida importância dada às temáticas ambientais nas abordagens sociológicas e econômicas do espaço urbano.

Porém, alguns autores como Lombardo (1985) e Duarte (2000) avaliam que a valorização dos estudos do clima urbano no planejamento depende de mudanças de ordem política, através de alternativas normativas orientadas para a melhoria da eficiência energética e alternativas construtivas através da criação de diretrizes de projeto comprometidas com o conforto ambiental. A incorporação dessas questões à prática do planejamento e projeto urbano mostra-se menos onerosa do que os custos decorrentes de problemas climáticos, tais como a demanda pelo consumo de energia para a climatização, ou as perdas materiais e humanas frente aos impactos ambientais severos.

A partir desses desdobramentos, o presente estudo desenvolve-se tomando como caso de estudo o clima urbano de Montes Claros, cidade que se localiza no norte do estado de Minas Gerais, conforme mostra a figura 2.

O município possui uma população estimada em 348.991 habitantes⁹ e é o principal pólo da região Norte de Minas Gerais. A sua temperatura média normal anual é de 24,2°C e seu tipo climático é o tropical sub-úmido sendo definido por duas estações típicas: um verão quente com chuvas e uma estação seca

9 Dados do IBGE (2006).

prolongada. Devido à distribuição irregular das chuvas, o município está incluído na Área Mineira do Polígono das Secas (AMPS).

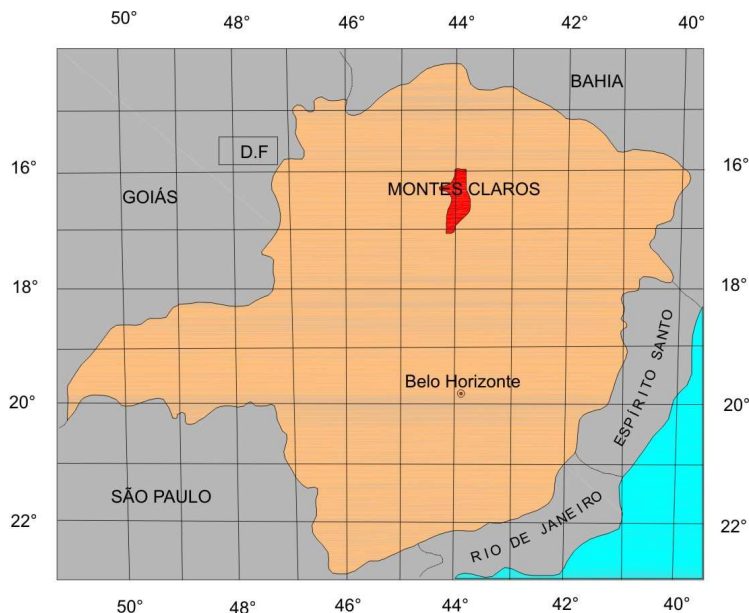


Figura 2 – Localização geográfica de Montes Claros. Adaptado pela autora.
Fonte: Arquivo Digital da Prefeitura Municipal de Montes Claros (PMMC), 2006.

1.2 Justificativa e Objetivos

O trato dos problemas ambientais urbanos requer uma análise interdisciplinar devido à complexidade dos fenômenos relacionados. Assim, os trabalhos nessa área demandam respostas no sentido de instituir uma ocupação do solo mais comprometida com a qualidade ambiental. Nesse contexto, o estudo do clima urbano busca o desenvolvimento de métodos que se integrem ao planejamento e projeto da cidade, tendo em vista a melhoria de suas condições físico-ambientais. Tais métodos são denominados de *preditivos*, devido à capacidade de relacionar a avaliação do desempenho ambiental com as características da forma urbana.

Os estudos na área de clima urbano se justificam pelas informações que podem oferecer para orientar a adequação da legislação urbanística. Além de se inserir no que diz respeito à melhoria do conforto bioclimático dos espaços públicos e na redução do consumo de energia.

Este trabalho busca de forma pioneira analisar o clima urbano da cidade de Montes Claros – MG, buscando identificar as características da ocupação urbana mais diretamente relacionadas às variações microclimáticas. A hierarquização dessas características pode ser útil ao planejamento urbano.

A escolha da cidade como caso de estudo se justifica pelo fato desta reunir uma série de características relevantes para a análise do ambiente térmico, tais como:

- Por se tratar de uma cidade de porte médio, com um crescimento demográfico bastante expressivo. Dessa forma, os resultados aqui buscados poderão ser melhor aproveitados no planejamento urbano, do que em cidades com realidades urbanas mais consolidadas.
- Pelas características do seu crescimento urbano atual, orientado para a renovação de usos em algumas áreas de ocupação já consolidadas, expansão da ocupação, crescimento expressivo de novas centralidades e um considerável incremento da verticalização.
- Por apresentar-se como um local propício à aplicação de tais estudos, já que o município apresenta no seu rigor climático uma grande peculiaridade, capaz de gerar desconforto térmico, um consumo de energia para climatização quase que inevitável e possibilidades de problemas de saúde na população.

Além desses aspectos, a escolha do caso de estudo se justifica pelo maior conhecimento das características do local e pela facilidade de trabalho.

Assim, o **objetivo geral** do trabalho é analisar a variação temporal e causal do clima urbano da cidade de Montes Claros, através da medição dos dados climáticos de temperatura e umidade relativa em diferentes locais tomados para o estudo, e correlacionar esses dados aos parâmetros urbanísticos de cada local.

Para alcançar tal objetivo fez-se necessário:

- Caracterizar os aspectos urbanos e ambientais do município de Montes Claros, através de uma análise exploratória e bibliográfica, dando suporte para a criação de mapas temáticos necessários para a compreensão do clima urbano.
- Medir de forma simultânea os dados climáticos de temperatura e umidade relativa.
- Quantificar as variáveis urbanísticas de cada local estudado.

- Analisar e discutir o comportamento climático dos locais estudados, sobretudo no que se refere ao comportamento das áreas verdes e das áreas construídas.
- Correlacionar as variáveis climáticas às variáveis urbanísticas buscando formas de aplicação ao planejamento urbano, inclusive sob o ponto-de-vista preditivo, ou seja, da criação de outros cenários de ocupação.
- Analisar a situação de conforto térmico exterior nos locais estudados.

A figura 3 apresenta o fluxograma metodológico seguido pelo estudo.

Para a medição climática em campo foram selecionados dez pontos da malha urbana que representassem tipologias de ocupação do solo existentes no município. Escolheu-se também um ponto fora do perímetro urbano, na saída da BR 135, de modo a servir como um comparativo com os demais pontos da malha urbana, já que a ilha de calor implica nas diferenças térmicas entre a cidade e o campo (terreno natural) circunvizinho.

Foram realizados três ciclos de medição, todos no ano de 2007. O primeiro, em janeiro, abrangendo a situação de verão quente e úmido, o segundo, em junho e julho, abrangendo o inverno com temperaturas amenas e baixa umidade, e o terceiro, em setembro, situação com temperatura elevada e baixa umidade.

Partiu-se da premissa de que há uma íntima correlação entre os microclimas urbanos e algumas variáveis relacionadas ao uso e ocupação do solo. A hipótese central é de que as variáveis climáticas (variáveis resposta) deveriam ser descritas pelas variáveis urbanísticas (variáveis explicativas) utilizadas no estudo. Portanto, procurou-se utilizar no estudo algumas variáveis urbanísticas diretamente relacionadas com a abordagem teórica da ilha de calor.

De acordo com Oke (1981), as principais características da forma urbana envolvidas no balanço energético na camada limite urbana são a geometria urbana e as propriedades térmicas dos materiais.

Baseados nessa abordagem foram escolhidos como parâmetros urbanísticos do estudo os seguintes aspectos:

- Identificação e quantificação das diferentes superfícies de ocupação urbana, enquadrando-as nas seguintes categorias: *áreas edificadas*; *áreas permeáveis* - arborizadas, gramadas, solo natural e britado; *áreas impermeáveis* - pavimentadas, calçadas e asfaltadas; e *corpos d'água*. A

identificação das superfícies de ocupação está intimamente relacionada às propriedades térmicas dos materiais, o que justifica a sua abordagem.

- Caracterização da *geometria urbana* avaliada através do Fator de Visão do Céu (FVC). A geometria urbana diz respeito ao arranjo construtivo das edificações e inclui as relações volumétricas entre os edifícios e as dimensões do sistema viário.
- Determinação da *densidade construída*. Como a densidade de edificações relaciona-se diretamente à presença da massa construída, a abordagem desse parâmetro torna-se importante para a análise da inércia térmica.
- Caracterização da topografia nos pontos estudados - o que permite a identificação da influência do terreno natural nos caminhos de vento e nas condições climáticas de cada ponto.

Como as características levantadas se relacionam diretamente à ocupação urbana, o trabalho apresenta uma importante interface com o planejamento urbano, incluindo aqui a legislação urbanística.

Algumas dificuldades foram encontradas no desenvolvimento do trabalho, o que justifica a opção pelos caminhos seguidos. Dentre estas, a impossibilidade de trabalhar com mais amostras de ocupação urbana devido às limitações materiais e o tempo da pesquisa.

Devido à ausência de um levantamento aerofotogramétrico recente foi necessário adotar as imagens de satélite de alta resolução Ikonos (2005) associadas ao mapa imobiliário para a identificação dos parâmetros de ocupação.

A variável da direção e velocidade do vento foi tratada no contexto da cidade, buscando identificar os principais caminhos de ventilação, tendo em vista os aspectos da morfologia do sítio urbano.

Assim, o trabalho em questão se estrutura da seguinte forma:

No Capítulo 2 tem-se a **Revisão da Literatura** no qual abordou-se, primeiramente, a caracterização do clima urbano, dos métodos e escalas de análise; em seguida, apresentou-se os aspectos da bioclimatologia urbana diretamente relacionados ao clima, e, por fim, buscou-se avaliar as formas de aplicação do clima ao planejamento urbano.

O Capítulo 3 aborda a **Caracterização da área de estudo**. Primeiramente, são colocadas as características gerais do município. Em seguida, tem-se a análise dos condicionantes físico-ambientais e dos condicionantes urbanos.

O Capítulo 4 trata do **Método de Trabalho** e traz a descrição dos métodos utilizados para a determinação das variáveis urbanísticas e climáticas. Em seguida, são apresentados os métodos para a análise dos resultados e criação dos cenários de ocupação propostos.

O Capítulo 5 trata da **Análise e Discussão dos Resultados** no qual são analisados e discutidos os resultados das variáveis urbanísticas e das variáveis climáticas. Em seguida, o capítulo traz as correlações entre estas variáveis. Por fim, analisa-se os resultados da avaliação do conforto térmico e dos cenários de ocupação propostos.

Finalmente, o Capítulo 6, apresenta as **Conclusões** do trabalho, os desdobramentos da pesquisa e as recomendações para outros estudos.

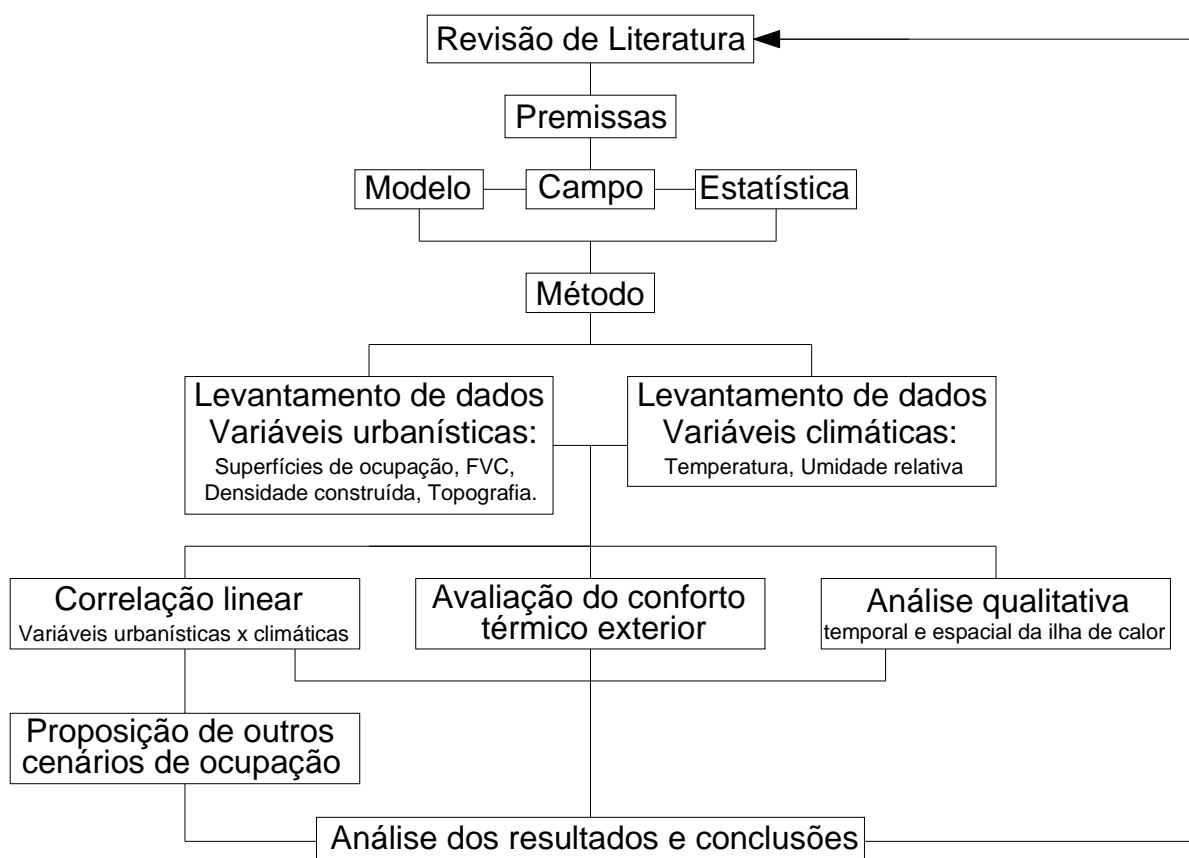


Figura 3 – Fluxograma metodológico.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

2

REVISÃO DE LITERATURA

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos do clima

O ambiente urbano engloba variáveis naturais, construídas, econômicas e sociais, podendo ser abordado sob pontos de vista diversos (ANDRADE, 2005:69). O clima é um dos componentes da variável natural que influencia as condições do meio urbano e é por este influenciado. Segundo a definição de Sorre, em 1937, o clima pode ser entendido como a sucessão habitual dos estados atmosféricos (tipos de tempo) sobre um determinado lugar.

O estudo do comportamento climático e sua aplicação ao ambiente construído desenvolvem-se na base teórica do enfoque bioclimático em arquitetura. Romero (2001:12) coloca que o estudo da bioclimatologia agrupa questões referentes à biologia, ecologia, climatologia, e também às interações com arquitetura e o desenho urbano. Considerando esses aspectos, a autora descreve que:

A biologia, ou a ecologia, contribui para o entendimento da fisiologia humana no que diz respeito à sua inter-relação com o ambiente térmico. Trata, pois, dos mecanismos homeostáticos da regulação térmica. Já a climatologia, ou meteorologia, contribui para a explicação das variáveis da atmosfera, ou do clima, que afetam a percepção térmica do homem. [...] A arquitetura, ou o desenho urbano, busca definir as condições ambientais, do meio natural e construído, que melhor satisfaçam às exigências de conforto térmico do homem.

O envolvimento dessas variáveis apresenta uma implicação direta na saúde humana, nas sensações de conforto térmico e na qualidade sanitária do ambiente. Dessa forma, o clima pode ser considerado como uma componente para a qualidade de vida.

Os elementos atmosféricos do clima que influenciam nas condições da bioclimatologia são: a radiação solar, a temperatura, a umidade do ar, as precipitações e os movimentos do ar.

A *radiação solar* é a energia irradiada pelo sol. Ao penetrar pela atmosfera a radiação sofre distintas transformações resultando em energia radiante de ondas curtas e longas, cujo balanço energético condiciona a temperatura local.

A *temperatura do ar* é o resultado da interação entre a radiação solar recebida e as diferentes características da superfície terrestre.

A umidade do ar é condicionada pelo movimento das massas de ar através da evapotranspiração, a partir do aquecimento das superfícies, e da evaporação da água dos oceanos, rios, lagos e mares devido à radiação solar. As massas de ar, geralmente se deslocam dos locais mais frios para os mais quentes, ou ainda de locais com maior pressão para os de pressão mais baixa.

A precipitação está condicionada à condensação de vapor d'água provocada pela instabilidade devido a potenciais aumentos de temperatura e umidade de uma camada de ar. Essa situação de estabilidade ou instabilidade rege o deslocamento vertical da camada de ar.

O movimento do ar é determinado por diferença de pressão atmosférica entre uma zona de pressão mais alta para outra mais baixa. O movimento vertical do ar é quantitativamente pequeno, e a componente horizontal do movimento do ar (vento) é mais sensível. Segundo Assis (1990), o vento é o principal agente responsável pela dispersão de poluentes na atmosfera concorrendo ainda para o transporte de quantidades meteorológicas, modificando, dessa forma, a distribuição de outros parâmetros, como a temperatura do ar e a precipitação.

A interação desses elementos atmosféricos do clima com outros fatores geográficos tais como a latitude, longitude, altitude, superfície terrestre e as massas d'água, configura os diversos tipos de climas regionais que podem ser agrupados em grandes grupos de acordo com suas características comuns. A figura 4 relaciona a classificação climática proposta por W. Köppen.

Assim, as condições de conforto térmico exigem requisitos diferenciados para adaptar-se aos diversos tipos climáticos, o que requer a aplicação dessas condições bioclimáticas ao projeto e planejamento urbano. Monteiro (1976:132-133) comentando sobre a internacionalização (padronização) da arquitetura coloca:

De duas uma: ou essas edificações dispõem de uma tecnologia de conforto tão especializada a ponto de anular completamente a realidade climática, ou há lugares onde o grau de desconforto é enorme [...] Se criarmos cidades padronizadas universalmente, teremos que ter os recursos e as técnicas para anular a natureza ou pagaremos alto preço pelo desconforto¹⁰ criado.

¹⁰ É importante fazer um parêntese para conceituar o conforto térmico. Segundo a ASHRAE (1993) o conforto térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico.

Dessa forma, as características climáticas de cada local devem ser estudadas de forma a obter informações para tornar operacional a construção de ambientes internos e externos (urbanos) mais adequados ao bem-estar e saúde humana.

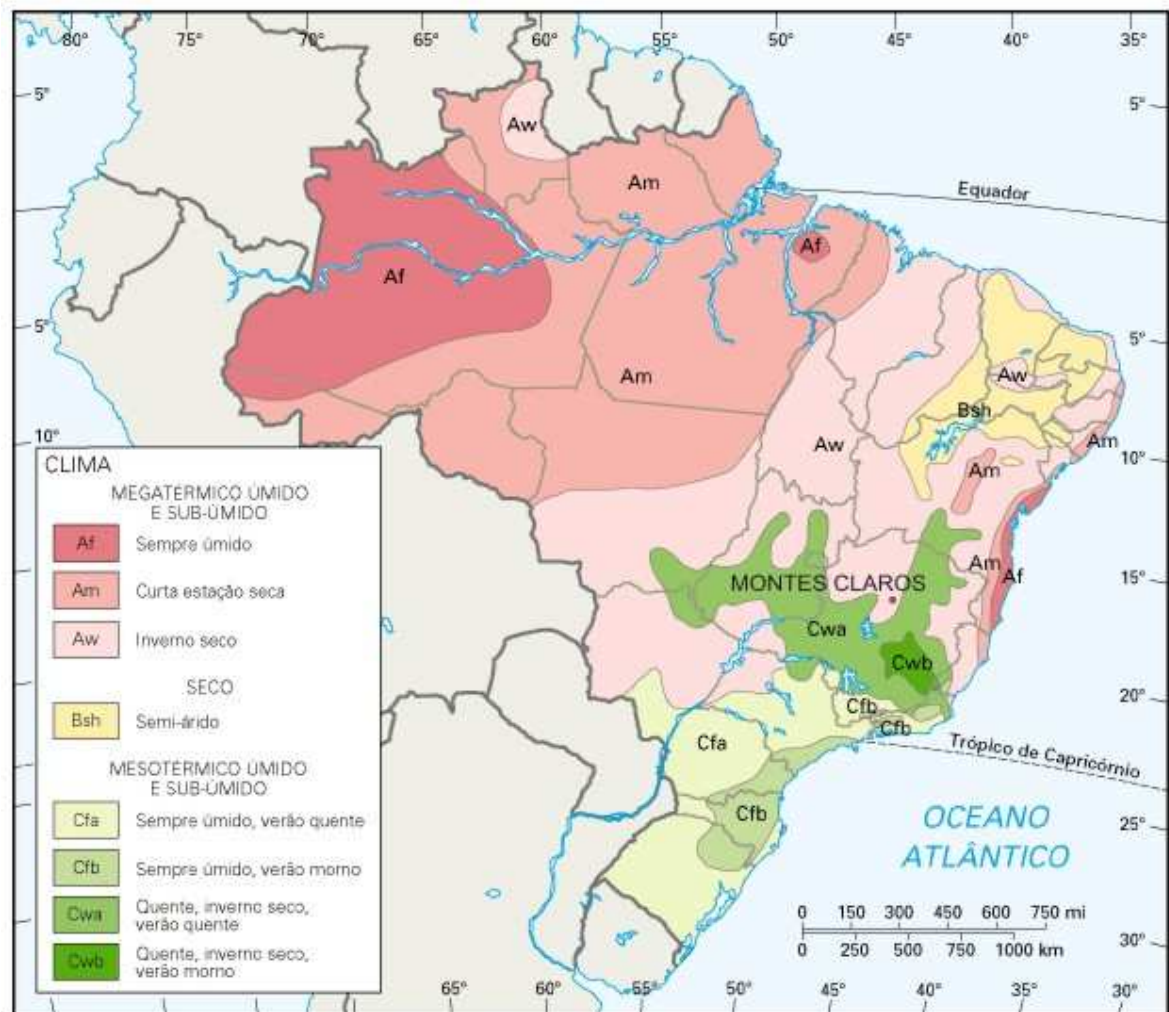


Figura 4 – Classificação Climática de Köppen para o território brasileiro.
 Fonte: Guia Internet Brazil, 1999.

2.2 O Clima urbano

A interação entre o clima regional, a morfologia urbana e as atividades urbanas criam condições capazes de modificar as características climáticas locais, fazendo gerar um clima próprio convencionalmente chamado de clima urbano. Assim, segundo Monteiro (2003), o clima urbano pode ser entendido, como um sistema que abrange um fato natural (clima local) e um fato social (a cidade).

A noção de que o homem, através da construção do espaço físico da cidade, produz meios para alterar as características locais do clima, motivou o desenvolvimento de um novo ramo na climatologia denominado de climatologia urbana.

As primeiras observações realizadas por Luke Howard, em 1883, revelam que as temperaturas nas cidades são frequentemente mais elevadas do que nas áreas rurais circunvizinhas. Desde então, foram realizados vários estudos de climatologia urbana buscando evidenciar as características do fenômeno, suas origens e conseqüências. O desenvolvimento de tais trabalhos revelou a necessidade de criação de modelos, a definição de escalas de abordagem e a consolidação de diferentes métodos de estudo.

A climatologia urbana é uma área interdisciplinar, onde se cruzam contribuições de especialistas de diferentes domínios como a Geografia, a Arquitetura, o Urbanismo, a Engenharia e Meteorologia com abordagens de trabalho distintas. Nesse sentido, Duarte (2000: 35) expõe:

Do ponto de vista do climatologista, o principal interesse é estudar o impacto da área urbana na atmosfera. Para o planejamento urbano e o projeto de edifícios o interesse maior está na direção oposta, ou seja, estudar os impactos da atmosfera urbana nos aspectos funcionais, econômicos e de segurança do ambiente edificado na saúde e bem-estar de seus ocupantes.

No Brasil, um dos principais modelos teóricos desenvolvidos para a compreensão do clima urbano foi o de Monteiro (1976) denominado de Sistema Clima Urbano (SCU). O modelo foi elaborado a partir das bases da Teoria Geral dos Sistemas (TGS) de Ludwig Von Bertalanffy. A abordagem sistêmica foi considerada por Monteiro (1976) de fundamental importância para a renovação geográfica e para a superação da dicotomia entre o físico e o humano.

Assim, o SCU pode ser definido como um sistema complexo, aberto, evolutivo, dinâmico, adaptativo e passível de auto-regulação. Simplificando essas colocações e buscando uma analogia com a urbanização, Monteiro (2003) coloca que, por sua natureza complexa, o SCU torna-se capaz de receber energia do ambiente maior no qual se insere e transformá-la substancialmente a ponto de gerar uma produção entrópica exportada novamente ao ambiente. Porém, o sistema permite a interferência humana devido à sua capacidade de auto-regulação visando a adoção de medidas legais e tecnológicas, no sentido de elaborar a adaptação progressiva às metas de crescimento harmônico.

O autor propôs uma metodologia organizando cada conjunto-produto dos problemas atmosféricos em canais de percepção humana, o que possibilita a integração interdisciplinar com a área de planejamento urbano, uma vez que o ser humano é o referencial. Monteiro (1976) justifica que o homem deve ser sempre o referencial dos problemas e valores geográficos. Esses subsistemas podem ser assim divididos:

- O *termodinâmico*, que engloba as variáveis térmicas como temperatura, umidade e vento. Esse subsistema tem como canal de percepção humana o conforto térmico, englobando a formação de ilhas de calor, ilhas de frescor e inversão térmica.
- O *físico-químico*, que tem como canal de percepção humana a qualidade do ar, englobando questões como a poluição do ar.
- O *hidro-meteorológico*, que tem como canal de percepção os diversos tipos de impactos meteorológicos. No caso brasileiro, as conseqüências mais recorrentes relativas a esse subsistema são as enchentes urbanas.

Na figura 5, o autor faz um paralelo entre cada um dos três subsistemas, permitindo algumas comparações. Com isso, é possível relacionar que enquanto no canal físico-químico a ação é exclusivamente humana, no canal hidro-meteorológico é predominantemente da natureza, ao passo que, no termodinâmico, há uma co-participação ser humano-natureza.

Monteiro (2003) evidencia também que há uma ação intra-sistêmica entre estes três subsistemas no qual o conjunto-produto de cada um desses fenômenos se sobrepõem ou se complementam. O autor coloca ainda que a componente termodinâmica é o referencial fundamental do sistema para onde convergem e se associam todas as outras componentes, como pode ser visto na figura 6.

Subsistemas Canais Caracterização	I Termodinâmico Conforto Térmico	II Físico-Químico Qualidade do ar	III Hidrometeorológico Impacto meteorológico
Fonte	Atmosfera Radiação circulação horizontal	Atividade urbana Veículos auto-motores Indústrias obras-Limpas	Atmosfera estados especiais (desvios rítmicos)
Trânsito no Sistema	Intercâmbio de operador e operando	De operando ao operador	Do operador ao operando
Mecanismo de ação	Transformação no sistema	Difusão através do sistema	Concentração no sistema
Projeção	Interação Núcleo Ambiente	Do núcleo ao ambiente	Do ambiente ao núcleo
Desenvolvimento	Contínuo (permanente)	Cumulativo (renovável)	Episódio (eventual)
Observação	Meteorológica especial (T. de campo)	Sanitária e meteorológica especial	Meteorológica hidrológica (T. de campo)
Correlações disciplinares e tecnológicas	Bioclimatologia Arquitetura Urbanismo	Engenharia sanitária	Engenharia sanitária e infra-estrutura urbana
Produtos	"Ilha de Calor" Ventilação Aumento de precipitação	Poluição do ar	Ataques à integridade urbana
Efeitos diretos	Desconforto e redução do desempenho humano	Problemas sanitários Doenças respiratórias, oftalmológicas etc.	Problemas de circulação e comunicação urbana
Reciclagem adaptativa	Controle do uso do solo Tecnologia de conforto habitacional	Vigilância e controle dos agentes de poluição	Aperfeiçoamento da infra estrutura urbana e regularização fluvial. Uso do solo
Responsabilidade	Natureza e Homem	Homem	Natureza

Figura 5 – Articulação dos sistemas segundo os canais de percepção do SCU.
Fonte: MONTEIRO, 2003, p. 46.

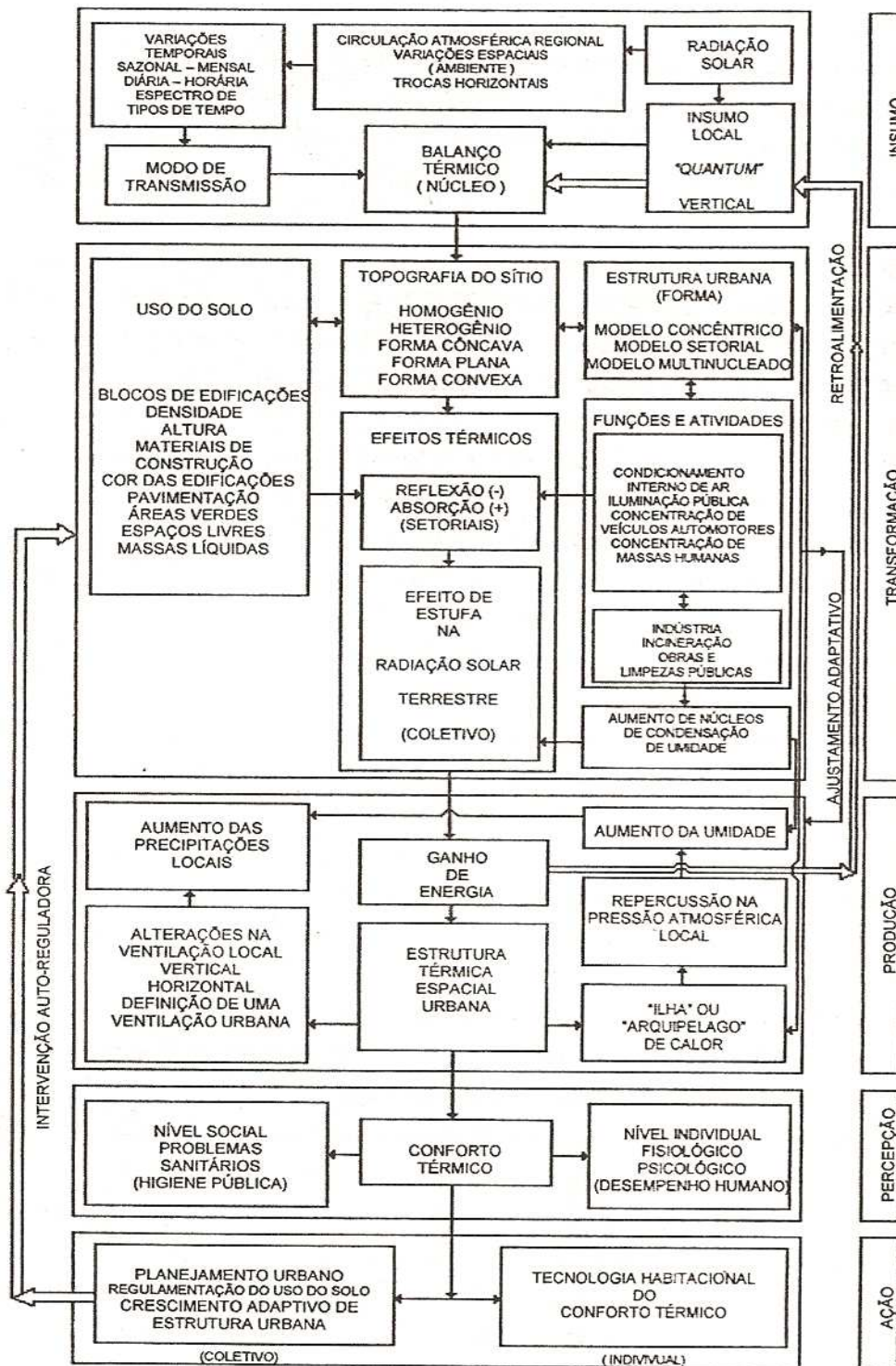


Figura 6 – Diagrama básico do SCU.
 Fonte: MONTEIRO, 2003, p. 47.

2.3 As características do clima urbano e o balanço de energia

Vários estudos teóricos foram desenvolvidos na tentativa de descrever as principais características do clima urbano. Alguns autores como Lowry (1967)¹¹, Myrup (1969)¹² apud Lombardo (1985), Landsberg (1981), e Oke (1976), (1981), (1982) dentre outros, mostraram algumas diferenças térmicas significativas entre o meio urbano e o meio rural, permitindo a compreensão das características da estrutura urbana responsáveis pelas transformações no comportamento climático da atmosfera das cidades.

Os espaços urbanos constituem-se nos locais onde a ação humana sobre a natureza se faz com intensidade máxima devido à concentração demográfica e às atividades do cotidiano urbano. Assim, os processos derivados da urbanização, tais como adensamento, padrões construtivos, impermeabilização do solo, atividades antropogênicas que liberam calor e poluição, favorecem a ocorrência de modificações nas condições dos ventos e nos fluxos térmicos e hidrológicos, resultando em alterações no balanço de energia entre a atmosfera e a superfície terrestre. Esse conjunto de mudanças constitui o clima urbano. Sintetizando essas informações, Chandler (1976)¹³ apud Assis (1990:17) observa que:

Com a substituição das superfícies e formas naturais pelas unidades 'artificiais' urbanas, o ser humano vem modificando as propriedades físicas e químicas e os processos aerodinâmicos, térmicos, hidrológicos e de intercâmbio de massa que ocorre na camada limite atmosférica¹⁴. Em consequência, as propriedades meteorológicas do ar dentro e imediatamente acima das áreas urbanas ficam profundamente modificadas criando um distinto tipo climático, que se convencionou chamar clima urbano.

Em linhas gerais, os estudos descritivos, tanto em regiões temperadas quanto tropicais, mostram que as alterações do clima estão associadas à urbanização. Porém, essas condições variam de cidade para cidade em função do tamanho da

¹¹ LOWRY, W.P. The climate of the cities. *Sci. American*, n.217, p.15-23, 1967.

¹² MYRUP, L. Numerical Model of the urban heat island. *J. Appl. Meteor.*, n.8, p.908-918, 1969.

¹³ CHANDLER, T. J. *Urban climatology and its relevance to urban design*. Geneva: WMO Technical Note, 149, 1976.

¹⁴ A Camada Limite Atmosférica corresponde à faixa existente entre a superfície até uma determinada altura, caracterizada pela ação do atrito entre as camadas de ar e a superfície terrestre.

área urbana, das condições do entorno (natural, rural ou industrial) e das características geológicas do meio físico, tais como a topografia, os recursos hídricos e a cobertura vegetal.

A energia radiante ao penetrar na atmosfera sofre distintas transformações em virtude das condições de urbanização. Segundo Roriz e Dornelles (2005), em países tropicais, a radiação solar é responsável por importante parcela da carga térmica dos edifícios.

Assim, parte da energia radiante é refletida novamente para a atmosfera pelas inúmeras superfícies urbanas. O albedo (ou refletividade) refere-se à porção da energia radiante total que é refletida e está relacionada com as cores e texturas dos materiais de revestimento. Geralmente, as cores claras apresentam alto albedo enquanto as escuras, baixo¹⁵. O restante da radiação é absorvido e conduzido para as superfícies, porém, parte desse calor fica armazenado pelas estruturas urbanas.

Além disso, nas cidades, a presença de poluentes no ar, emitido pelas indústrias, trânsito e habitações, altera a incidência da energia radiante, bem como propicia o surgimento de nuvens de condensação. Segundo Lombardo (1985), o aumento dos núcleos de condensação nas áreas urbanas devido à concentração de poluentes pode provocar um aumento de precipitação de 5 a 10%.

O balanço de energia compreende as relações de transferência de calor que ocorrem entre a atmosfera e a superfície, seja esta natural ou construída, resultando na alteração nas propriedades radiativas, térmicas, aerodinâmicas e de umidade (LANDSBERG, 1981). Contudo, nas cidades, essas variáveis se processam de forma substancialmente distinta em relação às áreas rurais (naturais).

Nas áreas urbanas, há uma predominância dos fluxos térmicos sensíveis, denominados trocas secas, devido às características da morfologia, das propriedades térmicas dos materiais de construção e da produção de calor antropogênico. Além disso, o calor armazenado (ΔQ_s) durante o dia pela estrutura urbana é liberado na atmosfera durante a noite, contribuindo para o aumento da temperatura. Esse fator é relevante no balanço térmico.

¹⁵ Roriz e Dornelles (2005) comentam que na literatura especializada freqüentemente cores são diretamente associadas à absorvância. No entanto, os autores esclarecem que as cores são apenas sensações visuais e podem enganar, pois 55% da radiação solar ocorre fora do espectro visível. Assim, uma cor considerada clara pode absorver mais calor do que outra, de aparência mais escura, o que relativiza essa associação direta.

Nas cidades, o efeito de resfriamento do ar através da evaporação, denominado trocas úmidas, é reduzido em virtude do excesso de pavimentação (impermeabilização do solo), que favorece o aumento do escoamento superficial das águas pluviais e da escassez de áreas verdes, o que resulta na diminuição da evapotranspiração. As trocas convectivas também são alteradas devido à diminuição dos ventos por causa da rugosidade superficial.

Já nas áreas rurais (naturais), onde há a predominância de cobertura vegetal, devido à vegetação natural e pastagens, as perdas de calor ocorrem primordialmente por meio do resfriamento evaporativo (as trocas úmidas), resultado do fluxo de calor latente.

Buscando a compreensão dos fluxos de energia, a equipe liderada pelo professor Tim R. Oke da Universidade de Vancouver, no Canadá, pesquisou durante o período de 1980 a 1981, e propôs a modelagem física e numérica para estudar as variáveis que envolvem o balanço de energia. Esse trabalho ofereceu uma importante contribuição teórica ao tema ao propor que o fenômeno climático urbano seria melhor compreendido pelo contexto da transformação de energia. Partindo do conceito de ilha de calor, a equipe fez a modelagem tridimensional do clima para simular os fluxos que ocorrem na camada limite atmosférica, como mostra a figura 7.

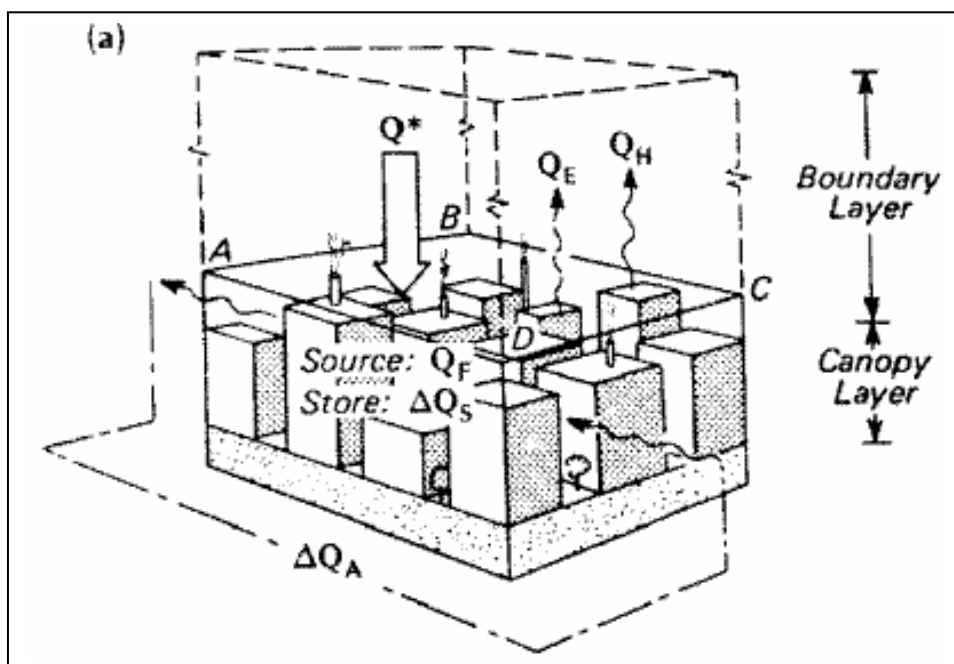


Figura 7 – Esquema do balanço de energia no ambiente urbano.
Fonte: OKE,1996.

A equação 1 relaciona os termos que envolvem o balanço de energia modelado por Oke, a partir da relação geral: Ganhos de energia = Perdas de energia + Energia estocada.

$$Q^* + Q_F = \Delta Q_S + \Delta Q_A + Q_H + Q_E \quad (\text{em W/m}^2) \quad [\text{Eq.1}]$$

Onde:

Q^* = Fluxo de radiação líquida, somando-se a radiação solar com a radiação de onda longa emitida pelas superfícies urbanas.

Q_F = Calor antropogênico (homem e suas atividades).

ΔQ_S = Densidade de fluxo de armazenamento de energia na camada intra-urbana e o solo.

ΔQ_A = Energia líquida por advecção na forma de calor sensível ou latente.

Q_H = Fluxo de calor sensível perdido por convecção entre superfícies opacas e o ar.

Q_E = Fluxo de calor latente perdido por evapotranspiração.

Esse modelo proposto por Oke é relevante para a compreensão da natureza teórica (descritiva) do clima urbano, no entanto, a sua aplicação prática torna-se limitada. Nesse sentido, Assis (1997) conclui que o modelo de Oke enfatiza a importância do entendimento do clima sob o ponto de vista da transformação de energia, porém, acrescenta que a grande dificuldade do modelo é justamente integrar-se ao planejamento, já que esse não parte do ser humano como referencial.

2.4 A ilha de calor

A ilha de calor é uma das mais recorrentes e significativas alterações do clima urbano. Como se constatou, o balanço de energia nas áreas urbanas é bastante modificado em relação às áreas rurais circunvizinhas, resultando em condições propícias para o estabelecimento de diferenças de temperatura. Dessa constatação é que decorre o conceito de ilha de calor.

A ilha de calor foi objeto de vários estudos, a partir dos quais foi possível identificar suas causas e a descrição de um modelo típico de seu desenvolvimento espacial (horizontal e vertical) e temporal.

Segundo Landsberg (1981) a variação temporal da ilha de calor está condicionada ao ritmo semanal já que o fenômeno costuma ser mais intenso durante a semana do que nos fins de semana, devido às atividades antropogênicas; aos fatores sinópticos, que determinam os tipos de tempo; e às diferentes épocas do ano (variação sazonal).

O tipo de tempo condiciona a variação espacial dos elementos climáticos no espaço urbano, sobretudo através do vento, da nebulosidade e da estabilidade vertical da atmosfera (ANDRADE, 2005). Assim, de acordo com Landsberg (1981), sob condições sinópticas fortes, tais como ventos intensos, as diferenças de temperatura urbano-rurais tendem a ser eliminadas. Do contrário, em condições de céu claro e vento calmo, as diferenças se estabelecem. Esse fato coloca em evidência que a formação da ilha de calor não está condicionada apenas à urbanização, já que a mesma estrutura urbana pode responder diferentemente frente a diversas condições atmosféricas.

Desse modo, o conhecimento das características dos diferentes tipos de tempos atmosféricos, da variação sazonal ao longo do ano – especialmente entre o verão e o inverno - e a interação com a forma urbana são aspectos fundamentais a se considerar na análise da ilha de calor.

Oke (1982), estudando a variação horizontal da ilha de calor, concluiu que o fenômeno é localizado e segue regularmente o perímetro da área construída. A figura 8 relaciona o perfil horizontal de uma ilha de calor típica no qual se verifica que as temperaturas do ar se elevam da periferia em direção ao centro, com uma declividade mais abrupta na transição entre a área urbana e a área rural.

Assim, na área central, onde as ruas são geralmente mais estreitas e as edificações mais altas e próximas uma das outras, constituindo os chamados *canyons* urbanos, a ilha de calor atinge sua intensidade máxima (pico).

Porém, na medida em que se caminha em direção à periferia, as temperaturas do ar decaem, com oscilações entre temperaturas mais altas ou mais baixas devido a heterogeneidade das paisagens intra-urbanas. Um parque ou um lago, por exemplo, apresentam temperaturas relativamente inferiores em relação às áreas industriais, comerciais e residenciais ou mesmo centrais (OKE, 1982).

Na fronteira entre a área urbana e a área rural, a ilha de calor apresenta a declividade mais acentuada. Nesse local tem-se a formação das chamadas ilhas de frescor, devido à influência da vegetação e da menor densidade populacional e de edificações, resultando naquilo que Oke denominou “ladeira” (*cliff*) no perfil da ilha de calor.

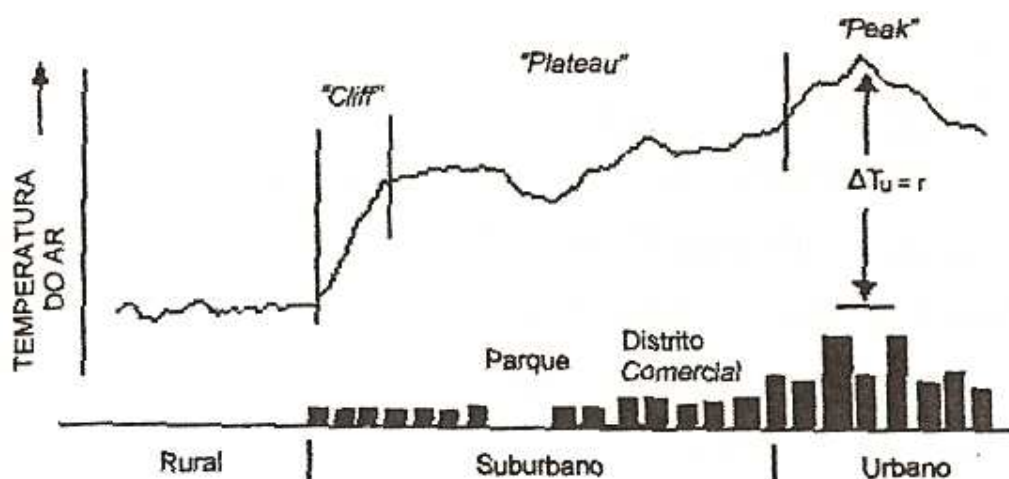


Figura 8 - Seção transversal genérica de uma típica ilha de calor urbano.
Fonte: MENDONÇA, 2003, p.97.

Segundo Hough (1998), o ciclo diário de uma ilha de calor se desenvolve, em dias típicos, da seguinte forma: durante o dia, as estruturas urbanas absorvem a maior parte do calor irradiado pela atmosfera, enquanto os solos rurais refletem a maior parte da energia incidente. Após o meio-dia, as temperaturas nas áreas rurais começam a se elevar enquanto nas cidades passam a atingir o pico. Durante a noite, os solos das áreas rurais se esfriam mais rapidamente e formam o orvalho, enquanto nas cidades, o calor absorvido durante o dia é liberado para a atmosfera. Com o nascer do sol, o orvalho do campo é evaporado enquanto, nas áreas urbanas, a energia solar é armazenada, iniciando novamente o ciclo.

Oke (1976) propõe a divisão vertical de camada limite atmosférica definindo dois níveis. O primeiro, a atmosfera urbana inferior (UCL – Urban Canopy Layer), que se estende do solo até o nível médio das coberturas, é determinado pelas condições microclimáticas. O segundo, a atmosfera urbana superior (UBL - Urban Boundary Layer), é determinado pelas condições mesoclimáticas e é influenciado pela presença da malha urbana.

A UBL apresenta uma extensão vertical maior durante o dia, devido à circulação de ar quente que é produzido no centro da cidade, que, ao se elevar, forma a chamada “pluma de calor” que pode ser deslocada para sotavento (transição urbano-rural) da área urbana, pela ação dos ventos dominantes. Esse fenômeno ilustrado na figura 9 foi estudado por Oke (1982). À noite, a camada limite atmosférica é menor, porém, a “pluma de calor”, mantém-se na transição urbano-rural, o que pode levar à inversão térmica, ou seja, temperaturas nas áreas rurais superiores às das áreas urbanas.

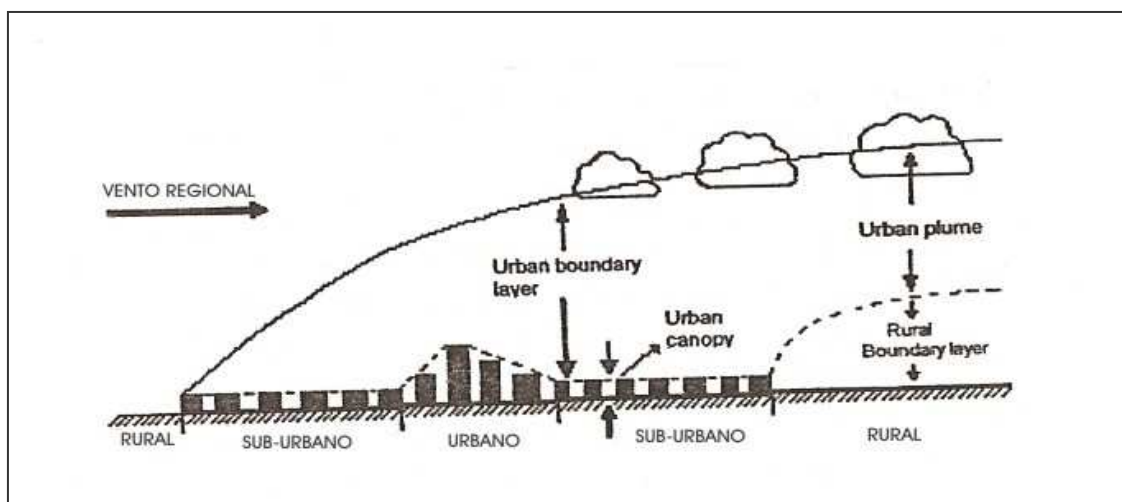


Figura 9 – Representação esquemática da atmosfera urbana (adaptado pela autora).
 Fonte: MENDONÇA, 2003 a, p.97.

Mendonça (2003 a) comenta que as variações horizontais e verticais da ilha de calor, representadas respectivamente pelas figuras 8 e 9, são facilmente observáveis em cidades maiores, porém podem não se manifestar da mesma maneira em cidades de menor porte.

Oke (1982) procurou relacionar a intensidade da ilha de calor com o tamanho da população em uma série de cidades européias e norte-americanas, e constatou que essa proporção não é linear. O autor sugeriu a seguinte equação:

$$\Delta T_{U-R} = P^{1/4} / (4.U)^{1/2} \quad [\text{Eq.2}]$$

Onde:

ΔT_{U-R} = Intensidade da ilha de calor, expresso pela diferença de temperatura entre o campo e a cidade. (°C).

P = População

U = Velocidade do vento regional (m/s)

Os efeitos de ilha de calor estão diretamente relacionados aos aspectos da ocupação urbana, o que propicia o surgimento de uma circulação local de ar nas cidades. Segundo Lombardo (1985:24-25), suas principais causas são a redução da evaporação, o aumento da rugosidade, as propriedades térmicas dos edifícios (condutibilidade) e dos materiais pavimentados (albedo) e a poluição. Assim, a autora faz referências à Lowry (1967) e Peterson (1969) para descrever a forma como esses fatores interagem:

Como o ar tende a circular em direção à parte mais quente, as partículas de poluentes tendem a convergir para o centro das cidades. [...] A camada de poluentes que a princípio pode apresentar certa tendência a refletir a luz solar (reduzindo a radiação direta que atinge a superfície) dificulta, por outro lado, o escoamento e a dispersão do calor. Parte da radiação absorvida pelos aerossóis será emitida para baixo, aquecendo, assim, as camadas inferiores. Uma parcela do calor será absorvida e reemitida pela superfície. Assim, a concentração do ar poluído não só contribui na formação da ilha térmica como também “altera a estrutura vertical das temperaturas de forma a retardar a sua dispersão”. [...] No entanto, ocorre um aumento da radiação emitida pela cidade, no espectro de ondas longas, causada por temperaturas de superfície mais elevadas, como concreto, tijolos, asfalto e outros materiais de construção. Em condições principalmente de calmaria, em que há poucas trocas turbulentas, grande parte da energia irradiada volta à construção urbana através da reemissão radiativa de onda longa pela atmosfera.

A figura 10, a seguir, ilustra essas colocações.

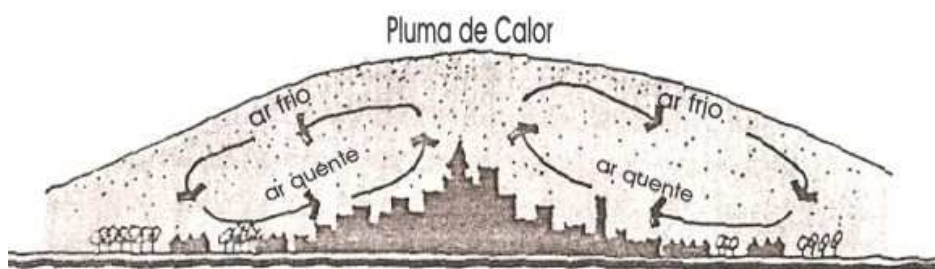


Figura 10 – Formação da “pluma de calor” com a circulação de poluentes. Modificado pela autora.

Fonte: HOUGH, 1998, p.246.

A compreensão do desenvolvimento da ilha de calor urbana tem aplicações diferentes, já que o fenômeno noturno está diretamente relacionado à capacidade de aquecimento das estruturas urbanas e, portanto, deve ser analisado sob o contexto dos efeitos trazidos à atmosfera, pelo menos na UCL, enquanto o

fenômeno diurno deve ser considerado sob o ponto de vista do desconforto térmico.

Assim, em termos do desconforto térmico gerado à população, é importante considerar os episódios de calor mais prolongados, comuns em épocas de verão, que podem provocar situações inconvenientes para o desempenho de funções urbanas, ou mesmo problemas de saúde cardiovasculares, especialmente em pessoas idosas. Segundo Saydelles (2005), em alguns casos, a sensação de desconforto térmico pode ser mais qualitativa que quantitativa.

O quadro 1 classifica o grau de intensidade da ilha de calor.

QUADRO 1
Intensidade da ilha de calor

INTENSIDADES DA ILHA DE CALOR	
Fraca intensidade	0 a 2°C
Intensidade moderada	2 a 4°C
Forte intensidade	4 a 6°C
Intensidade muito forte	Superior a 6°C

Fonte: BRANDÃO, 2003, p.131.

Por fim, ressalta-se que essas colocações evidenciam a capacidade térmica das estruturas urbanas enfatizando a importância das decisões dos arquitetos e planejadores urbanos.

2.5 Métodos e escalas de abordagem em clima urbano

A mudança de abordagem, passando da compreensão da natureza do fenômeno climático para a sua integração com o urbanismo, requer o desenvolvimento de métodos e escalas adequadas de trabalho. Porém, a associação entre essas duas variáveis nem sempre é uma tarefa fácil dada à complexidade dos fenômenos envolvidos.

A elaboração do método de trabalho constitui uma etapa fundamental para que se possa fazer uma boa análise das peculiaridades climáticas locais, atribuindo o devido peso a cada uma das variáveis mais relevantes. Assim, evita-se que as

informações obtidas sejam insuficientes ou incompatíveis com o fenômeno climático local e por consequência com a sua integração prática.

Oke (1984) coloca que, apesar da grande interdisciplinaridade entre os temas, a falta de diálogo entre os atores envolvidos dificulta que o conhecimento que se tem adquirido sobre o clima seja transferido para o planejamento em termos de ferramentas práticas.

Na perspectiva de compreender a natureza teórica do fenômeno climático e sintetizar as características da forma urbana mais diretamente envolvidas no fluxo de energia, foram desenvolvidos alguns métodos de pesquisa que podem ser classificados, segundo as suas abordagens, em: métodos empíricos, escalares e numéricos.

Os *métodos empíricos* são fundamentados em condições reais através de medições climáticas em campo associado-as ao tratamento estatístico dos dados. Os resultados obtidos são específicos para a área analisada e não permitem generalizações.

Os *métodos escalares* são desenvolvidos a partir de maquetes físicas em escalas que reproduzem as condições reais de um dado local. Esses modelos apresentam uma grande aplicabilidade ao planejamento urbano já que possuem um poder exploratório, permitindo antever, através da criação de cenários urbanos, desejáveis ou não, os efeitos climáticos trazidos pelas possibilidades de ocupação.

Duarte (2000) e (2005) relaciona, a partir de algumas pesquisas já realizadas, as diversas formas de aplicação dos métodos escalares, enumerando que este pode ser utilizado para a análise: dos padrões de sombra, da geometria urbana sob a abordagem do aquecimento noturno, dos efeitos da rugosidade superficial, da influência da geometria urbana sobre o albedo e para o estudo da ventilação, através de simulações em túneis de vento.

Os *modelos numéricos* são bastante úteis, pois auxiliam o entendimento dos processos atmosféricos e a previsão de fenômenos, podendo ser uma alternativa aos trabalhos de campo para a complementação e obtenção de dados.

Duarte (2005) descreve que os modelos numéricos podem ser empregados para a estimativa do Fator de Visão de Céu (Sky View Factor – SVF) bem como em modelos de balanço de energia.

Contudo, autores como Oke (1984), Assis (2005) e Duarte (2000), colocam que os trabalhos de clima urbano devem caminhar para a criação de um método

genérico a partir da integração entre estes métodos específicos, visando à possibilidade de se tornar operacional ao planejamento urbano inclusive sob o ponto de vista preditivo. Duarte (2000) sintetiza que o grande desafio é transformar os dados climáticos em critérios de ocupação e índices urbanísticos. Para isso, os métodos devem ser compatíveis com a criação de cenários urbanos para que se possa antever e simular diversas possibilidades de ocupação, arranjos de edifícios, disposição e dimensionamento de áreas verdes e massas d'água.

Nesse contexto, os métodos empíricos são fundamentais para o diagnóstico da realidade urbana através da análise correlativa entre as variáveis climáticas medidas *in loco* e os padrões de ocupação, visando a subsequente hierarquização dos parâmetros adequados e inadequados. Porém, as conclusões encontradas em tais estudos limitam-se aos locais onde foram realizados.

Já as abordagens baseadas na modelagem física ou numérica mostram-se mais adequadas para o desenvolvimento de estudos exploratórios devido ao potencial para antecipar impactos da ocupação. No entanto, é preciso salientar que o desenvolvimento de tais modelos é ainda relativamente limitado, já que é necessário recorrer a modelos muito complexos para simular cenários urbanos muito simplificados, insuficientes para a compreensão de realidades urbanas complexas.

Contudo, acredita-se que estas abordagens são complementares já que os estudos descritivos (empíricos) são eficientes para fornecer informações sobre as realidades urbanas como base para a modelagem física e numérica. Assim, cada abordagem, ou objetivo de estudo, deve estar associada a um dos métodos específicos.

Outra questão importante colocada às pesquisas de clima urbano é a escolha da escala de abordagem. Isso porque, conforme se ressaltou, o clima local é definido, em grande parte, pelas características inerentes ao espaço construído.

A organização do clima em escalas climáticas permite um maior entendimento dos fenômenos e a seleção de métodos e técnicas apropriados para trabalhar cada grau de urbanização, pois a cada nível escalar deve-se corresponder uma abordagem específica, com técnicas analíticas, desde a obtenção dos dados, passando pelo seu tratamento estatístico, até sua apresentação gráfica e cartográfica.

Assim, a interação entre o planejamento urbano e o clima percorre vários níveis desde o espaço regional até a escala do edifício, o que corresponde a diferentes escalas climáticas de acordo com as ordens de grandeza da urbanização. Lombardo (1985) coloca que o clima urbano é um mesoclima que está incluído no macroclima e que sofre, na proximidade do solo, influências microclimáticas derivadas dos espaços intra-urbanos.

Nos trabalhos de Oke e sua equipe, a escala climática é estruturada a partir de uma abordagem meteorológica do clima, que engloba, com já colocado, a escala espacial (horizontal e vertical) e temporal. Oke (2004) propõe a seguinte divisão para as escalas espaciais do clima:

A *microescala*, que está relacionada aos microclimas resultantes de cada superfície, tais como: edifícios individuais, árvores, ruas, etc. Esse nível escalar corresponde a uma distância horizontal de até 200 a 300 metros.

A *escala local* que considera como unidade climática a paisagem e despreza a influência do microclima o que equivale, por exemplo, ao nível urbano dos bairros. Essa escala corresponde a uma distância horizontal de 100 m a 10 Km.

A *mesoescala* que diz respeito a influência da circulação atmosférica sobre toda a cidade e corresponde a uma distância horizontal maior que 10 Km.

A escala climática proposta pelo Prof. Carlos Augusto Monteiro (1976) baseia-se na classificação francesa (Cailleux & Tricart), essa abordagem escalar é a predominante entre os geógrafos brasileiros. Monteiro (1976) propõe uma divisão escalar do clima relacionando as unidades climáticas (apenas a escala horizontal) com a ordem de grandeza taxonômica das formas e com as unidades (ou graus) de urbanização.

O autor considera o clima local como unidade básica do clima urbano e propõe que este seja derivado em mesoclima, topo-clima e microclima. Assim, como pode ser observado no quadro 2, o clima local corresponde a um clima metropolitano e o mesoclima é considerado um clima de cidade grande ou parte da área metropolitana. A terminologia topo-clima relaciona-se aos espaços urbanos homogêneos quanto à ocupação ou condições topográficas, podendo ser relativos a uma pequena cidade, ou então, a algumas partes de bairros de cidades maiores. Outra particularidade da taxonomia proposta por Monteiro é a inclusão da categoria sub-regional, (subdivisão da escala macroclimática), relacionando-se ao clima de

megalópoles ou extensas áreas metropolitanas. Em geral, os estudos do fenômeno da ilha de calor desenvolvem-se nos níveis topoclimático e mesoclimático.

QUADRO 2

Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano. Adaptado pela autora.

Ordens de grandeza (Cailleux & Tricart)	Unidades de superfície	Escala cartográfica de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
					Meios de observação	Fatores de organização	Técnicas de análise
II	(milhões de km)	1:45.000.000 1:10.000.000	Zonal	-	Satélites Nefanálises	Latitude Centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
III	(milhões de km)	1:5.000.000 1:2.000.000	Regional	-	Cartas sinóticas Sondagens Aerológicas	Sistemas meteorológicos (Circulação secundária)	Redes transectos
IV	(centenas de km)	1:1.000.000 1:500.000	Sub-regional (fáceis)	Megalópole Grande área metropolitana	Rede meteorológica de superfície	Fatores geográficos	Mapeamento sistemático
V	(dezenas de km)	1:250.000 1:100.000	Local	Área metropolitana metrópole	Posto meteorológico Rede complementar	Integração geológica Ação antrópica	Análise espacial
VI	(centenas de m)	1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade grande bairro ou subúrbio de metrópole	Registros móveis (Episódios)	Urbanismo	Espaciais
-	(dezenas de m)	1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade Fáceis de bairro/ subúrbio de cidade	(Detalhe)	Arquitetura	
-	(metros)	1:2.000	Microclima	Grande edificação Habitação Setor de habitação	Baterias de instrumentos espaciais	Habitação	

Fonte: MONTEIRO, 2003, p.29.

Por fim, as escalas climáticas são tratadas por alguns arquitetos, tais como Mascaró (1996) e Romero (2000) a partir de uma abordagem em três níveis genéricos:

O *macroclimático* que correspondente ao clima regional e é influenciado pelos parâmetros climáticos globais, que definem as condições climáticas de extensas áreas regionais. Estes dados são obtidos nas estações meteorológicas.

O *mesoclimático* que correspondente ao clima local e é influenciado pelos aspectos locais, tais como as unidades geomorfológicas (várzea, espigão central, colinas, vertentes serranas) e também a superfície urbana. É determinado, em síntese, pelas alterações do macroclima em consequência da morfologia urbana e

da topografia local. Segundo Mascaró (1996) esses dados nem sempre são de fácil obtenção.

O *Microclimático* que corresponde ao clima de pequenos espaços urbanos e é influenciado pela ação humana nas transformações do seu entorno, é um clima modificado em função das atividades e funções humanas desempenhadas no espaço urbano.

2.6 Revisão teórica das principais abordagens em clima urbano

Os primeiros estudos científicos sobre o clima urbano foram realizados no início da era industrial abordando as diferenças de temperatura entre a cidade e o campo. Em 1833, Luke Howard estudou o clima da cidade de Londres. Posteriormente, Emilien Renou elaborou, em 1855, um trabalho sobre a alteração climática em Paris em que verificou diferenças de velocidade do vento e temperaturas (1 a 2°C) entre o centro e os arredores (LANDSBERG, 1981).

Após a 2ª Guerra Mundial, com o crescimento urbano e a industrialização, intensificaram-se os estudos sobre o clima urbano na Europa, Estados Unidos e Japão. A maioria desses trabalhos procurou evidenciar os aspectos meteorológicos e as relações entre o tamanho das cidades e as temperaturas.

Contudo, em meados do século XX, ocorreu um aumento significativo das pesquisas em climatologia urbana, originados provavelmente da maior consciência do papel do ser humano na mudança ambiental, sobretudo devido à poluição do ar.

Lombardo (1985) e Monteiro (2003b) destacam que, nesse período, as obras de Landsberg, em 1956, dedicada à análise dos aspectos meteorológicos e sua interação com a urbanização, e a de Chandler, em 1965, sobre o clima da metrópole londrina, são consideradas clássicas.

Na década de 70, do século XX, o incremento no número de estudos levou a Organização Mundial de Meteorologia (WMO – World Meteorological Organization) a publicar uma revisão bibliográfica sobre o tema, abordando os trabalhos de

Chandler, compreendendo os estudos entre 1968 a 1973, e o de Oke, com as complementações entre 1973 a 1976 (LANDSBERG, 1981).

Segundo Oke (1982), até a década de 1970 os trabalhos sobre o clima urbano apresentavam um enfoque mais descritivo, abordando os fenômenos climáticos e suas inter-relações. A partir dessa data, os trabalhos de clima urbano consolidaram métodos e técnicas de pesquisa e monitoramento do clima urbano, fruto de um maior amadurecimento científico (OKE,1984). Os estudos passaram a focalizar a modelagem física e numérica para a compreensão do balanço de energia e dos processos atmosféricos sobre a cidade.

A partir dos anos 80, vários estudos de climatologia urbana se voltaram para a compreensão do fenômeno climático em áreas tropicais devido à complexidade da urbanização e à falta de qualidade ambiental. Monteiro (2003b) destaca que o grande obstáculo às pesquisas em áreas tropicais é justamente a escassez de recursos (aparelhagem e técnicas) já que grande parte dos países subdesenvolvidos está localizada nessas regiões.

Em 1993, a WMO criou o experimento em Clima Tropical Urbano (TRUCE – Tropical Urban Climate Experiment) no intuito de desenvolver a pesquisa de clima urbano em cidades tropicais. Essas pesquisas visaram fornecer uma base para o planejamento e previsão ambiental, incluindo estudos de observação e modelagem.

Assis (2005) avalia que atualmente as pesquisas em regiões temperadas estão mais direcionadas para métodos que envolvem simulações físicas ou numéricas para a aplicação ao projeto de novas áreas ou ao planejamento urbano. Enquanto nas áreas tropicais as abordagens estão mais direcionadas para estudos descritivos da ilha de calor nas cidades, com pouca atenção para o balanço energético, modelagem e desenvolvimento de aplicações para o planejamento urbano.

Dentre os trabalhos internacionais atuais, merecem destaque os estudos de Mayer (1990) e Katzschner (1997) frutos da experiência alemã de planejamento urbano a partir dos atributos do clima. Esses são relevantes para propostas em áreas já construídas.

A recente experiência com a medição do balanço de energia, através do trabalho de Oke et al (1999) para a Cidade do México, revelou que nas áreas densamente urbanizadas, as variáveis de trocas térmicas se relacionam de forma

muito mais complexa. Com isso, não foi possível estabelecer uma correlação linear entre os parâmetros de ocupação. As medições na Cidade do México demonstraram que as trocas de calor foram basicamente influenciadas pela temperatura (calor sensível), enquanto a evaporação e a condensação (trocas úmidas) foram praticamente nulas.

Akibari et al (2001), da Universidade de Berkeley, na Califórnia, em parceria com o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE – Department of Energy) e a Agência de Proteção Ambiental (EPA – Environmental Protection Agency), desenvolveram um estudo para restringir a demanda de energia através de medidas que visem a redução da ilha de calor em cinco regiões metropolitanas dos Estados Unidos: Sacramento, Salt Lake City, Chicago, Houston e Baton Rouge.

O foco do trabalho foi analisar o impacto das superfícies (coberturas e pavimentação) e da vegetação urbana (árvores, gramas e arbustos) nas temperaturas e na qualidade do ar. Para tanto, foi proposto um método semi-automático para a análise visual das porcentagens das diferentes superfícies de recobrimento através de fotos aéreas de alta resolução. Foram criadas algumas sub-categorias para as superfícies que estavam sob coberturas, como por exemplo: as calçadas sob copas de árvores ou pavimentos sob coberturas de estacionamento.

Os dados foram classificados conforme os usos: comercial, industrial, residencial, transporte/comunicação. A partir disso foi possível estender as análises para a região metropolitana associando-se às informações de pesquisa Geológica dos Estados Unidos.

No Brasil, os estudos de clima urbano iniciaram-se a partir de 1970, sobretudo através de pesquisas na área da Geografia (física) derivadas da disciplina de Climatologia urbana. Nesse período, os trabalhos mais relevantes foram os de Monteiro (1976) e Tarifa, em 1977, descrito em Tarifa e Azevedo (2001).

A contribuição de Monteiro (1976), através da classificação teórica e metodológica do SCU, foi utilizada como base para vários estudos posteriores.

Mais recentemente, Tarifa e Azevedo (2001) analisaram os tipos de climas da metrópole paulistana em sua extensão horizontal (inclusive regional) e ritmo (temporal e cronológico).

Nas décadas subseqüentes destacaram-se os trabalhos de Danni-Oliveira (1980), Sampaio (1981), Lombardo (1985), Mendonça (2003a), dentre outros.

O trabalho de Danni-Oliveira (1980) relaciona os resultados do estudo desenvolvido sobre as ilhas de calor em Porto Alegre, RS.

Sampaio (1981) apud Duarte (2000) foi pioneiro na correlação entre as características do uso e ocupação do solo e edificações (aspectos definidos por legislação urbanística) e os dados de temperatura, para o caso de Salvador, BA.

Lombardo (1985) fez um amplo trabalho utilizando imagens de satélites em bandas termais associado à pesquisa de campo (verdade terrestre) para analisar o fenômeno das ilhas de calor em São Paulo, SP, e sua relação com os diferentes usos do solo no município, encontrando uma diferença de temperatura de 10°C.

Mendonça (2003a) propôs uma metodologia para o estudo do clima urbano em cidades de porte médio e pequeno a partir da base conceitual e metodológica do SCU. O estudo, desenvolvido para Londrina, PR, foi parte de sua tese defendida em 1995.

Sezerino e Monteiro (1990), em estudo para Florianópolis, SC, propuseram uma representação gráfica das informações climáticas. Os autores lançaram mão do conceito de campo térmico urbano para referir-se às variações espaciais e temporais da ilha de calor representando os dados de temperatura em planta (espacial) e corte (temporal). Essa perspectiva foi adaptada da proposição de Sorre (1937), que introduziu a noção de tempo (duração) no conceito de clima, estabelecendo o ritmo como um de seus atributos essenciais.

Mais recentemente, novos enfoques foram dados ao estudo do clima urbano, sobretudo através da contribuição de arquitetos e engenheiros. Em tais trabalhos, há uma integração direta ou indireta ao planejamento urbano. Nesse contexto, destacam-se os trabalhos descritivos de Duarte (2000), Barbugli e Roriz (2004); os estudos de modelagem termodinâmica de Barbirato (1998) e Assis (2000) e os de modelagem aerodinâmica de Bittencourt et al (1997).

Duarte (2000) analisou a correlação, através de equações de regressão linear simples, entre as variáveis diretamente ligadas à legislação urbanística, tais como taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, presença de água e de vegetação, e os dados de temperatura do ar da cidade de Cuiabá, MT. Como resultado, a autora propôs um índice relacionando essas variáveis, de modo a promover melhores padrões de ocupação urbana.

Barbugli e Roriz (2004) usaram a regressão linear múltipla para analisar variáveis urbanísticas como índices de ocupação, densidade populacional, altitude e ângulo de inclinação solar com dados de temperatura do ar para Araraquara, cidade de porte médio no interior de São Paulo.

Barbirato (1998) propôs um modelo de balanço de energia unidimensional para analisar os efeitos térmicos de diferentes usos do solo urbano adaptado às condições climáticas típicas de Maceió, AL. O trabalho, considerado pioneiro, relacionou os dados obtidos na simulação do balanço de energia com os dados reais, obtidos em campo. A autora concluiu que o método utilizado é válido como ferramenta para o teste de soluções e previsões dentro do planejamento e controle térmico de ambientes urbanos.

Assis (2000) utilizou a modelagem física e numérica para analisar a influência da geometria urbana na mudança climática de Belo Horizonte, MG. A proposta metodológica permite a previsão do comportamento climático, com vistas a subsidiar legislação urbanística.

Bittencourt et al (1997) analisaram os padrões de ocupação e a ventilação natural para um trecho da orla urbana de Maceió, AL, utilizando-se o programa de *Computer Fluid Dynamics* (CFD). Os autores concluíram que a elevação no limite de pavimentos combinada à redução na taxa de ocupação do lote permitiria uma melhor distribuição do fluxo de ar nos ambientes internos e externos.

Duarte (2000) e (2002) relaciona as conclusões da mesa redonda organizada por Magda Lombardo sobre o tema clima urbano nos Encontros Nacionais de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) de (1997) e (1999). Assim, a autora avalia que a maioria dos trabalhos realizados no Brasil apresenta uma boa compreensão e caracterização do fenômeno climático. No entanto, ainda falta uma metodologia para a aplicação dos dados, além de consensos sobre como fazer as medidas microclimáticas, os instrumentos a serem utilizados, a representatividade e extensão espacial do ponto de observação. Por fim, a autora ressalta a importância de integrar os estudos do clima urbano de cidades brasileiras às diferentes escalas: a região, a cidade, o bairro, o cotidiano das pessoas.

2.7 Aspectos da bioclimatologia urbana

Esse item focaliza a análise dos aspectos da bioclimatologia urbana que engloba tanto os elementos da forma urbana como os fatores naturais. Dentre estes últimos, as massas de água, a vegetação, as massas de ar e o relevo. Estes elementos estão largamente relacionados ao clima urbano e, portanto, devem ser explorados como estratégia de desenho ou na perspectiva do planejamento urbano.

2.7.1 Algumas características relacionadas à forma urbana

As pesquisas de Oke (1981), através de modelos físicos teóricos e da modelagem numérica, demonstraram que a geometria urbana e as propriedades térmicas das superfícies construídas são, de forma equivalente, as principais variáveis envolvidas na alteração do balanço energético local e, por conseguinte, na formação da ilha de calor noturna¹⁶. Essas constatações foram confirmadas por outros trabalhos posteriores, entre eles os de Johnson (1985), Yamashita et al (1986) apud Assis (2005).

A geometria urbana refere-se às relações nos *canyons* urbanos entre a altura dos edifícios e a distância entre eles (H/W) e pode ser descrita pela variável Fator de Visão de Céu (FVC). Esse fator é um parâmetro adimensional que expressa a relação geométrica entre a superfície terrestre e o céu, quantificando a área de céu visível e a respectiva projeção da obstrução pelos elementos da superfície.

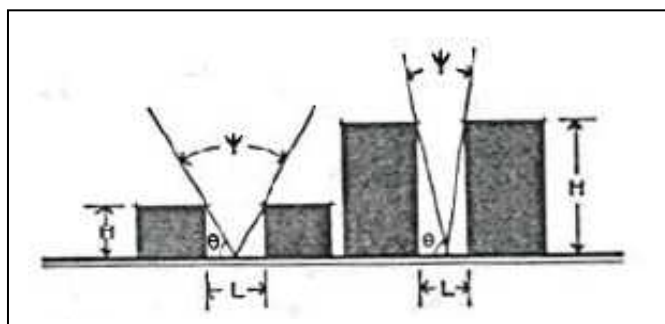


Figura 11 – Fator de Visão de Céu (ψ).

Fonte: Lowry (1988) apud Santos et al (2003 a), p.757.

¹⁶ Usando modelos de simulação, Oke demonstrou, fazendo o FVC variar enquanto mantinha a inércia térmica constante, que se poderia produzir fatos temporais de uma ilha de calor ideal durante a noite. Do mesmo modo, no caso de não haver diferenças de FVC entre áreas urbanas e rurais, um incremento da inércia térmica também poderia produzir aqueles fatos (ASSIS, 1990).

Oke (1981) conclui que quanto mais obstruído é um local no meio urbano, menor é a capacidade de troca térmica radiativa, o que dificulta a irradiação térmica do calor, contribuindo para o aquecimento noturno.

Esta constatação foi confirmada por Assis (2000) através da simulação em modelos reduzidos de áreas urbanas reais (representando a tipologia e configuração dos edifícios) para analisar a influência dessas na perda radiante de calor após o pôr do sol, em condições de tempo calmo e sem nuvens, típicos da ocorrência das ilhas de calor noturnas.

O FVC foi analisado por Santos et al (2003 b), através de fotografias tiradas com lente olho-de-peixe, a partir das quais foram calculados os respectivos fatores de céu visível. Os resultados encontrados confirmaram a tendência do maior aquecimento após o pôr-do-sol nos locais mais obstruídos.

No trabalho de Souza (2003), o FVC foi calculado automaticamente a partir de uma extensão do programa ArcViewGIS 3.2 - o 3DSkyView – que permite a modelagem tridimensional do espaço urbano e, associado a uma rotina de cálculo nele implantada, torna-se possível a simulação do fator de visão do céu para vários pontos simultaneamente.

Abordando ainda a relação entre a altura e a largura nos *canyons* urbanos é importante comentar que alguns autores têm usado como referência para a determinação desses dois parâmetros a idéia do “envelope solar”, que pode ser entendido como “o maior volume que uma edificação pode ocupar de forma a permitir o acesso ao sol, luz natural da vizinhança imediata” (KNOWLESS E BERRY 1980 apud PEREIRA 1999)¹⁷.

Em termos operacionais, o "envelope solar" parte de princípio de rejeitabilidade e aceitabilidade da radiação solar em determinadas áreas da edificação e seu entorno, tendo em vista a garantia de insolação e iluminação natural em níveis adequados para obter os seus benefícios ideais.

As propriedades térmicas das superfícies, outro fator determinante para a formação da ilha de calor, relacionam-se com a capacidade dos materiais em armazenar calor e pode ser descrito pela abordagem da inércia térmica. Como já

¹⁷ KNOWLES, R.L; BERRY, R.D. Solar envelope concepts: moderate density building applications. *Solar Energy Research Institute*, SERI/SP-98155-1. Golden, Colorado, USA: 1980.

foi colocado, a energia solar total (ganhos) é convertida em uma parcela que é dissipada (perdas) e outra que fica armazenada internamente¹⁸.

Os materiais utilizados na construção, em especial o concreto e o asfalto, absorvem parte do calor no seu interior, conseqüência de sua massa térmica. Esse calor retido é devolvido ao ambiente apenas no período noturno (atraso térmico). Assim, nas áreas adensadas, a configuração dos *canyons* urbanos, pouco adequada à dissipação de calor, permite que a energia calorífica armazenada pelas estruturas urbanas durante o dia seja dissipada à noite, favorecendo o aquecimento noturno.

Santos et al (2003 b), trabalharam com a abordagem da inércia térmica, através da correlação entre a as temperaturas do ar e a quantidade de massa construída. Os resultados revelaram boas aproximações, sendo relevantes para previsões de densidades urbanas.

A estimativa da densidade de construções está diretamente relacionada à abordagem da massa térmica e, conseqüentemente, com as propriedades térmicas dos materiais. Os estudos de vários pesquisadores, como Chandler (1965)¹⁹, Oke e Wannell (1970)²⁰ e Landsberg (1976)²¹ apud Assis (1990) demonstraram que o centro da ilha de calor numa cidade está frequentemente localizado sobre a área de maior densidade de construção.

Nesse sentido, Duarte (2000:23) comenta que:

Com o entendimento dos fenômenos de aquecimento urbano, já se sabe que é conveniente substituir o parâmetro população usado em alguns modelos da ilha de calor por *densidade construída* (grifo da autora), como propôs Givoni (1998), por esta apresentar uma relação causal mais forte com o aquecimento urbano citando, o que afeta diretamente o papel das leis de uso e ocupação do solo.

Por fim, salienta-se que esses aspectos da forma urbana, considerados causas primárias da ilha de calor noturna, apresentam uma relação bastante direta

¹⁸ Sabe-se, pela primeira lei da termodinâmica, que a energia não é criada nem destruída, mas convertida de uma forma para outra (OKE, 1978).

¹⁹ CHANDLER, T.J. The climate of London. Hutchinson & Co., 1965.

²⁰ OKE, T.R., WANNELL, F.G. The form of the urban heat island in Hamilton, Canada. *Urban Climates*, n.108. Brussels: World Meteorological Organization, 1970.

²¹ LANDSBERG, H.E. Special environmental report.n.7. *Weather, climate and human settlements*, n.448. Geneva: World Meteorological Organization, 1976.

com a legislação urbanística, portanto, torna-se necessária a consideração dessas questões nas decisões referentes ao projeto e planejamento urbano.

2.7.2 A vegetação

A presença de arborização na cidade é um excelente recurso de projeto, pois engloba, além dos valores paisagísticos e psicológicos, uma significativa importância para a melhoria das condições climáticas. A vegetação exerce diversas funções para o controle do clima, dentre estas, a de proporcionar sombra, resfriar o ar, aumentar a umidade, filtrar e absorver os poluentes do ar.

Assim como nas demais superfícies, as massas de vegetação absorvem, refletem e transmitem a energia solar. Rivero (1985) considera que a vegetação absorve cerca de 90% da radiação visível e 60% da infravermelha. A radiação visível absorvida pelos vegetais é utilizada na evapotranspiração através do vapor d'água liberado pela superfície da folha, o que contribui para as trocas de calor latente (trocas térmicas úmidas), trazendo a umidificação do ar.

Duarte (2000) destaca a importância do sombreamento como pré-requisito para os espaços externos já que a proteção contra a radiação solar tem um grande efeito na redução do estresse térmico²². Isso porque o sombreamento reduz a conversão da energia solar absorvida em calor sensível (perceptível), reduzindo-se, conseqüentemente, a temperatura superficial dos objetos sombreados.

Portanto, a vegetação, além de absorver a radiação solar excessiva (sombreamento), atua no resfriamento e umidificação do ar (evapotranspiração), contribuindo, em ambas as vias, para o estabelecimento de microclimas mais agradáveis. Os efeitos de amenização climática trazidos pela vegetação estendem-se também para as áreas do entorno, reduzindo-se assim a amplitude térmica.

Os efeitos de transformação de energia pela vegetação são representados pela figura esquemática 12.

²² O estresse (*stress*) térmico pode ser considerado como o estado psicofisiológico a que está submetida uma pessoa, quando exposta a situações ambientais extremas de frio ou calor (LAMBERTS e XAVIER, 2002).



Figura 12 – Efeito da vegetação nas transformações da radiação.
 Fonte: ROMERO, 2000, p.33.

Dependendo da disposição e agrupamento, as árvores podem canalizar ou reduzir a velocidade do vento, o que é interessante para cada condição ou situação de projeto. A vegetação auxilia também na absorção da poeira e dos poluentes presentes no ar, contribuindo para a sua filtragem e purificação.

Nos trabalhos de Akibari e Konopacki (2003) sobre as possibilidades para a mitigação das ilhas de calor, a presença de vegetação é destacada como uma das principais ferramentas, já que favorece a redução das temperaturas do ar, da demanda por condicionamento artificial, a atenuação da poluição e a melhoria da qualidade do ar.

Através de um estudo comparativo em Sacramento, CA, os autores concluíram que a vegetação pode contribuir para o resfriamento passivo de uma edificação reduzindo a demanda por condicionamento artificial em até 30%, o que equivale a uma redução de a 3,6 a 4,8 kWh/dia no consumo de energia. Os autores destacam ainda que em locais de clima quentes e secos o sombreamento trazido pela presença de vegetação pode ser mais favorável do que o efeito da refrigeração do ar.

Romero (2000) coloca que os espaços gramados absorvem uma maior quantidade de radiação solar, porém irradiam menos calor, já que a energia é utilizada no processo de evapotranspiração; já nas superfícies pavimentadas, toda a energia absorvida é transformada em calor.

Labaki et al (2001) fizeram um estudo comparativo sobre o desempenho térmico de diferentes superfícies - grama, concreto e asfalto na região de Campinas, SP encontrando diferenças de ganhos de calor de 280 e 208 W/m² entre o asfalto e a grama respectivamente, com pico às 13:00 hora como mostra a figura 13.

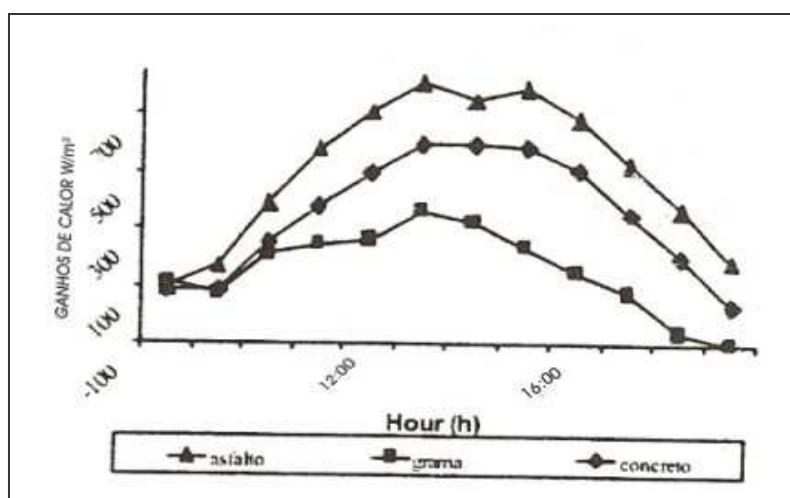


Figura 13 – Valores de ganhos de calor para cada uma das superfícies.
Fonte: LABAKI et al, 2001, p.596.

Para alguns autores, a influência dos parques urbanos para a melhoria do clima se estende somente a uma curta distância nos arredores densamente construídos. Os resultados de trabalhos como o de Bach (1970) apud Assis (1990)²³ e Honjo e Takakura (1990) demonstram que a distribuição de cobertura vegetal em pequenas parcelas de forma uniforme por toda a cidade é mais eficiente para a amenização climática do que a concentração desta em poucos lugares muito grandes.

Com isso, a vegetação deve ser encarada como uma ferramenta para o desenho ambiental da cidade com um todo numa perspectiva de infra-estrutura verde, relacionado-se à preservação das matas ciliares ao leito dos rios, ao aproveitamento dos fundos de vale para criação de parques, à disposição das

²³ BACH, W. Urban Climate: ar pollution and planning. In: DETWYLER, T.R. & MARRCUS, M.G. *Urbanization and Environment*. Belmont: Duxbury Press, 1970.

massas de vegetação para a umidificação de ventos secos, ao incentivo à criação de superfícies permeáveis e áreas verdes públicas ou particulares para a melhoria da drenagem pluvial e do conforto térmico.

Akibari e Konopacki (2003) avaliam que os programas destinados ao plantio de árvores são geralmente de baixo custo se comparados às economias associadas com os benefícios da vegetação.

Contudo, é importante salientar a necessidade de mudança de mentalidade, seja pela população ou pelos próprios arquitetos, quanto à criação e manutenção de áreas verdes. Isso porque, na maioria das cidades brasileiras, os espaços destinados à implantação de vegetação são insuficientes, como exemplo, as pontas de lotes privados ou as calçadas estreitas que geram problemas na pavimentação ou na fiação elétrica. Quanto à manutenção, uma importante alternativa seriam as parcerias com a iniciativa privada para o plantio e a conservação de áreas verdes públicas, além do incentivo às áreas verdes privadas.

2.7.3 As Massas de água

De um modo geral, as massas de água são capazes de esquentar-se e esfriar-se muito mais lentamente que o solo, atuando como moderadores da temperatura junto à superfície da terra. A evaporação das massas d'água leva à formação de nuvens de precipitação. Dessa forma, a água volta para os rios e oceanos, completando o ciclo hidrológico.

A presença de corpos d'água nas áreas urbanas é um importante recurso para a bioclimatologia já que são capazes de regular o intercâmbio entre calor e umidade, sendo relevante para a amenização da ilha de calor nas cidades.

A radiação solar, ao incidir sobre um volume de água, não se transforma em calor na superfície. Devido à transparência das águas, parte da energia solar é transmitida, sendo absorvida aos poucos. Através da evaporação, a água converte a energia radiante em calor latente, contribuindo para a redução da temperatura e aumento da umidade do ar, atuando como um condicionador de ar natural. Dessa

forma, as massas d'água favorecem a melhoria do microclima de áreas circunvizinhas.

Poucos trabalhos foram realizados no Brasil envolvendo mais diretamente a relação entre as massas d'água e o clima urbano. Barbirato et al (2001) analisaram a influência de massas d'água no comportamento climático de uma fração urbana na cidade de Maceió, AL através de medições móveis de temperatura do ar, ventilação e umidade em três pontos inseridos no traçado de uma seção transversal: uma lagoa, uma área central (a 1,5 km do primeiro ponto), e o último, a orla marítima. Os resultados revelaram que as menores temperaturas, amplitude térmica e maior velocidade do vento foram registradas nos pontos localizados perto do oceano e da lagoa respectivamente, com diferenças mais acentuadas próximo ao meio dia.

Assim como a vegetação, as massas de água devem ser trabalhadas como estratégia de desenho ambiental. Para tanto, é importante evitar a canalização ou a impermeabilização do leito dos rios nas áreas urbanas, comprometendo assim, o ciclo hidrológico. A localização das massas de água nos caminhos predominantes da ventilação pode contribuir para a penetração de ventos úmidos nos núcleos urbanos, podendo ser uma estratégia importante para a melhoria da umidade em regiões secas.

2.7.4 Movimento das massas de ar

O vento é uma das condições sinópticas mais importantes e sua ação pode resultar em condições climáticas positivas, através do suprimento de ar fresco e refrigerado; ou negativas, contribuindo para a difusão de poluentes e para a configuração da ilha de calor.

Os padrões de ocupação determinam em grande parte as condições de ventilação no recinto urbano. Assim, as massas de ar em movimento, ao atritarem-se com as superfícies urbanas rugosas, geram um fluxo de ar turbulento, favorecendo as trocas de calor por convecção.

As características da estrutura urbana, as condições do relevo e a presença de áreas livres influenciam diretamente na direção e velocidade dos ventos. A figura 14 relaciona os gradientes de ventilação nas áreas urbanas e rurais. Analisando a figura, é possível notar que as menores velocidades do vento são registradas nas áreas densamente construídas, sobretudo em virtude da disposição dos edifícios, que podem funcionar como obstáculo para as correntes de ar.

Pelas condições descritas, as correntes de vento tornam-se modificadas nas áreas urbanas, favorecendo o estabelecimento de diferenças de pressão, a concentração de poluentes, o aquecimento do ar, favoráveis para a ocorrência da ilha de calor.

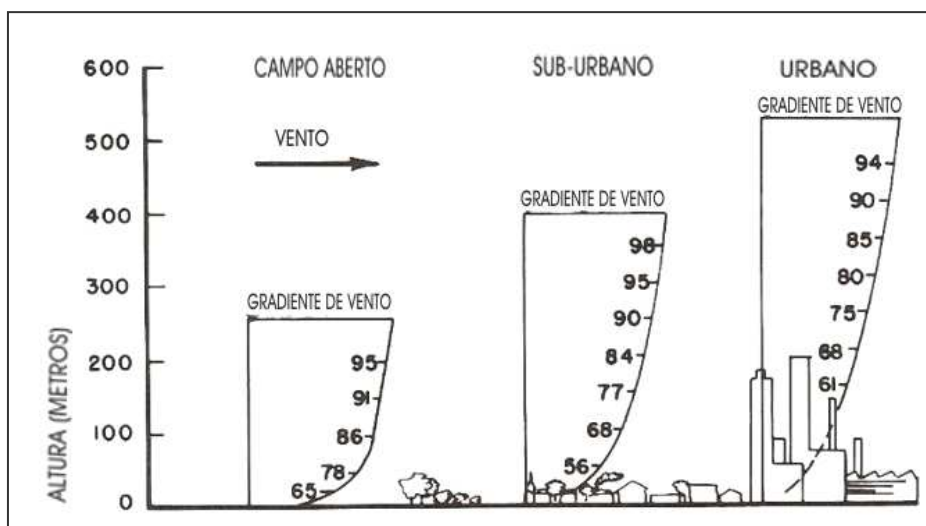


Figura 14 – Gradientes genérico de vento em área urbana, suburbana e área aberta Adaptado pela autora.
Fonte: LANDSBERG, 1981.

Os estudos de ventilação podem favorecer o conforto bioclimático nos espaços abertos (para os pedestres) e nas edificações (para os usuários) além de impedir a criação de condições para a ocorrência das ilhas de calor.

Nessa perspectiva, Mendonça e Assis (2001) trabalharam com uma área urbana de Belo Horizonte, MG para analisar os caminhos de vento. Compararam qualitativamente a ventilação determinada através da inclinação das vertentes com as simuladas em túnel de vento, apresentando boas aproximações. Como resultado, as autoras relacionaram um mapa síntese com recomendações para áreas que deveriam ser melhoradas (associadas à legislação urbanística) e ser

preservadas (*non aedificantes*) para possibilitar as condições de acesso aos caminhos predominantes dos ventos.

Portanto, a ventilação deve ser utilizada para a melhoria das condições climáticas locais associando-se a preservação dos corredores locais de vento, à variação da altura dos edifícios.

2.7.5 O relevo

As características geomorfológicas do sítio natural influenciam diretamente as condições do clima local. Romero (2000) classifica que os microclimas são diferenciados em função da altitude, das declividades topográficas, da orientação das vertentes e da exposição à radiação.

Assim, em uma região acidentada, como no exemplo da figura 15, é possível identificar microclimas variados. As ondulações do terreno determinam ângulos de incidência solar e conseqüentemente a quantidade de radiação recebida. Da mesma forma, dependendo da trajetória solar, as vertentes podem estar expostas a condições de radiação direta ou sombra. A interação desses dois fatores com o perfil da declividade proporciona diferenças climáticas para as diversas situações geomorfológicas, tais como fundos de vale, planícies ou encostas.

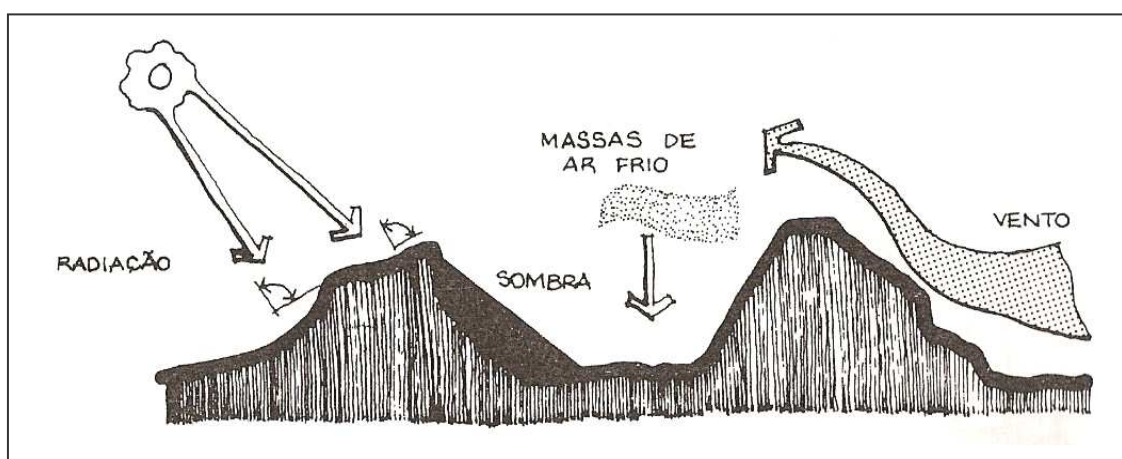


Figura 15 – Influência do relevo na formação de microclimas.
Fonte: ROMERO, 2000, p. 31.

Além disso, as temperaturas tendem a variar na medida em que as altitudes se elevam, tornando-se mais amenas. De forma geral, a cada 100 metros de elevação da altitude, corresponde a uma queda de 0,65°C de temperatura.

O relevo pode funcionar também como uma barreira para as massas de ar, definindo distintas condições de ventilação urbana, seja através da exposição aos ventos dominantes, seja através da formação de zonas de estagnação de massas de ar.

Fontes e Mattos (1999) investigaram as condições climáticas em terrenos de fundo de vale da cidade de São Carlos, SP, em comparação com as regiões mais elevadas. As conclusões confirmam que nos fundos de vale as condições higrotérmicas são mais amenas que nas áreas mais elevadas, especialmente durante o período noturno. Assim, as estratégias do desenho bioclimático devem estar associadas às especificidades do sítio natural.

A conjugação desses fatores da bioclimatologia urbana deve ser considerada na determinação dos padrões de ocupação e na definição das densidades urbanas para os diferentes recintos urbanos.

2.8 Avaliação do conforto térmico exterior

A análise do conforto térmico em ambientes externos é mais complexa do que aquela em ambientes internos, uma vez que envolve uma maior variação das condições climáticas. Lois e Labaki (2001) colocam que os estudos do conforto térmico em espaços externos levam em consideração a taxa de metabolismo, a vestimenta e a radiação solar, também apontam para as respostas fisiológicas aos efeitos combinados entre os fatores climáticos e a atividade, particularmente a reação às taxas de sudação.

Existem alguns estudos orientados para a criação de métodos de avaliação do conforto em ambientes externos, tais como o de Givoni (2003) e a Temperatura Fisiológica Equivalente (PET - Physiological Equivalent Temperature).

Givoni et al (2003) desenvolveram uma equação para a sensação térmica em ambientes externos a partir de uma pesquisa desenvolvida no Japão, no qual

foram observadas, para uma mesma praça, três situações distintas quanto exposição: ao sol; ao sol porém protegido contra os ventos; e sob a sombra de uma árvore. As variáveis que compõem a equação são: temperatura na sombra (°C), radiação solar horizontal, velocidade do vento (m/s), umidade relativa (%) e temperatura da superfície ao redor (°C).

A Temperatura Fisiológica Equivalente (PET - Physiological Equivalent Temperature) é um índice para cálculo do conforto térmico, adaptado às condições externas, que considera não apenas a temperatura, umidade e vento, mas também a temperatura radiante média e é baseado na equação de equilíbrio térmico humano em estado de uniformidade (KATZCHNER, 2000).

O Diagrama Bioclimático de Givoni de 1992 é um índice de conforto térmico que refere-se a ambientes internos. O Diagrama está associado à Carta Psicrométrica que relaciona os dados de temperatura (bulbo seco e úmido) e umidade (relativa e absoluta), como mostra a figura 16. Assim, a partir da colocação dos pontos psicrométricos no Diagrama Bioclimático é possível analisar as respectivas estratégias bioclimáticas recomendadas.

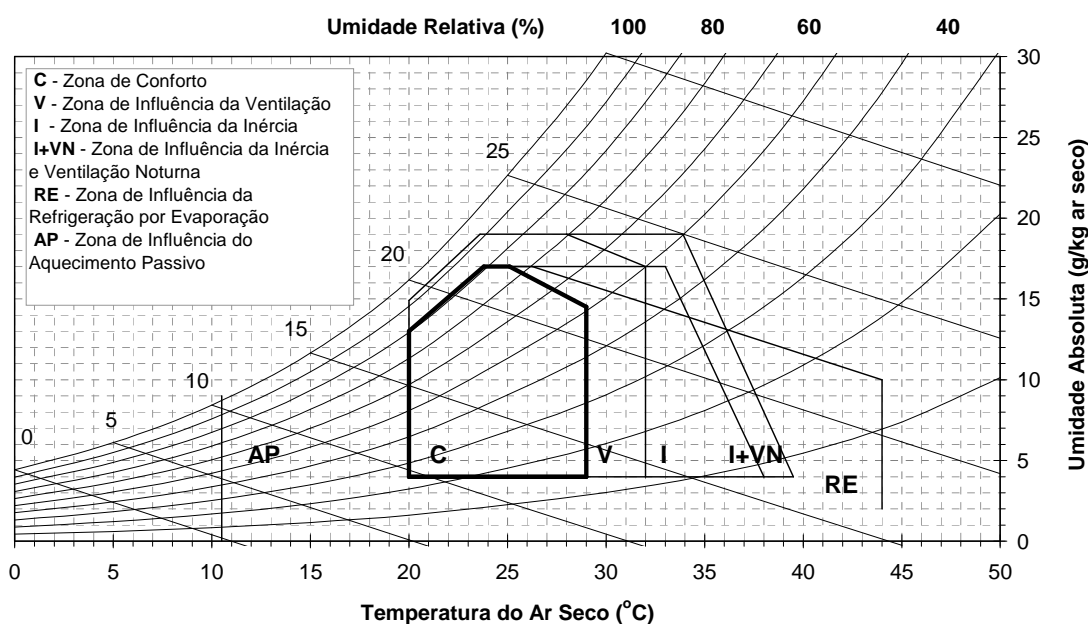


Figura 16 – Diagrama Bioclimático de Givoni associado à Carta Psicrométrica.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

Segundo Lamberts et al (1997) o Diagrama Bioclimático de Givoni de 1992 foi concebido para adequar-se aos limites de conforto de países quentes em desenvolvimento, de modo a englobar valores mais altos de temperatura e

umidade considerados adequados para esses locais. Desse modo, tal Diagrama considera como valor-limite da zona de conforto a temperatura de 29°C.

O Diagrama Bioclimático de Givoni foi o índice de conforto escolhido para a análise climática dos locais analisados na pesquisa.

2.9 Clima e planejamento urbano

O trabalho de tomada de decisão para fins de ordenação do solo é uma tarefa bastante complexa, devido ao caráter multidisciplinar do espaço urbano, no qual, pesam-se dinâmicas naturais, sociais e econômicas. Nesse jogo de variáveis conflitantes, as questões ambientais são muitas vezes desconsideradas em benefício das demais abordagens.

Em relação ao clima, pode-se dizer que mesmo apresentando uma importante interface com o planejamento urbano, poucos desdobramentos práticos são implementados na perspectiva da legislação urbanística.

Assis (1997), analisando as bases teóricas para a integração entre o clima e o planejamento urbano, relaciona, a partir da trajetória histórica de cada um, os pontos de conflitos para a interdisciplinaridade. Segundo a autora, um dos principais problemas da análise sistêmica - origem teórica dos modelos do clima e da qual deriva-se a proposta de Monteiro (1976) - é a excessiva limitação para lidar com o referencial humano, não abordando os processos espaciais urbanos e, portanto, não tratando o planejamento urbano em sua complexidade²⁴.

Em termos de metodologia, acredita-se que os estudos de climatologia urbana necessitam evoluir para a criação de uma ferramenta simplificada, que possa adequar-se a definição de índices urbanísticos apropriados para as realidades intra-urbanas de cada local, já que os métodos hoje disponíveis tornam as abordagens fragmentadas: os *modelos físicos e numéricos* precisam recorrer às variáveis complexas para simular realidades simplificadas (distantes da

²⁴ Sobre essa questão, a autora lança mão da contribuição teórica de Alexander, em 1969, sobre a razão sistêmica e a forma urbana para argumentar que a visão sistêmica tende a considerar o espaço urbano como um organismo biológico, e, portanto, passível ser planejado linearmente, quando na verdade, o trato com a questão urbana requer relações muito mais complexas, devido aos seus constantes conflitos, inclusive de valores, como é o caso da lógica do setor imobiliário.

complexidade urbana) enquanto que os *modelos empíricos* são muito práticos e seus resultados tornam-se restritos quanto à possibilidade de dimensionamentos para fins de regulamentação específica.

No que tange às limitações da pesquisa em clima urbano, é preciso considerar que esta necessita da aquisição de dados climáticos oficiais (obtidos em redes meteorológicas) e de equipamentos para a coleta de dados climáticos fixos (através de mini-abrigos) ou móveis (transectos) nem sempre de fácil obtenção²⁵.

Para o desenvolvimento desses estudos necessita-se também de uma cartografia de apoio para o reconhecimento do meio físico natural e da realidade urbana do município estudado. Porém, um grande número de prefeituras brasileiras não apresenta produtos cartográficos digitais completos tais como: fotografias aéreas, levantamentos planialtimétricos e cadastro imobiliário.

Além disso, as informações temáticas, tais como a espacialização dos recursos naturais, hidrográficos e urbanísticos (gabaritos, afastamentos, taxas de ocupação, taxa de impermeabilização, etc.), são, por vezes, insuficientes e desatualizadas. Assim, para o desenvolvimento das pesquisas é necessário conjugar os dados existentes com atualizações em campo, tornando quando não um limitador, um contratempo para o desenvolvimento dos trabalhos.

Por fim, dentre as limitações, é preciso salientar a própria dificuldade do planejamento no Brasil, onde as formas de crescimento desordenadas têm uma velocidade maior do que os mecanismos de planejamento resultando muitas vezes em soluções técnicas de cunho reparatório.

Mendonça (2003b:178-179) coloca que a eficácia da atividade de planejamento, enquanto solução racional para os problemas urbanos, tem sido bastante questionada justamente pelo fato de as condições de vida nas cidades não apresentarem melhorias significativas. Sendo assim, o autor levanta algumas questões:

Tratar-se-ia somente de um problema de planejamento urbano, ou a cidade dos países desenvolvidos apresenta uma complexidade maior? Ou será que as caóticas e/ou gigantescas cidades modernas que atraem cada vez mais imigrantes tornaram-se impraticáveis para qualquer política de planejamento? Apresentaria o estudo do clima urbano, em tais condições, possibilidades reais de conter a deterioração da atmosfera urbana?

²⁵ Mendonça (2003b) observa que os equipamentos sofisticados são pouco utilizados no Brasil. A partir da década de 90, passou-se a utilizar mini-estações meteorológicas automáticas, sensores eletrônicos e imagem de satélite em banda termal nas pesquisas brasileiras.

Essas questões colocam em evidência os limites do tema e ao mesmo tempo estimulam o aprofundamento de reflexões acerca de possibilidades para a melhoria da qualidade ambiental. Nesse sentido, é possível identificar que, nas últimas décadas, houve uma maior incorporação das questões ambientais na tônica do planejamento.

Duarte (2000) coloca que, a partir década de 1990, algumas cidades brasileiras passaram a incluir a variável ambiental como um dos eixos de orientação das novas leis urbanísticas de uso e ocupação do solo. Costa (2001) também evidencia que algumas experiências recentes em planejamento no Brasil tem progressivamente incorporado, ainda que de forma empírica, parâmetros tidos como ambientais em suas propostas e projetos, muito embora não adotem necessariamente um discurso homogêneo sobre meio ambiente em qualquer de suas definições²⁶.

Duarte (2002) coloca que há um potencial para a utilização do planejamento urbano para a criação de microclimas mais favoráveis. Segundo a autora, o estudo de Keoble et al (1990)²⁷ sobre a legislação urbanística de diversos países europeus, revela a existência de elementos comuns que demonstram que o planejamento está cada vez mais associado à qualidade de vida, à ecologia, ao controle da poluição e a eficiência energética. Nesse contexto, é possível destacar a experiência alemã, dentre as práticas bem sucedidas de integração das abordagens de clima e planejamento urbano.

O método alemão aborda o tema sobre o enfoque descritivo e resulta em propostas para a cidade construída, a partir da consolidação do conceito de “clima urbano ideal” definido por Mayer (1990) que considera a qualidade ambiental e o conforto bioclimático como os principais atributos do clima.

²⁶ Como exemplo, Costa (2001) cita o caso de Belo Horizonte, MG em que, apesar dos reveses embutidos, a elaboração do atual Plano Diretor e Lei de Uso e Ocupação do Solo adotou, mesmo que implicitamente, um conceito bastante abrangente de meio ambiente urbano, no qual os elementos do quadro natural representaram um forte condicionante às propostas de ocupação do solo, através de estudos acerca de capacidade futura de adensamento, insolação, ventilação e conservação de energia, permeabilidade do solo para contribuir na regulação do fluxo das águas, a questão do risco. Na definição do macrozoneamento definiram-se as situações que necessitariam de intervenções e tratamento especial, em termos sociais, urbanísticos e ambientais favorecendo a proteção de partes ('mais frágeis') da cidade frente à lógica imobiliária. Duarte (2000) também cita alguns exemplos de posturas ambientais na legislação urbanística de cidades brasileiras.

²⁷ KEEBLE, E.J.; COLLINS, M.; RYSER, J. The potential of land planning and development control to help achieve favorable microclimates around buildings: a European review. *Energy and Buildings*, n.15-16, 1990/91, p.823-836, 1990.

Katzschner (1997) considera que os fatores que mais modificam o clima local são: a topografia, a estrutura urbana, a ventilação e o balanço de energia. Nesse intuito, o autor propõe que os dados climáticos, tais como, os caminhos de vento, a distribuição das temperaturas e a identificação da poluição do ar sejam utilizados como suporte para a definição de diretrizes de projeto e planejamento, sugere ainda que os condicionantes geoecológicos do meio urbano em cada local sejam identificados de modo a definir áreas que precisam ser melhoradas ou preservadas para garantir as condições de qualidade e conforto ambiental para as cidades.

Duarte (2005: 30) descreve que:

No caso alemão os planos são desenvolvidos por bairros, com a participação de climatologistas desde a fase de concepção. As áreas apropriadas ou não para o adensamento, verticalização, áreas verdes, etc., são localizadas e dimensionadas em função do mapeamento da circulação do ar e das ilhas de calor urbanas. O mapeamento assume um caráter prático, operacional para o processo projetual urbano. A partir daí definem-se critérios quali-quantitativos locais de desempenho climático, relacionados aos objetivos e níveis de planejamento e uma resultante classificação do uso do solo urbano.

A proposta de Katzschner (1997) também coloca a questão da forma de apresentação da informação climática. Para isso, o autor estruturou um método para a integração entre as escalas climáticas e as do planejamento urbano, de modo a viabilizar a tradução dos atributos do clima para a linguagem do planejamento, visando a sua implementação. O quadro 3 mostra a proposta do autor, no qual cada nível de abordagem associa-se a um método específico e uma escala adequada de trabalho.

QUADRO 3

Escalas climáticas e escalas de planejamento. Traduzido pela autora.

Objetivos de Planejamento	Ferramentas do Clima Urbano	Escalas de Planejamento
Redução de Poluição do Ar	Análise do padrão de circulação local, análise de caminhos (correntes) de ar e zonas de ventilação, localização de zonas de produção de ar frio, localização de efeito barreira produzido por prédios ou represas	Planejamento de Desenvolvimento Urbano 1:25.000 a 1:10.000
Desenvolvimento da Vida Urbana	Análise da diversidade do clima urbano, localização de áreas com estresse de frio ou calor, extremos climáticos	Espaço de planejamento livre 1:2.000 a 1:500
Melhoria da qualidade de vida fora de casa	Criando condições bioclimáticas moderadas com poluição do ar reduzida; análise das condições micro-climáticas dependendo do uso de espaços livres dentro de praças (jardins, quintais); redução da ilha de calor urbana	Espaço de planejamento livre 1:2.000 a 1:500

Fonte: KATZSCHNER, 1997, p.50.

No mesmo contexto, Bitan (1988), procurou estruturar formas de aplicação do clima ao planejamento. Para o autor, as informações climáticas devem ser utilizadas em diferentes níveis de planejamento, abrangendo desde o contexto regional até o projeto urbano e do edifício, conforme apresentado a seguir:

- no planejamento regional (corresponde à escala mesoclimática) a informação climática pode ser utilizada na seleção de novas localizações, no planejamento do uso do solo (rural e urbano) e na minimização dos riscos ambientais;
- no planejamento urbano (correspondente ao clima local) a informação climática pode ser utilizada na seleção da forma urbana geral, na definição de funções e usos do solo urbano, no dimensionamento e localização de áreas verdes, na manutenção de corredores de circulação. É basicamente nessa escala de intervenção que se dá a proposta alemã;
- o nível do edifício e de seu entorno (corresponde à escala microclimática) é mais explorado pela arquitetura bioclimática.

A proposta de Bitan identifica cinco estágios, partindo dos requisitos dos usuários, da localização, tamanho e funções da área a ser planejada, para orientar a coleta de dados climáticos, medições, processamento e análise que deverão subsidiar a determinação de critérios e recomendações ao planejamento, projeto urbano e de edifícios, essa proposta se volta mais para o planejamento de cidades novas.

Por fim, avalia-se que a criação de uma metodologia adequada e de uma representação útil torna-se um passo decisivo para que os dados da climatologia urbana se integrem ao processo de planejamento urbano brasileiro.

3

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: A CIDADE DE MONTES CLAROS

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: A CIDADE DE MONTES CLAROS

Esse item traz uma caracterização da cidade de Montes Claros, já que a pesquisa em clima urbano implica na análise dos condicionantes urbanos e ambientais do local tomado como objeto do estudo empírico.

Nesse intuito, o item se estrutura da seguinte forma: primeiramente são abordados os aspectos gerais sobre o município e a região no qual se insere. Em seguida tem-se a caracterização dos condicionantes ambientais e urbanos.

Através dessa análise foi possível reunir uma série de mapas temáticos sobre o município, que servirão como base para a compreensão do clima urbano da cidade.

3.1 Aspectos Gerais

A cidade de Montes Claros está localizada na região norte do estado de Minas Gerais nas coordenadas 16° 43' de latitude sul e 43° 51' de longitude oeste. De acordo com a divisão territorial do IBGE, o estado de Minas Gerais foi subdividido em dez mesorregiões, como apresentado na figura 17, sendo que a mesorregião do Norte de Minas (como é conhecida) abrange uma área de aproximadamente 128.602 km², o que corresponde a 21,85% da área do estado.



Figura 17 – Divisão territorial das mesorregiões de Minas Gerais segundo o IBGE.
Fonte: Arquivo Digital da PMMC, 2005.

O Norte de Minas, destacado na figura 18, possui 89 municípios, totalizando uma população de 1.473.367 habitantes, sendo o município de Montes Claros o mais populoso com 348.991 habitantes, segundo dados do IBGE de 2006.



Figura 18 – Mesorregião do Norte de Minas Gerais com destaque para o município de Montes Claros.

Fonte: Arquivo Digital da PMMC, 2005.

O Norte de Minas se caracteriza como uma região de transição entre o Sudeste e o Nordeste do Brasil, já que as suas características sócio-econômicas e físico-climáticas se assemelham às do nordeste brasileiro.

Justificando essa abordagem, Oliveira (2000) coloca que os baixos indicadores sócio-econômicos são reflexos de um processo histórico de alta concentração de renda (nas mãos dos proprietários rurais). Em relação ao aspecto físico-climático, a região apresenta escassez de chuvas (secas) e marca a transição do clima sub-úmido para o clima semi-árido e da vegetação de cerrado para a caatinga.

Devido a essas características, o Norte de Minas foi incluído em 1946 na Área Mineira do Polígono das Secas (AMPS) e posteriormente, em 1965, na Área Mineira de Atuação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE).

Até o século XIX a base econômica do Norte de Minas esteve baseada na agropecuária, com maior dinamismo comercial nas localidades próximas ao rio São Francisco, porém, com a estagnação econômica dessa região, a cidade de Montes Claros passou a centralizar o comércio regional, sobretudo a partir de 1926, com a chegada da estrada de ferro Centro Atlântica²⁸, que estimulou o desenvolvimento do comércio atacadista no município para a venda dos produtos ao Norte de Minas e sul da Bahia.

Contudo, a partir da década de 1960, a região passou a ser foco das políticas federais de desenvolvimento da SUDENE através do incentivo à produção agrícola intensiva e industrialização, como forma de estimular o crescimento econômico e reduzir as desigualdades regionais.

Nesse contexto, Oliveira (2000) coloca que a cidade de Montes Claros passou a ser a opção locacional para os investimentos industriais devido a seu maior destaque regional, sua melhor infra-estrutura e maior densidade populacional, o que resultou na criação de um Distrito Industrial no município para a implantação de várias indústrias²⁹. A partir desses desdobramentos, o município se consolidou como o principal pólo econômico da mesorregião, exercendo ainda influência nas regiões do Vale do Jequitinhonha e sul da Bahia.

O gráfico 1 traz um comparativo do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), que toma como base os dados de educação, renda e expectativa de vida. A partir deste é possível compreender a relação hegemônica do município em relação à região.

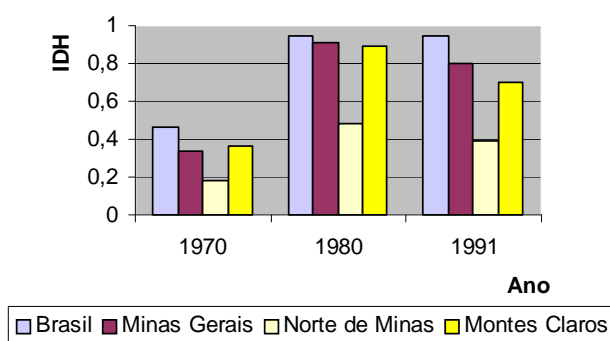


Gráfico 1 - Comparativo do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).
Fonte: OLIVEIRA, 2000, p.21. Adaptado pela autora.

²⁸ A estrada de ferro possibilitou a ligação do município à Belo Horizonte e os demais centros, como Rio de Janeiro e São Paulo, como também à Bahia, sendo considerada importante para a integração das regiões sudeste e nordeste do Brasil.

²⁹ Foram implantadas indústrias têxteis, de produtos farmacêuticos, veterinários, alimentícios, de refrigerantes, de estruturas metálicas, de colchões, cimento.

Atualmente, o município sustenta sua posição de destaque no estado, tendo maior dinamismo nos setores: secundário, através da atuação de indústrias de porte, inclusive com o projeto de implantação, em curto prazo, da Petrobrás (beneficiamento do biodiesel); e terciário, através da prestação de serviços tradicionais e especializados.

Assim, o município atende a uma demanda do mercado regional no setor educacional, especialmente pela presença de dez unidades de ensino superior, sobretudo da Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes); na especialização do serviço médico-hospitalar e na prestação de serviços de maior porte como shopping center e lojas de departamento. Nesse cenário, a indústria da construção civil tem aumentando seu expoente de atuação, resultando em significativas mudanças na paisagem urbana do município.

3.2 Análise dos condicionantes ambientais

3.2.1 Aspectos Climáticos

O município de Montes Claros está localizado na zona tropical e pertence, segundo a classificação de Köppen, ao domínio do clima quente tropical A_w .

Segundo levantamentos da SUDENE (1979), o clima da região Norte de Minas Gerais é influenciado principalmente pela latitude e orografia. Em termos orográficos a cidade de Montes Claros encontra-se entre a Serra do Espinhaço ao leste, que se constitui uma importante barreira do relevo, com altitude de aproximadamente 1.000 metros, e a bacia do Rio São Francisco a oeste.

O tipo climático da microrregião de Montes Claros é o tropical sub-úmido, sendo definido por duas estações típicas: um verão quente com chuvas e uma estação seca prolongada.

As temperaturas são mais amenas nos meses de maio, junho e julho. E mais elevadas nos meses de outubro, janeiro e fevereiro.

A radiação solar na região é bastante elevada, como mostra o mapa da figura 19, que relaciona a radiação solar global diária, e o quadro-resumo 4, que apresenta a quantidade de horas de insolação.

O trimestre mais seco é julho, agosto e setembro. O período mais úmido é dezembro, janeiro e fevereiro.

Em relação ao regime pluvial o município está incluído no Polígono das Secas já que possui uma distribuição pluviométrica bastante irregular, com chuvas intensas no período de verão (média normal de 142,2 mm) e precipitações escassas no decorrer do ano.

As massas de ar frio que alcançam a região Norte de Minas Gerais são oriundas principalmente do Anticiclone do Atlântico Sul, ocorrendo com menor frequência a atuação da Massa de ar Equatorial.

Os ventos na região são predominantemente suaves. Segundos os dados do INMET, durante o verão, a direção dos ventos varia bastante, com a predominância do sentido Norte e Nordeste durante o dia e Oeste durante a noite; a velocidade média do vento no período é de 1,7 m/s. No inverno, a direção predominante do vento é Leste e secundariamente Nordeste, e a velocidade do vento é maior, com média de 2,5 m/s.

Para estudar o ambiente térmico urbano, é importante relacionar os dados climáticos históricos. O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) trabalha com médias mensais para períodos de 30 anos, as chamadas Normais Climatológicas. A primeira série de Normais Climatológicas do município refere-se ao período de 1969-1990, medida pela estação do 5º Distrito Nacional de Meteorologia (DISMET) localizado no Campus do Núcleo de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Além desta, o município dispõe ainda de mais quatro estações meteorológicas, a saber:

- Estação localizada na Unimontes.
- Estação da Prefeitura Municipal localizada no Parque Municipal Guimarães Rosa.
- Estação localizada no Aeroporto.
- Estação localizada no “Alto dos Morrinhos” operada por estação de rádio local.

O quadro-resumo 4 apresenta o histórico dos principais indicadores climáticos do município no qual estão relacionados os dados das Normais Climatológicas, a média mensal dos anos subsequentes, dos quais foi possível obter os registros, e do ano de 2007, período da pesquisa.

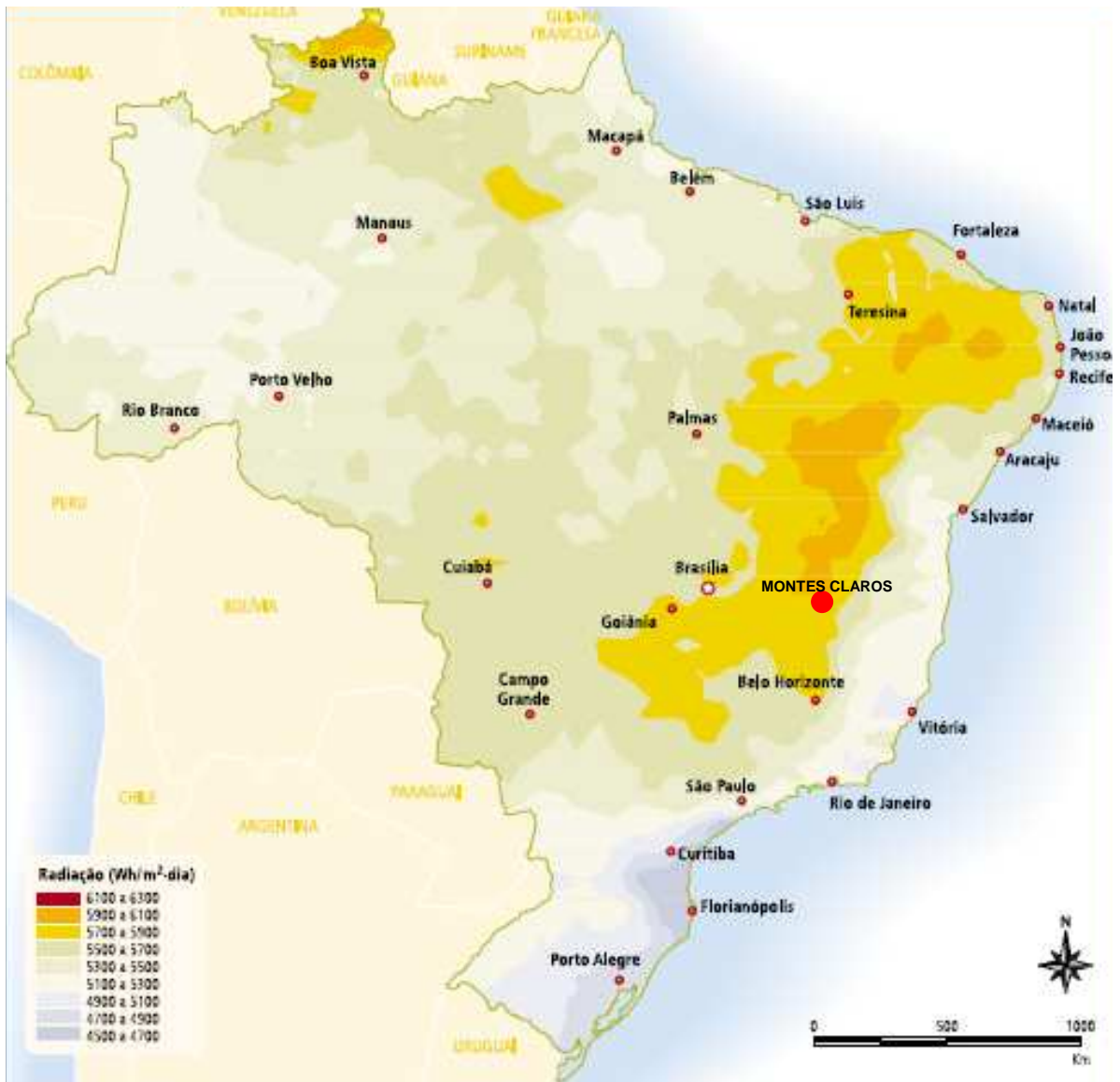


Figura 19 - Radiação solar global diária - média anual típica (Wh/m².dia)
 Fonte: Atlas de Irradiação Solar no Brasil, 1998. In: ANEEL, [200-],p.35.

QUADRO 4
Dados Climáticos de Montes Claros

Atributos Climáticos	Período	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Anual
Temp. Méd Comp. (°C)	Normais Climatológicas (1960 -90)	23,5	24,0	24,4	22,7	21,2	19,7	19,4	21,2	22,7	23,7	23,4	23,3	22,43
	Período (1991-1998)	25,2	25,6	25,2	23,4	22,8	16,0	21,3	21,1	25,7	25,3	26,0	25,7	23,61
	Ano (2007)	24,9	23,4	24,1	23,6	21,7	20,5	20,9	21,0	23,2	26	26,7	24,9	23,41
Temp. Máx. (°C)	Normais Climatológicas (1960 -90)	29,8	30,4	30,3	29,4	28,6	27,8	27,4	29,3	30,3	30,4	29,3	28,8	29,32
	Período (1991-1998)	29,6	30,4	30,5	29,8	28,6	27,5	27,7	28,9	31,1	31,6	29,6	29,0	29,53
	Ano (2007)	29,88	28,47	30,86	30,47	29,62	29,15	28,93	28,93	30,81	33,6	33,25	30,91	30,40
Temp. Mín. (°C)	Normais Climatológicas (1960 -90)	18,6	19,0	18,7	17,3	15,3	13,1	12,5	13,5	16,1	18,2	19,0	19,1	16,70
	Período (1991-1998)	19,4	19,5	19,2	18,0	12,9	14,1	13,2	14,0	17,3	19,2	19,7	20,0	17,21
	Ano (2007)	20,5	19,8	18,8	25,1	15,7	13,1	14	18,6	16,3	19,5	21,4	20,2	18,59
Umidade Relativa (%)	Normais Climatológicas (1960 -90)	74	71	73	72	65	65	59	52	53	62	76	77	66,58
	Período (1991-1997)	77,5	70,0	71,8	74,0	67,5	67,2	64,2	54,3	51,8	58,0	68,4	78,8	66,96
	Ano (2007)	74	80	68	69	65	60	56	48	45	42	52	66	60,42
Evaporação (mm)	Normais Climatológicas (1960 -90)	93,0	95,4	97,3	96,6	104,5	114,8	136,2	162,0	176,3	148,8	96,5	81,7	116,93
	Período (1991-1995)	86,8	93,0	112,4	96,1	111,2	120,5	153,8	180,8	205,1	203,0	121,5	72,8	129,75
Insolação (horas)	Normais Climatológicas (1960 -90)	209,4	212,1	220,4	226,2	249,5	245,3	258,6	269,9	225,0	198,5	161,2	164,6	2.586,06*
	Período (1991-1995)	178,1	185,6	227,5	223,3	235,1	243,4	258,5	242,0	221,7	229,9	164,1	130,8	2.256,9*
	Ano (2007)	158,6	180	225,6	227,9	246,2	286,8	271	301,4	272,1	277,8	222,6	209,7	2.880,1*
Pluviosidade (mm)	Normais Climatológicas (1960 -90)	192,0	115,7	124,6	41,6	14,2	4,3	3,5	6,6	21,2	110,5	211,0	237,1	1082,3*
	Período (1991-2003)	221,9	93,8	140,0	31,7	17,0	11,4	0,5	4,1	31,7	67,5	245,9	253,1	1118,6*
	Ano (2007)	139,6	265	25	18	2	0	0	0	0	12	70	100	631,6*

*Total anual.

Fonte: Organizada pela autora com base nos dados do INMET e da Companhia de Desenvolvimento do Vale do Rio São Francisco (CODEVASF).

3.2.2 O sítio físico da região de Montes Claros

Segundo Silva e Jesus (2002), a formação geológica da região data da transgressão do mar de Bambuí, no pré-cambriano. Por ser uma região formada por transgressão marítima, o embasamento rochoso é composto principalmente por rochas calcárias, e é justamente este embasamento calcário, trabalhado e retrabalhado pelo clima e pela água, que definiu a geomorfologia do relevo cárstico da região.

A microrregião de Montes Claros está incluída entre as elevações da Serra do Espinhaço a leste e a depressão sanfranciscana a oeste, onde as altitudes são menores e há a ocorrência de tabuleiros e chapadões.

O sítio físico no qual o município está implantado encontra-se nas sub-bacias do Rio Verde Grande e do Rio Jequitaiá, que são divisoras de água respectivamente do Rio São Francisco a oeste e do Rio Jequitinhonha a leste.

O município tem uma altitude média de 638 metros e desenvolve-se numa área de planalto, resultando em um relevo relativamente plano, circundado por várias elevações.

Na região sudeste da cidade está localizada uma importante unidade do relevo local que é a Serra do Mel, conhecida também como Serra do Ibituruna.

As condições topográficas caracterizadas por leves sinuosidades favoreceram a expansão horizontal do município, sendo que apenas as unidades da Serra do Mel e do Morro Dois Irmãos constituem-se barreiras para a expansão urbana no sentido sudoeste. Com isso, os eixos de crescimento predominantes são no sentido leste, nordeste e norte³⁰. A figura 47 (p.134) apresenta o mapa hipsométrico do município.

3.2.3 Levantamento da vegetação e dos cursos d'água significativos

Os domínios morfoclimáticos são grupos de paisagem resultantes da combinação de fatores geomorfológicos, climáticos, hidrológicos e pedológicos,

³⁰ Informação verbal dada pelo técnico da Secretaria de Meio Ambiente do município Berilo Maia Filho em entrevista no dia 15/06/2007.

sendo consideradas unidades de macroclimas. Um dos estudos de maior influência sobre a classificação dos domínios morfoclimáticos brasileiros é o de Ab'Saber (1970). De acordo com sua divisão, a região de Montes Claros pertence ao domínio dos chapadões tropicais, sendo que a transição para o domínio das depressões intermontanhosas semi-áridas ocorre apenas no extremo norte do estado.

O município de Montes Claros apresenta uma vegetação típica de cerrado no qual há a ocorrência de matas secas e matas de galeria.

As matas de galeria são caracterizadas pela presença da Floresta Estacional Semi-decidual, na qual a formação florestal não apresenta queda significativa das folhas durante a estação seca.

Já a vegetação de mata seca possui a característica da Floresta Estacional Decidual, na qual há a predominância de espécies que entram em declínio de sua atividade na época seca, devido à falta d'água, perdendo então a folhagem para evitar a evapotranspiração.

No período de chuvas, a vegetação entra em brotação, resultando em uma paisagem bastante diferenciada em relação à aridez da época de estiagem.

O mapa das áreas verdes públicas do município, mostrado na figura 21, foi elaborado a partir do levantamento das áreas verdes municipais e das Áreas de Preservação Permanente (APP). As praças públicas foram incluídas em uma categoria à parte, pois, normalmente, não possuem a cobertura vegetal em toda a sua área, embora tenham um grande potencial para a arborização, o que justifica a sua inclusão. Por falta de dados, não foram consideradas a vegetação presente nos lotes vagos, as áreas verdes particulares e a arborização urbana.

Analisando o mapa das áreas verdes é possível constatar que a cobertura vegetal não está distribuída de forma equivalente pelo tecido urbano, havendo uma grande concentração desta na região sudoeste da cidade, onde localizam-se os Parques Municipal, Guimarães Rosa e Sapucaia. No entanto, é preciso salientar que essa região já possui uma maior qualidade ambiental em relação ao restante da cidade, em parte pela condição topográfica mais elevada, que favorece a formação de um microclima mais ameno, e em parte, pela implantação de condomínios fechados de alta renda que podem ser considerados simulacros da vida no campo e também bairros nobres (bairros jardins) com quintais e arborização urbana significativa.

A arborização de rua está distribuída de forma muito desigual pelo tecido urbano, o que dificulta uma análise mais específica. De forma geral, os bairros residenciais de alta renda (com baixa densidade e lotes maiores) são geralmente mais arborizados do que os de renda mais baixa (com maior densidade e lotes menores), no entanto, há uma diferenciação caso a caso com a presença de ruas bastante arborizadas e outras muito áridas. Na área central, a arborização é muito escassa.

Segundo relatos do técnico da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, as espécies utilizadas na arborização de rua são geralmente exóticas, com a predominância do ficos (*Ficus benjamina*) e do oiti (*Licania tomentosa*).

As principais áreas de preservação permanente no município são:

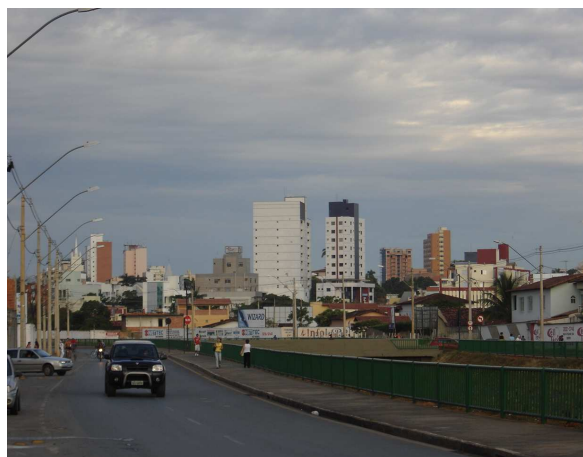
- *O Parque da Sapucaia*, que está localizado nas encostas da Serra do Mel e caracteriza-se pela ocorrência da mata seca.
- *O Parque Guimarães Rosa*, que é um parque linear constituído pelas matas de galeria do Córrego Vieiras.
- *Parque do Bicano*, criado recentemente no intuito de preservar uma área de 11 hectares em certa extensão do Córrego Bicano.
- *Parque Municipal*, que é caracterizado pela ocorrência de uma vegetação de transição para Floresta Estacional Semi-Decidual.
- *Parque Estadual da Lapa Grande*, que é o maior em extensão e está localizado fora do perímetro urbano, sendo que parte da área urbana encontra-se na área de amortecimento do parque.

O principal curso d'água do município de Montes Claros é o Córrego Vieiras, que nasce na Serra do Mel, região sudoeste, e segue pelo perímetro urbano até a foz com o Rio Verde Grande. Ao longo do percurso o rio recebe vários afluentes que cortam diversos bairros da cidade.

No entanto, com o crescimento urbano, boa parte desses cursos d'água foram canalizados, retificados e tiveram a sua vegetação ciliar removida para a implantação de avenidas sanitárias. Assim, a bacia hidrográfica do Córrego Vieiras encontra-se bastante impermeabilizada, sobretudo na região central da cidade. A figura 20 mostra o curso do Córrego Vieiras e de alguns de seus afluentes. Através da legenda é possível identificar a situação atual desses cursos d'água.



(a)



(b)



(c)

Figura 20 (a), (b) e (c) – Alguns trechos das Avenidas Sanitárias, na figura (a) o curso d'água foi enterrado, em (b) e (c) encontra-se canalizado.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

Dentre os demais corpos d'água municipais, destacam-se as Lagoas Interlagos e a do Parque Municipal, localizadas respectivamente nas regiões nordeste e sudoeste da cidade. Nesse contexto, é importante ressaltar que, na década de 80, a Prefeitura Municipal propôs a construção de algumas lagoas artificiais em distintos pontos da área urbana com vistas a melhorar a umidade do ar. No entanto, apenas a Lagoa Interlagos foi construída, sendo que o local previsto para a implantação das demais, em terrenos de fundos de vale, já foram urbanizados.



LEGENDA

- | | | | | | |
|----------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------------|------------|
| 01 - Morrinhos | 03 - Matriz | 05 - Senac | 07 - ONG | 09 - Lg. Interlagos | 11 - INMET |
| 02 - Catedral | 04 - Av.Sanitária | 06 - Pq.Municipal | 08 - Saída BR135 | 10 - Aeroporto | |

ESC: 1: 7.500

Figura 21 – Vegetação e principais recursos hídricos do município.
 Fonte: elaborado pela autora com base no mapa da PMMC, 2005.

3.4 Análise dos Condicionantes Urbanos

3.4.1 O processo de urbanização de Montes Claros

A cidade se desenvolveu inicialmente por volta de 1885, ao redor da Praça da Igreja Matriz, perto do Córrego Vieiras, o que hoje constitui o núcleo histórico de Montes Claros. Essa ocupação inicial é caracterizada pela presença de ruas estreitas, tortuosas e casas sem afastamentos frontais.

Até a década de 1960, o crescimento urbano ocorreu principalmente em torno da área central já que a cidade era até então essencialmente agrário/mercantil. A figura 22 ilustra os diversos períodos da expansão da malha urbana do município.

Contudo, em meados da década de 60, a região Norte de Minas foi, segundo Oliveira (2000), praticamente preparada para receber os investimentos da SUDENE o que impulsionou a ampliação da infra-estrutura urbana do município. De fato, analisando a figura 22 é possível perceber a expansão da malha urbana, na qual foram criados eixos viários que conduziam aos novos loteamentos e também à área do Distrito Industrial.

O crescimento urbano verificado nesse momento deparou-se com uma administração municipal despreparada para enfrentar a nova realidade, pois até então o município não tinha planos. Com isso, houve uma grande extensão da malha urbana sem a ocupação.

A partir desse momento, o município passou por uma urbanização intensa, impulsionada pelos investimentos industriais da SUDENE, estabelecendo-se assim como cidade industrial. A década de 70 foi a de maior êxodo rural, a população no período quase dobrou. A taxa de crescimento urbano dos anos 60 a 80 aumentou consideravelmente como mostram os dados da tabela 1.

A criação dos novos loteamentos resultou numa expansão urbana horizontalizada em todas as direções, o que inevitavelmente acarretou o encarecimento dos custos de implantação da infra-estrutura, a demanda de ampliação do sistema viário e a redução da cobertura vegetal.

A partir desse momento, os bairros residenciais foram deslocados para esses novos loteamentos e as edificações residenciais da área central foram adaptadas para assumir um uso predominantemente comercial.

Os principais eixos de expansão configurados nas décadas de 70 e 80 originaram uma ocupação diferenciada em cada região da cidade. A região norte desenvolveu-se pela presença do Distrito Industrial e foi habitada principalmente pela população migratória de baixa renda. A ocupação na região sul deu-se, sobretudo a partir da década de 80, concentrando uma população com padrão de renda médio e baixo. A expansão urbana na direção leste é mais recente, no entanto, a região abriga atualmente bairros bastante populosos. A região oeste e sudoeste da cidade concentram os bairros de alta renda, como já comentado.

O crescimento médio da população do município na década de 1990 registrou um percentual de 2,3% ao ano. A taxa de crescimento da população urbana passou de 2,65% no período entre 1991 e 1996, para 3,33% no período de 1996 a 2000. Em relação à população rural houve uma taxa negativa de crescimento urbano passando de -7,57% no período entre 1991 e 1996 para -1,09% no período entre 1996 a 2000.³¹ Como mostram os dados da tabela 1.

TABELA 1

Distribuição populacional por década do município de Montes Claros com base nos dados Demográficos do IBGE

Ano	População Urbana	População Rural	População Total (hab.)	Grau de Urbanização	Densidade Demográfica
1960	43.097	62.855	105.982	40,66%	29,59
1970	85.154	31.332	116.486	73,10%	32,52
1980	155.313	21.995	177.308	87,60%	49,50
1990	227.295	22.270	249.565	91,08%	69,67
2000	289.183	17.764	306.947	94,21%	85,69

Fonte: Plano Estratégico Municipal para Assentamentos Subnormais (PEMAS), 2001.

Contudo, por volta dos anos 90 houve uma diminuição na oferta de trabalho na cidade com o fechamento de algumas indústrias. O maior número de desempregados, especialmente de pessoas oriundas da zona rural e de outros municípios, contribuiu para a expansão de loteamentos clandestinos e a

³¹ Esses dados foram compilados pelo Plano Estratégico Municipal para Assentamentos Subnormais (PEMAS) desenvolvido em 2001.

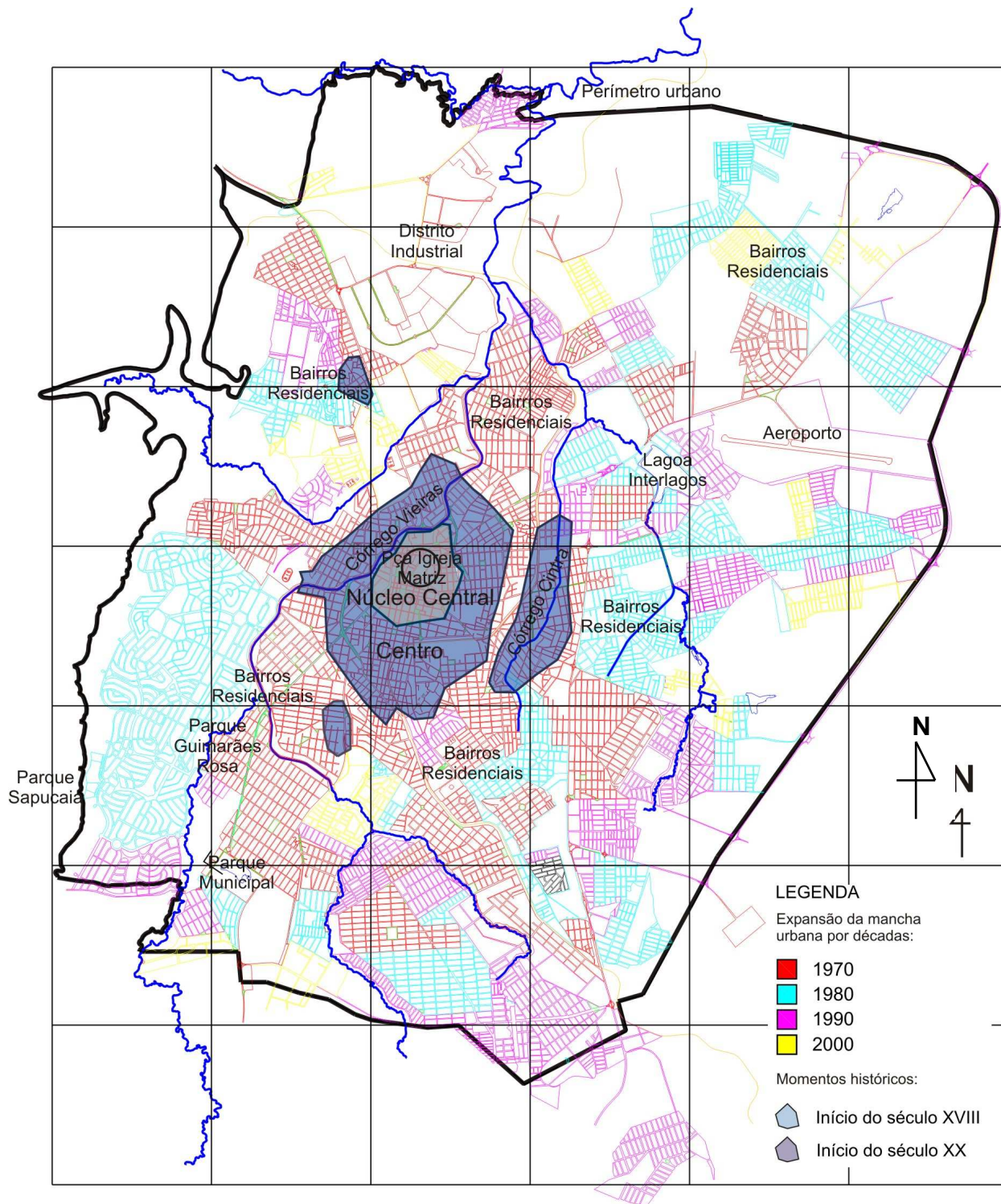
configuração de problemas urbanos, sociais e ambientais mais sérios³². A maior parte dos assentamentos subnormais concentra-se nas regiões leste e norte.

O núcleo central da cidade passou a dar sinais de sobrecarga, em parte pelo modo como o sistema viário foi estruturado, de forma muito dependente da região central; e em parte, pela grande concentração de atividades comerciais nesse local para atender à demanda do mercado regional.

Nos fins dos anos 90, a cidade passou por uma nova dinâmica de crescimento, impulsionada pela retomada do setor industrial e diversificação do setor terciário, como comentado anteriormente. Assim, atualmente, a expansão horizontal continua se desenvolvendo, especialmente na direção nordeste, principal vetor de crescimento atual, porém a ocupação deu-se nos vazios dentro do tecido urbano, como mostra a figura 22. A implantação de atividades de serviços, sobretudo Faculdades, fora da área central estimulou o desenvolvimento de novas centralidades nas diversas regiões da cidade.

A região central passou a expandir a suas atividades comerciais para limites bem maiores, especialmente próximo às avenidas sanitárias. Esse local é hoje um dos pontos de maior especulação imobiliária na cidade, o que vem acarretando seu processo de verticalização, formado por edifícios residenciais e comerciais.

³² O Levantamento PEMAS (2001) registrou um total de 1335 domicílios em situação subnormal na cidade sendo: 530 em áreas inundáveis, 445 em linhas de transmissão da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e 360 em Área de Preservação Permanente.



ESC: 1: 1.7500

Figura 22 – Fases do crescimento urbano do município.
 Fonte: elaborado pela autora com base no mapa da PMMC, 2005.

3.4.2 Análise do Plano Diretor atual

O primeiro Plano Diretor de Montes Claros é de 1970 e seu objetivo principal foi estabelecer as diretrizes de Zoneamento Urbano, Uso e Ocupação do Solo e Código de Obras.

Os Planos posteriores, o de 1977, Plano de Desenvolvimento Local Integrado (PDLI) e o de 1980, Plano Especial Cidades de Porte Médio (PECPM), são direcionados para o desenvolvimento urbano e para os problemas da cidade já industrializada, como implantação de infra-estrutura e a regularização fundiária.

O PDLI de 1977 já traz um diagnóstico detalhado, alertando sobre a falta de áreas verdes no município. Considerando que na época havia apenas 36,4 hectares de áreas verdes públicas dentro da malha urbana, o que representava 1,9 m² por habitante, o plano calculou um déficit de 92 hectares, com base na população da época e na recomendação de 12 m² por habitante. Como medida, foi proposto a criação de quatro parques urbanos: centro, leste, sul (locais hoje já urbanizados) e norte (Morro do Frade).

O plano já previa a necessidade da descentralização das atividades da área central e trazia medidas específicas para o local, dentre estas, a melhoria da arborização e a criação de uma grande área verde, incluindo a Praça Doutor Carlos e a área adjacente que hoje é um shopping popular. Ver figura 23.



Figura 23 – Vista da Praça Dr. Carlos e Shopping Popular ao fundo.
Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Os Planos Diretores subseqüentes de 91 e 95 já incorporam a nova mentalidade do planejamento urbano, baseada na participação popular. Em relação às questões ambientais, foco do trabalho, tais planos reafirmam a necessidade de criação de áreas verdes. O Plano Diretor (1991: 25) faz inclusive referência direta à necessidade destas para melhoria do clima:

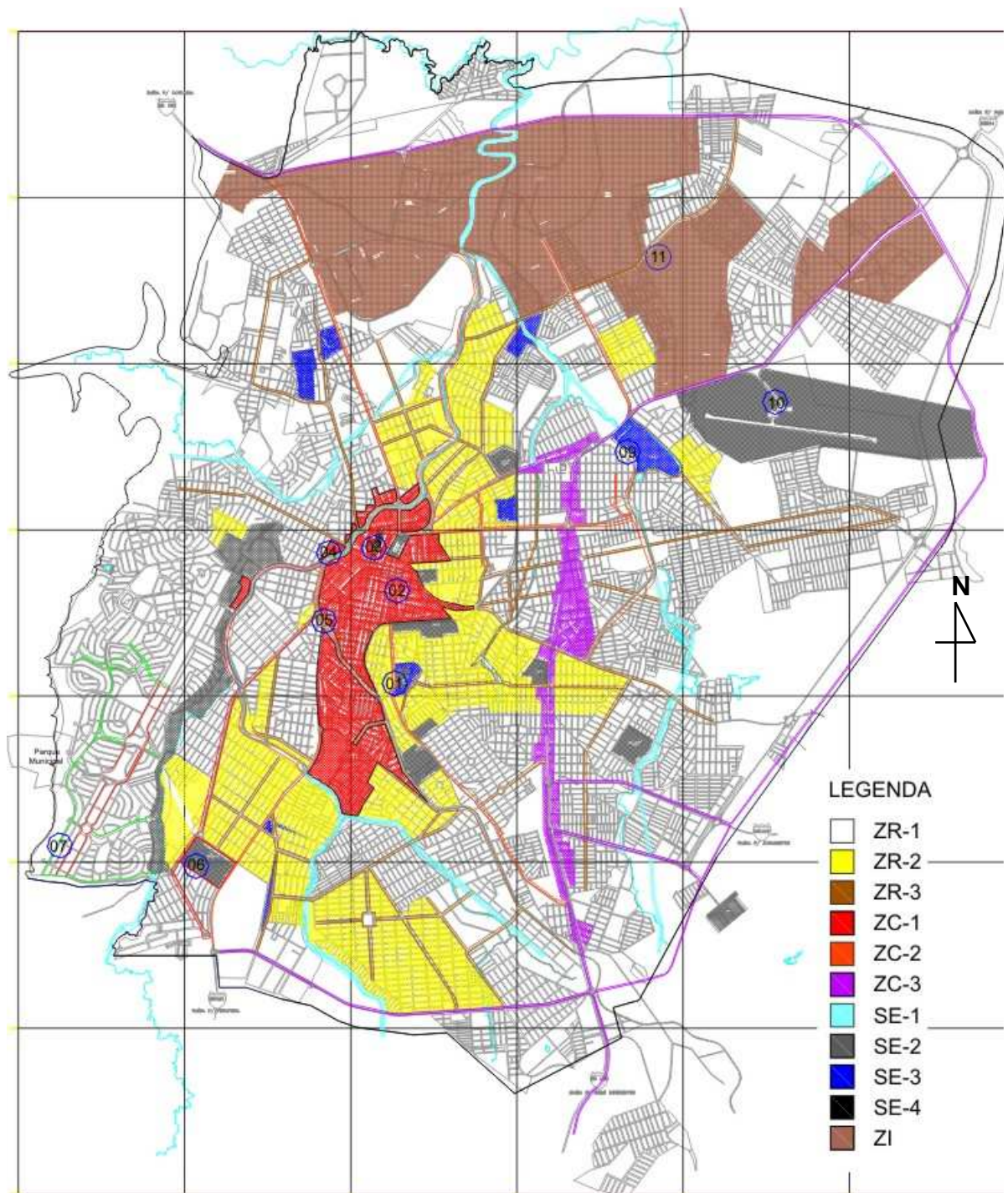
Por Montes Claros estar em área de clima quente e de forte insolação, com altas taxas de radiação térmica, o verde deixa de ser elemento apenas estético para ser reclamado como imperiosa necessidade, condicionador de ambiente de conforto.

O Plano Diretor atualmente em vigor no município é de 2001. Além de conservar todas as colocações sobre a implantação de áreas verdes, tal plano sugere a utilização das faixas *non aedificantis* dos córregos para a criação de parques.

Na lei de zoneamento são definidas seis zonas de uso distintas: residencial (ZR); comercial (ZC), industrial (ZI), setores especiais (SE), expansão urbana (ZEU), rural (ZRU).

Por sua vez, as zonas residenciais e comerciais subdividem-se em três grupos: ZR 1 a 3 e ZC 1 a 3 respectivamente. E os setores especiais em quatro, assim distribuídos: SE-1 áreas de preservação ambiental, SE-2 grandes usos institucionais, SE-3 projetos especiais como: sistema viário, infra-estrutura urbana, programas habitacionais e SE-4 preservação histórica. Como pode ser visto no mapa da figura 24.

Para cada uma dessas zonas são determinadas categorias distintas de uso. Assim, a partir das zonas e das categorias de uso são definidos os modelos de assentamento, de 1 a 14 que determinam os índices urbanísticos, tais como: afastamentos, coeficiente de aproveitamento e taxa de permeabilidade. O quadro-resumo 5 elaborado a partir da Lei de Uso e Ocupação do Solo do município mostra as diferentes categorias de uso e os respectivos índices permitidos.



LEGENDA

- | | | | | | |
|----------------|--------------------|--------------------|------------------|---------------------|-----------|
| 01 - Morrinhos | 03 - Matriz | 05 - Senac | 07 - ONG | 09 - Lg. Interlagos | 11 - INME |
| 02 - Catedral | 04 - Av. Sanitária | 06 - Pq. Municipal | 08 - Saída BR135 | 10 - Aeroporto | |

ESC: 1: 7.500

Figura 24 – Zoneamento do município.

Fonte: elaborado pela autora com base no mapa da Lei de Uso e Ocupação do Solo, 2001.

QUADRO 5

Modelos de Assentamentos baseados na Lei de Uso e Ocupação do Solo

Características	Gabarito máximo (metros)	Restrição Nº de Pavts	Taxa de Ocup.	Coef. de Aprov.	Afastamento lateral	Afastamento Fundos	<i>Afastamento Frontal</i>
MA-1 - Edificações de uso residencial (uma habitação por lote)	8	2	50%	1,00	0,00m	0,00m	3,00m
MA-2 - Edificações de uso residencial (Condomínios horizontais)	8	2	50%	1,00	0,00m	0,00m	3,00m
MA-3 - Edificações de uso residencial (Condomínios Verticais)	8	2	50%	1,00	0,00m	0,00m	0,00m
MA-4 - Edificações de uso residencial (Condomínio Horizontal-Vertical)	8	2	50%	1,00	0,00m	0,00m	3,00m
MA-5 - Edificações de uso múltiplo (comércio, serviço, residência)	8	2	50%	1,00	0,00m	0,00m	3,00m
MA-6 - Edificações de uso residencial (Condomínio Vertical)	15	Não há	60%	2,4	2,00m	2,00m	3,00m
MA-7 - Edificações de uso múltiplo (comércio, serviço, residência)	15	Não há	70%	2,0	Térreo e 2º Pav. =0,00m Demais = 2,00m (até cota 15,00m)	Térreo e 2º Pav =0,00 Demais =2,00	3,00m
MA-8 - Edificações de uso residencial (mais de uma habitação por lote, agrupadas verticalmente)	Não há	Mais de 5	40%	5,0	5,00m	5,00m	5,00m
MA-9 - Edificações de Uso Múltiplo (comércio, serviço, residência)	15	Não há	100%	4,0	Térreo e 2º Pav. = 0,00 Demais: 1,50	Térreo e 2º Pav =0,00 Demais=1,50m	0,00
MA-10 - Edificações de Uso Múltiplo (comércio, serviço, residência)	Não há	Não há	50%	6,0	3,00m	3,00m	3,00m
MA-11 a 13 - Edificações de uso industrial		2					
MA-14 - Edificações de uso institucional local	8	Não há	40%	1,2	5,00m	5,00m	5,00m
MA-15- Edificações de uso coletivo de grande porte	Não há	Não há	50%	4,0	5,00m	5,00m	5,00m

Fonte: elaborado pela autora a partir da Lei de Uso e Ocupação do Solo, 2001

4

MÉTODOS DE TRABALHO

4. MÉTODO DE TRABALHO

O capítulo apresenta o método de trabalho que foi construído a partir de um modelo empírico e estruturado da seguinte forma: primeiramente aborda-se a descrição dos pontos escolhidos para o estudo. Em seguida, tem-se a descrição do método utilizado para a pesquisa de campo, sendo que essa foi desenvolvida em duas partes. A primeira correspondente à determinação quali-quantitativa dos parâmetros físico-urbanísticos (superfícies de ocupação, densidade construída, fator de visão de céu, topografia) tomados para o estudo e definidos para a área ao entorno dos locais analisados e a segunda correspondente à medição *in loco* dos dados de temperatura do ar e umidade relativa.

Sequencialmente, o capítulo apresenta o método para a avaliação do conforto térmico nos pontos analisados.

Por fim, tem-se o método para a correlação entre os dados urbanísticos e climáticos trabalhados e o método para a criação dos cenários de ocupação.

4.1 Estrutura dos pontos

Foram escolhidos dez pontos que representam diferentes situações em termos das características ambientais e da ocupação urbanística, tais como: presença de massas d'água, cobertura vegetal, topografia, tipologia de uso, adensamento construtivo, gabarito das edificações.

Os pontos selecionados abrangem: nove na área urbana e um fora do perímetro urbano. Um aparelho foi mantido na estação do INMET. A figura 25 mostra a distribuição espacial dos pontos selecionados.

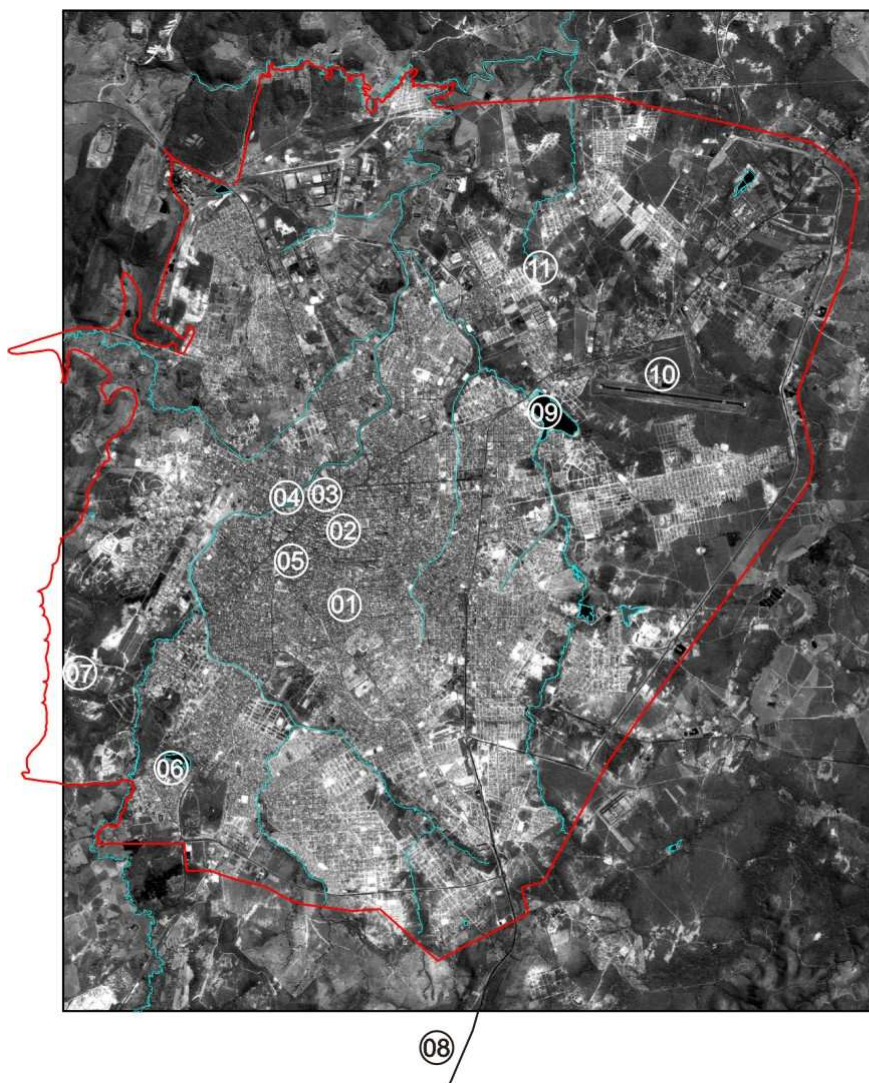


Figura 25 – Imagem de satélite IKONOS de 2000 com a sobreposição dos pontos medidos. Fonte: PMMC, 2000. (Adaptado pela autora).

Na área central foram escolhidos 5 pontos:

- **Ponto 1 - Alto dos Morrinhos**

O ponto do Alto dos Morrinhos (figura 26) foi escolhido por sua localização em um local com topografia mais acidentada na área central, com altitude de 695 metros. A região possui uma ocupação antiga e espontânea, com becos e ruas sinuosas, com predominância do uso residencial horizontal. Como a forma do parcelamento resultou em lotes mais estreitos, com pequeno afastamento frontal e quintal de fundos, é comum encontrar mais de uma habitação por lote.

Devido à condição topográfica, instalaram-se no local alguns serviços como estações de rádio, televisão (TV Globo local) e a estação da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). Quanto ao Zoneamento, a região encontra-se na zona de uso SE-2 (Grandes usos institucionais).



Figura 26 – Localização do ponto, Morrinhos.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

▪ **Ponto 2 - Praça Pio XII (Praça da Catedral)**

O local (figura 27) foi escolhido pelas características da ocupação adensada e pela conseqüente sensação de desconforto térmico propiciada. Assim como no restante da área central, a presença de ruas estreitas e grande densidade de edificações sem recuos frontais e com pequenos afastamentos laterais configuram os *canyons* urbanos. No local, predomina o uso comercial e a taxa de ocupação é elevada devido à especulação imobiliária.

Somando-se a isso, o local possui uma cobertura vegetal inexpressiva, grande impermeabilização do solo e intensa movimentação de veículos e pedestres. A altitude é de 645 metros.

Em relação ao Zoneamento, a região pertence à Zona Comercial 1.



Figura 27 – Característica da ocupação no ponto da Catedral.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

- **Ponto 3 - Dr. Chaves (Praça da Matriz)**

A Praça da Matriz (figura 28) foi escolhida por representar um dos poucos locais com arborização significativa no centro da cidade, no seu entorno há uma ocupação antiga com casarios históricos e ruas estreitas.

Porém, como está inserido na área central da cidade, o local caracteriza-se pela presença de ruas estreitas e acentuada densidade de edificações com pequenos recuos, volta a acontecer. Predomina o uso comercial. A altimetria do ponto de medição é de 630 metros. O local pertence à ZC-1.



(a)



(b)

Figura 28 (a) e (b) - Os distintos perfis de ocupação no local: a esquerda os calçadões centrais e a direita a Praça da Matriz.

Fonte: arquivo pessoal da autora.

- **Ponto 4 - Avenida Deputado Esteves Rodrigues (Avenida Sanitária)**

O ponto foi escolhido por situar-se no entrocamento de duas importantes avenidas sanitárias da cidade. O local é bastante impermeabilizado devido à canalização dos cursos d'água e à pavimentação excessiva. Pela figura 29 é possível visualizar que na avenida mais ao fundo o curso d'água está canalizado e na da frente o mesmo encontra-se enterrado.

Na margem direita da avenida predominam edifícios de uso comercial e residencial. Na margem esquerda (figura 29) estão inseridos bairros residenciais de baixa densidade. No lado direito da avenida o zoneamento é ZC-1, no lado esquerdo ZR-1.

O ponto de medição está na cota 630 metros.



Figura 29 – Ponto Avenida Sanitária.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

- **Ponto 5 – Avenida Deputado Esteves Rodrigues (Senac)**

Nessa região, o curso d'água do Vieiras está enterrado, por cima, foi criado um canteiro central arborizado. No local (figura 30), predomina o uso comercial e residencial. Sobretudo na margem esquerda da avenida, está ocorrendo um processo de verticalização com a implantação de edifícios comerciais e residenciais.

Na margem direita da avenida o zoneamento é ZC-1, na margem esquerda, ZR-2. Esse ponto assim como o anterior, situa-se nas cotas mais baixas da área central, 630 metros, representada justamente pelo fundo de vale do Córrego Vieiras.



Figura 30 – Avenida Sanitária, próximo ao Senac (à esquerda) onde se implantou o ponto de medição.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

Na região sudoeste colocou-se dois pontos:

- **Ponto 6 - Parque Municipal**

O parque (figura 31) possui uma vegetação densa com espécies do cerrado, o dossel da mata atinge cerca de 10 metros. O local possui ainda uma lagoa com significativo espelho d'água. O parque pertence à zona SE-2. O entorno do parque é formado por bairros residenciais de baixa densidade, cujo zoneamento se enquadra como ZR-1. A altimetria local é de 650 metros.



Figura 31 – Parque Municipal: a mata à frente e a lagoa ao fundo.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

▪ **Ponto 7 – Proximidade do Parque Sapucaia**

Optou-se, por facilidade de segurança, colocar o ponto de medição na Organização Não-Governamental (ONG) Vida Verde, que fica próxima ao parque. O local (figura 32) situa-se no pé da Serra do Ibituruna e apresenta uma cobertura vegetal bastante expressiva. Mesmo situado dentro do perímetro urbano, a densidade habitacional do local é muito baixa, predominando a ocupação por sítios de fins-de-semana. O Parque Sapucaia encontra-se nas encostas da serra. A altitude do ponto de medição é de 670 metros.

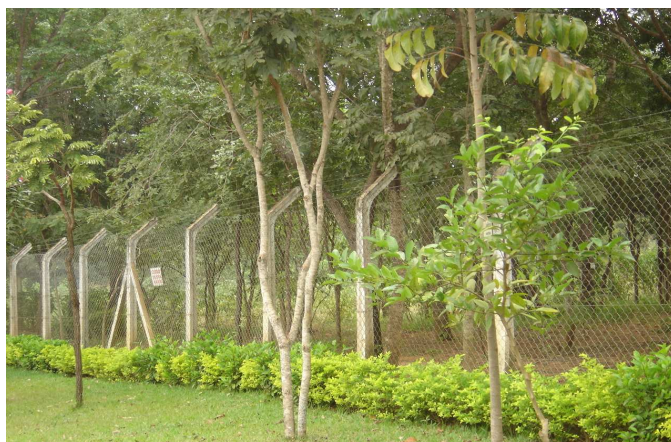


Figura 32 – Sítios presentes na região, ao fundo a vegetação nativa da Serra do Ibituruna.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

O ponto escolhido fora do perímetro urbano:

▪ **Ponto 8 – Saída BR 135**

Esse ponto foi escolhido por localizar-se fora do perímetro urbano. No local existem alguns galpões industriais, próximo aos quais localizou-se o aparelho. Pela figura 33 é possível visualizar a paisagem natural da região na estação seca. O ponto foi implantado na cota de 668 metros.

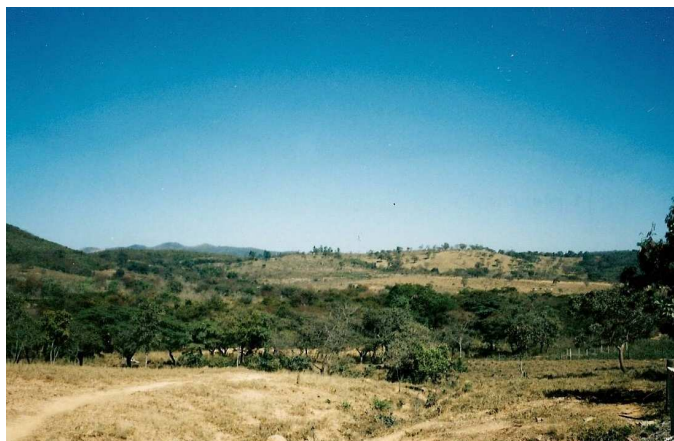


Figura 33 – Entorno ao ponto localizado fora do perímetro urbano.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

Na região norte da cidade:

▪ **Ponto 9 – Lagoa Interlagos**

Esse local foi escolhido por possuir a maior massa d'água da cidade (figura 34). Vários trechos da margem da lagoa ainda são formados por lotes vagos, no entorno predomina o uso residencial e comercial, especialmente restaurantes. A altimetria do ponto é 620 metros. As áreas públicas ao redor da Lagoa são SE-3, os bairros adjacentes pertencem à zona ZR-2.



Figura 34 – Ponto Lagoa Interlagos.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

▪ **Ponto 10 – Aeroporto**

O Aeroporto (figura 35) está localizado em uma região mais afastada da malha urbana, com a existência de uma cobertura vegetal bastante significativa. Praticamente, no local concentram-se apenas as edificações de suporte ao aeroporto. A altura do ponto é de 670 metros. Pertence à zona SE-2.



Figura 35 – Ponto Aeroporto.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

▪ **Ponto 11 – INMET**

A estação do INMET está localizada em um local mais isolado do campus do Núcleo de Ciências Agrárias da UFMG, com poucas edificações de entorno. Próximo ao local existe um bairro de baixa renda.

A cobertura vegetal é pouco significativa. A altura do ponto é de 646,29 metros.

4.2 Método para a análise dos padrões de ocupação físico-urbanística

Os parâmetros físico-urbanísticos escolhidos para o estudo basearam-se na abordagem teórica da ilha de calor. Com esse intuito, foram analisadas as seguintes variáveis:

1. Identificação das diferentes superfícies de ocupação e suas respectivas porcentagens.
2. Determinação da densidade construída.

3. Análise da geometria urbana através da determinação do Fator de Visão do Céu.
4. Caracterização da altimetria dos pontos estudados.

Para a análise desses parâmetros de ocupação foi estipulada uma área de 150 metros de raio ao redor do ponto de observação climática. Esse valor adotado foi baseado em constatações de estudos anteriores, embora, alguns autores, dentre estes, Duarte (2002), salientam que ainda não há consenso nos trabalhos de clima urbano, sobre o raio de influência da medição climática.

Mizuno et al (1990), da Universidade de Osaka, no Japão, estudando os efeitos da ocupação urbanística na distribuição horizontal da temperatura concluíram que o raio de influência das condições de uso do solo ao redor de um ponto varia de 50 a 200 metros.

Barbugli e Roriz (2004) trabalharam com análises de regressão linear para determinar o raio adequado de influência climática. Os autores partiram arbitrariamente de uma área com 250 metros de raio, variando-a progressivamente; as melhores correlações foram encontradas para uma área com raio de 150 metros.

A seguir são colocados os procedimentos para as análises dos padrões físico-urbanísticos.

4.2.1 Identificação percentual das superfícies da ocupação urbana

Foram identificadas para cada um dos locais estudados as diferentes superfícies da ocupação urbana. Essa identificação foi realizada através da projeção horizontal das áreas ocupadas por edificações, ruas, pavimentação, solo (natural e com brita), massas de água, grama e árvores (apenas porte arbóreo). A partir dessa classificação, e do respectivo percentual de cada um desses elementos, foi possível determinar a quantidade de superfícies permeáveis e impermeáveis para cada local estudado.

Como o município não dispõe de um levantamento aerofotogramétrico recente, o trabalho de interpretação visual da projeção horizontal das superfícies urbanas foi realizado através da imagem de satélite de alta resolução IKONOS datada de 2005,

combinado com os dados do mapa urbano e do cadastro imobiliário. Essas informações foram complementadas em um trabalho de campo que consistiu na identificação, sobre o mapa urbano e as fichas de quadra do cadastro imobiliário, da situação de cada edificação: atualização da área de projeção da edificação, presença de coberturas, anexos, quintais, anotação do número de pavimentos.

A utilização desse parâmetro torna-se importante, pois permite boas aproximações entre a classificação qualitativa e quantitativa das superfícies urbanas em função do uso do solo, apresentando assim a possibilidade de aplicação direta ao planejamento urbano.

Para cada superfície foi relacionada uma cor, como mostra o exemplo da figura 36. Nos casos em que parte das superfícies situavam-se abaixo de copas de árvores, considerou-se apenas a projeção das copas, que é no caso, a superfície mais externa, salvo apenas nas condições de acentuada transparência do vegetal.

Em seguida, calcularam-se as áreas de cada tipo de superfície através do programa Auto Cad®. O item 5.1.1 traz os resultados obtidos para esse parâmetro de análise.

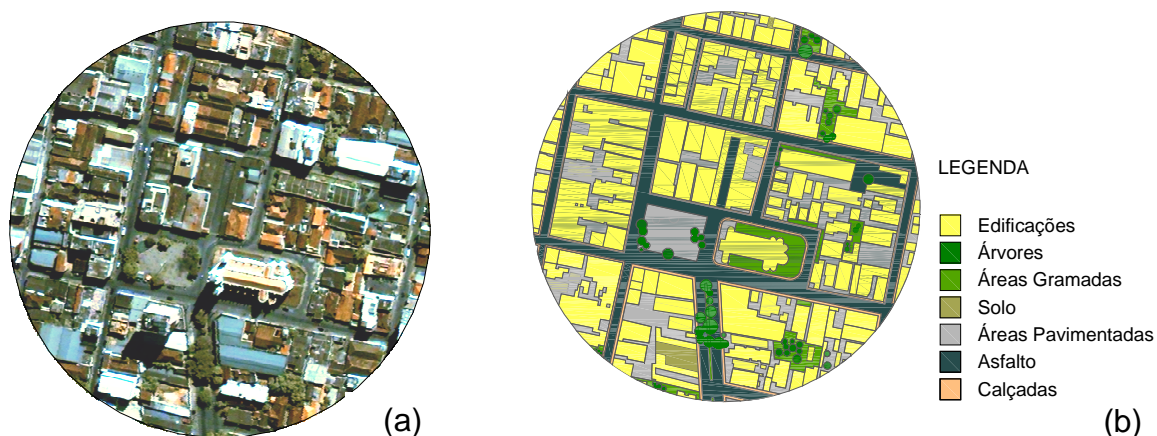


Figura 36 (a) e (b) – Exemplo determinação das superfícies.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

4.2.2 Determinação da Densidade Construída

A análise da densidade construída é um dos fatores mais relevantes para a compreensão da ilha de calor, isso porque permite uma avaliação direta da massa

edificada presente em cada amostra, que, conseqüentemente, estabelece relação com as propriedades termodinâmicas dos materiais, causa primária do fenômeno.

A densidade construída foi determinada no trabalho através da projeção das áreas edificadas, levantadas no item anterior (4.2.1), e do respectivo número de pavimentos de cada edificação obtidos através do trabalho de campo.

Esse parâmetro tem uma relação direta com a legislação urbanística, já que relaciona dois aspectos importantes da ocupação urbana: a quantidade de edificações por unidade de área e a respectiva altura (gabarito) dessas edificações, que estão relacionadas respectivamente à taxa de ocupação e ao coeficiente de aproveitamento.

Na determinação do número de pavimentos não se consideraram as sobrelojas e os terraços descobertos. No caso de edificações com pé direito maiores, como no caso das igrejas, foi feita uma estimativa da altura (interna) para depois associar ao respectivo número de pavimentos, considerando cada pavimento com 3 metros de pé direito.

Com isso, elaborou-se para cada área um mapa atribuindo uma tonalidade cromática para cada categoria altimétrica (número de pavimentos), o que auxiliou no desenvolvimento dos cálculos.

Optou-se por colocar o cálculo das coberturas separadamente já que estas não apresentam o mesmo desempenho térmico das estruturas edificadas, tendo em vista a inércia térmica. A figura 37 coloca um exemplo dessa classificação.

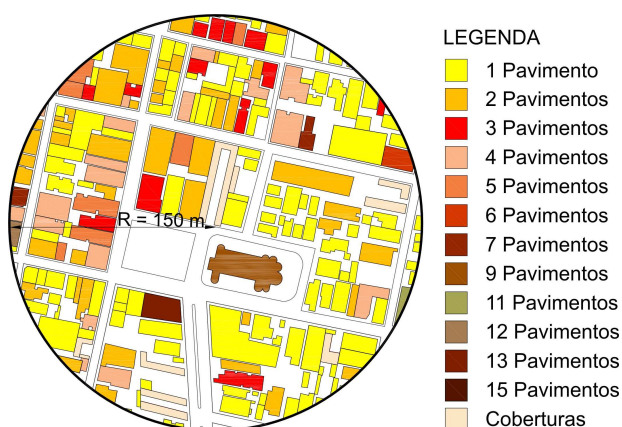


Figura 37 – Identificação do número de pavimentos de cada edificação.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

Primeiramente multiplicou-se a área total de cada categoria altimétrica pelo respectivo número de pavimentos e, em seguida, somaram-se todos os resultados obtidos chegando-se ao total da densidade construída por amostra. Para o cálculo utilizou-se a seqüência de equações apresentadas a seguir:

$$\text{Área total edificada} = \sum (\text{Área de cada categoria edificada} \times \text{Respectivo número de pavimentos}) + \sum (\text{Áreas cobertas})$$

Eq. [3]

$$\% \text{ Área edificada por amostra} = \frac{(\text{Área total edificada} \times 100)}{(\text{Área Total da Amostra})}$$

Eq. [4]

Os resultados obtidos para cada amostra encontram-se no item 5.1.2.

4.2.3 Determinação do Fator de Forma e do Fator de Visão do Céu

No trabalho analisou-se duas abordagens diferentes: o Fator de Visão de Céu e o Fator de Forma. O Fator de Visão de Céu indica a área efetivamente vista do céu a partir de um ponto, assim, o resultado desse parâmetro, refere-se à porcentagem entre a área de visibilidade de uma obstrução e a área total da abóbada celeste visível.

O Fator de Forma, refere-se à representação da abóbada celeste no plano horizontal, como mostra a figura 38, no qual os círculos concêntricos representam a altitude solar e os raios o azimute solar, assim é possível definir o ângulo sólido da visibilidade de uma obstrução em relação à abóbada celeste.

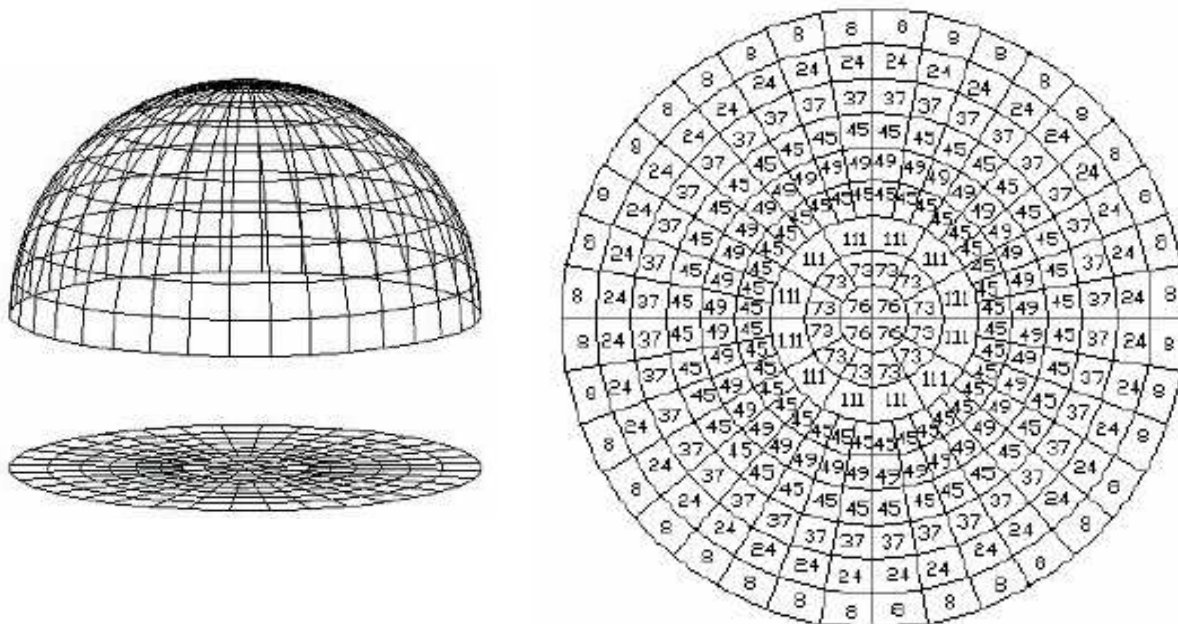


Figura 38 (a) e (b) – Em (a) representação esquemática da abóbada celeste, em (b) diagrama de fator de forma de projeção equidistante.
 Fonte: SOUZA, 1997.

Para a determinação desses parâmetros, foi utilizada a técnica das fotografias com lente olho-de-peixe, que representa um ângulo de 180° da cena fotografada.

Inicialmente, foram selecionados sobre o mapa das áreas estudadas os pontos que representam as várias tipologias de ocupação presente em cada local, para a respectiva determinação do fator de visão de céu e do fator de forma.

Os pontos foram localizados preferencialmente no meio das quadras de modo a representar as características geométricas médias, conforme Oke (1981). No entanto, escolheram-se também alguns pontos situados no meio das praças e em espaços abertos, para efeitos comparativos.

Assim, para cada ponto de observação foi tirada a fotografia utilizando-se a câmera fotográfica digital com a lente olho-de-peixe. A máquina foi nivelada de modo a projetar a cena de 180° a partir do solo. Marcou-se com fita adesiva um indicativo do Norte sobre a lente. Evitaram-se as ruas muito inclinadas.

De posse das imagens, o próximo passo foi marcar o contorno da área de céu visível através do programa de desenho Auto Cad®. Na demarcação foram desconsiderados os elementos não inerentes à paisagem urbana.

O FVC foi determinado, através de um procedimento de cálculo de área, usando como referência o contorno da área de céu visível de cada local em projeção equidistante. O valor do FVC, dado em porcentagem, foi obtido através da proporção

entre a área total do círculo correspondente à projeção da imagem e a área da obstrução, como ilustrado na figura 39 (a) para um exemplo. Os resultados dessa análise encontram-se no item 5.1.3.

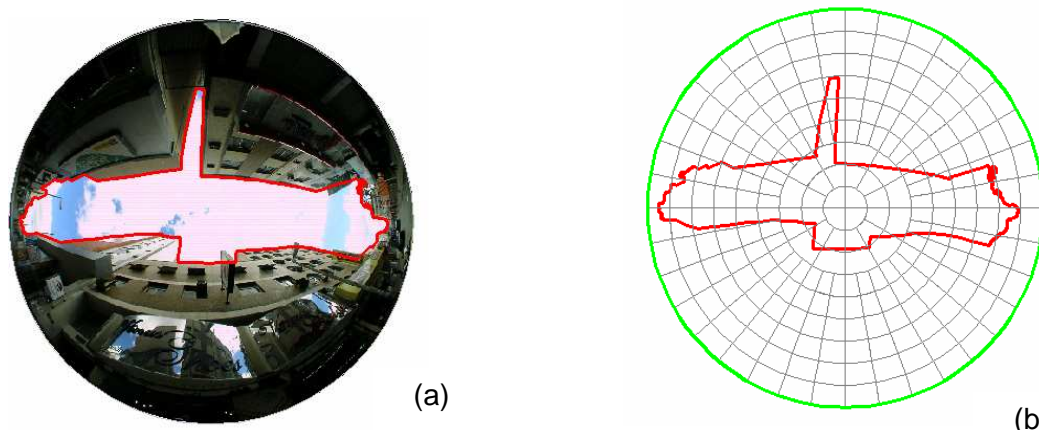


Figura 39 (a) e (b) – Imagem do local em projeção eqüidistante (a). Relação entre a área do círculo e a área da obstrução a partir do qual foram realizados os cálculos (b).
Fonte: arquivo da autora.

O Fator de Forma foi calculado conforme metodologia apresentada por Santos et al (2003 a), no qual utilizou-se o diagrama de fator de forma de Souza (1997) que representa a hemisfera celeste em projeção eqüidistante.

Assim, o desenho do contorno, figura 39 (a), foi sobreposto ao diagrama de fator de forma, colmo ilustrado na figura 39 (b) para o mesmo exemplo. Os círculos correspondentes à imagem da figura 39 (a) e do fator forma 39 (b) possuem a mesma área e foram sobrepostos no ponto central com referência (0,0,0).

Posteriormente, o desenho da obstrução e o diagrama do fator de forma são exportados, um após o outro, para o Sistema de Informação Geográfica (SIG) Mapinfo®. Como ambos os desenhos estão com as mesmas referências (0,0,0), estes se sobrepõem ao serem exportados para o SIG. Para cada um deles é associado um tabela de informações, assim especificada:

- A tabela de informações (ID) do fator de forma contém o valor de cada um das pequenas células que contém o diagrama.
- A tabela de informações (ID) da obstrução contém a área total do círculo externo e a área total do céu visível.

Finalmente, através de um procedimento de cálculo automático o SIG associa as duas informações e fornece a leitura do FVC. A figura 40 a seguir ilustra a área

de trabalho para o cálculo no Mapinfo®. O FVC pode ser visualizado no detalhe à esquerda. Os resultados dessa análise encontram-se no item 5.1.3.

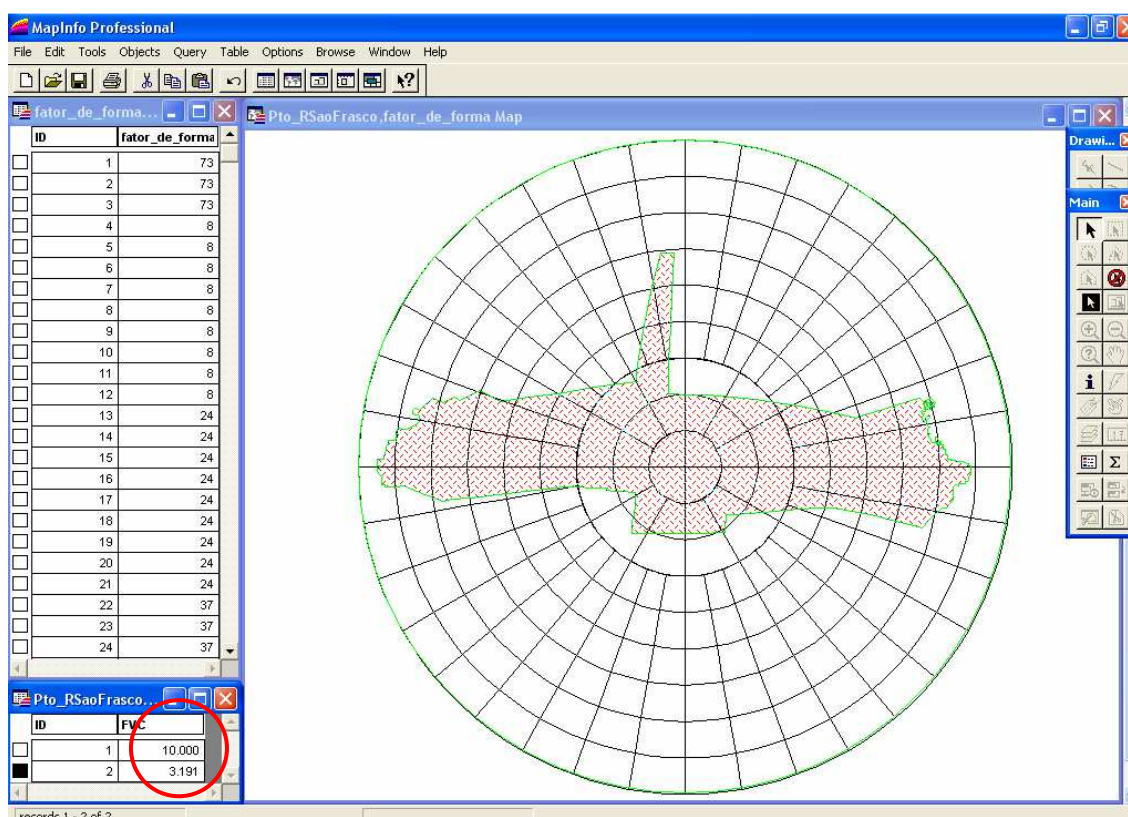


Figura 40 – Área de trabalho do Mapinfo®, no detalhe o FVC calculado automaticamente pelo SIG.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

4.2.4 Análise da Topografia

A determinação da situação topográfica de cada ponto é um importante fator para a compreensão do desempenho microclimático já que as diversas situações geomorfológicas determinam condições para a incidência solar e para os caminhos de ventos dominantes.

A partir do mapa digital da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), com as curvas de nível de cinco em cinco metros, elaborou-se o mapa hipsométrico da cidade. Assim, para cada categoria altimétrica associou-se uma cor correspondente, conforme a convenção cromática para a Cartografia Temática.

Enquanto os outros parâmetros urbanísticos utilizados na pesquisa resultam em análises quantitativas, a determinação das condições topográficas do ponto e sua posição no relevo local dão suporte para a compreensão qualitativa do fenômeno da ilha de calor, sobretudo no que diz respeito a influência nas condições de ventilação urbana. Os resultados dessa análise podem ser vistos no item 5.1.4.1.

4.3 Método para a medição das variáveis climáticas

4.3.1 Os instrumentos utilizados e a calibração dos equipamentos da pesquisa

A obtenção dos dados climáticos foi feita através de medições fixas. Para isso, foram escolhidos dez locais (mais o ponto situado no INMET) que representam distintas condições físico-ambientais e padrões de ocupação. A seleção desses pontos foi realizada a partir de visitas exploratórias a diversas regiões da cidade, e principalmente, através da base de dados da caracterização do município realizada no capítulo 3.

Para as medições climáticas utilizaram-se os aparelhos eletrônicos *dataloggers* do tipo HOBO[®] fabricado pela Onset, com precisão de 0,3°C. O modelo usado foi o HOBO RH/Temp H08-003-02, que mede dados de temperatura e umidade atendendo a uma faixa de -20 a 70°C e 25 a 95% respectivamente.

Antes da medição em campo, foi realizado um teste padrão para ajustar as leituras dos *dataloggers* utilizados. Para tanto, treze aparelhos foram programados e colocados em uma caixa térmica para medir os dados climáticos.

A variação da temperatura de cada um dos aparelhos é mostrada pelo gráfico 2, a partir do qual foi possível identificar o período médio de estabilização das leituras. Para esse período obteve-se:

- A temperatura média geral dos treze aparelhos.
- A temperatura média de cada um dos aparelhos isoladamente.

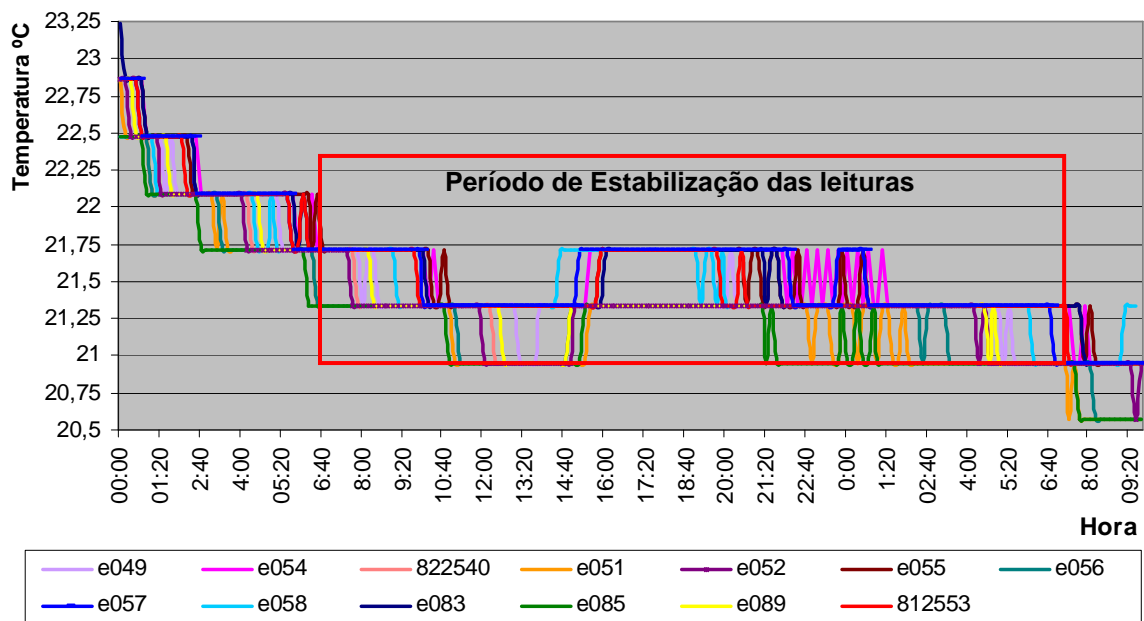


Gráfico 2 – Período de estabilização das medidas.

Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Com isso, selecionou-se o aparelho cuja temperatura média isolada mais se aproximou da média geral, tomando-o como referência. Para a pesquisa de campo foram escolhidos os aparelhos com menor diferença de temperatura em relação à média geral. Os resultados encontram-se na tabela 2.

TABELA 2
Relação para a padronização das medidas.

Aparelhos	Média (período de 06:40 / 07:10)	Dif. média geral	ΔT °C (Temp.ponto-Temp. ref)
e049	21,37	0,02	
e054	21,50	0,15	-0,13
822540	21,26	0,9	0,11
e051	21,15	0,2	0,22
e052	21,25	0,1	0,12
e055	21,48	0,13	-0,11
e056	21,20	0,15	0,17
e057	21,49	0,14	-0,12
e058	21,42	0,07	-0,05
e083	21,47	0,12	-0,1
e084	21,47	0,12	-0,1
e085	21,11	0,24	0,26
e089	21,28	0,07	0,09
812553	21,43	0,08	-0,06
Média geral	21,35		

Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Assim, as leituras dos *dataloggers* são padronizadas em relação ao de referência a partir da seguinte equação:

$$\text{Temp. final em cada ponto} = \text{Temp. registrada} + \Delta\text{Temp. referência} \quad [\text{Eq. 5}]$$

Para a proteção dos aparelhos foram confeccionados mini-abrigos em madeira. Tais abrigos têm paredes duplas contendo pequenas aberturas desencontradas entre uma parede externa e outra interna, permitindo assim, a livre circulação do ar, mas evitando a incidência solar direta. As superfícies internas foram revestidas com uma folha de alumínio. Os abrigos foram pintados na cor branca e apoiados em uma haste de madeira a 1,5 metros do solo, como mostra a figura 41.

Para a implantação dos mini-abrigos foram adotados critérios como a qualidade das medidas e a segurança dos equipamentos. Nesse intuito, procurou-se posicioná-los sobre o solo natural e à sombra, debaixo de beirais ou protegidos pelas copas de árvores, evitando-se assim o contato direto com os raios solares ou com paredes. Os abrigos foram fixados no chão devido à possibilidade de chuvas, rajadas de ventos e também por segurança. Escolheram-se, em cada local, pontos mais seguros, geralmente em espaços particulares.



(a)



(b)

Figura 41 (a) e (b) – Abrigo utilizado na pesquisa no ponto Senac.
Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Julgou-se necessária a realização de um teste para analisar o desempenho frente à medição climática do abrigo criado para a pesquisa. Assim, em um teste comparativo colocou-se o abrigo confeccionado ao lado do abrigo da estação do INMET.

O gráfico 3, a seguir mostra os dados de temperatura em um período de cinco dias consecutivos para o aparelho HOBO[®] colocado no abrigo da pesquisa e para o HOBO[®] colocado no abrigo do INMET. A maior diferença absoluta entre ambos foi de 1,14°C para as 12 e 13 horas. A maior diferença média foi de 0,53 °C com variações entre 0,25 e 0,33 °C.

Como as diferenças de temperatura encontradas foram inconstantes, julgou-se dispensável a adoção de medidas reparatórias como o aumento dos furos, por exemplo. E como se tornou difícil encontrar um fator de padronização, as variações entraram como margem de erro da pesquisa de campo. Contudo, vale ressaltar que todos os abrigos são idênticos, e, portanto, padronizados.

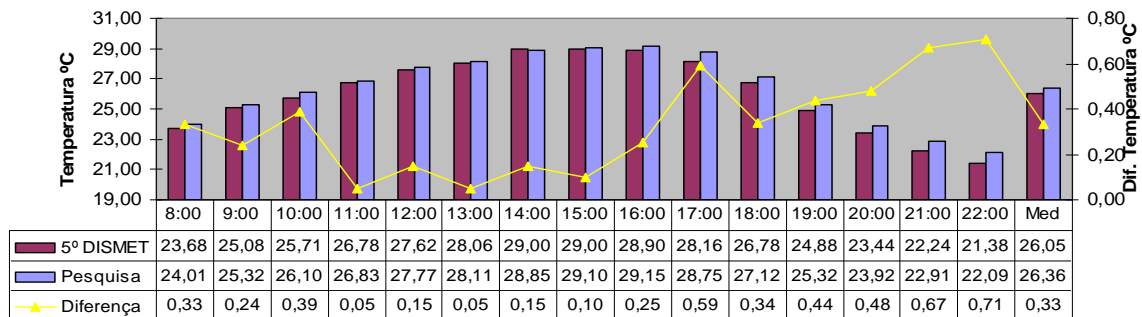
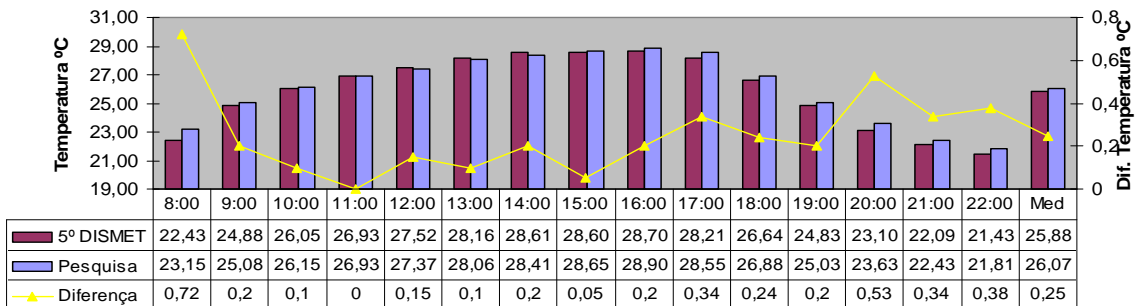
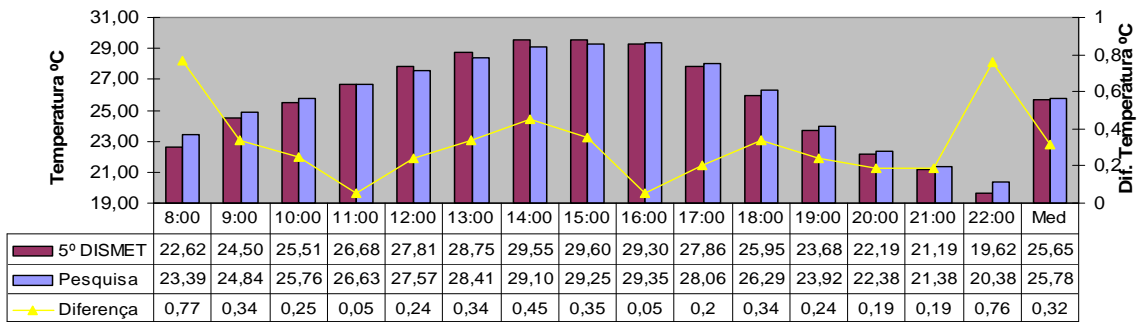
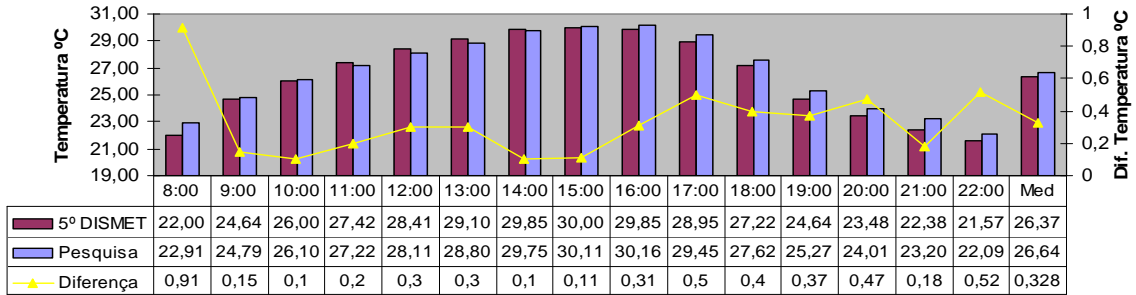
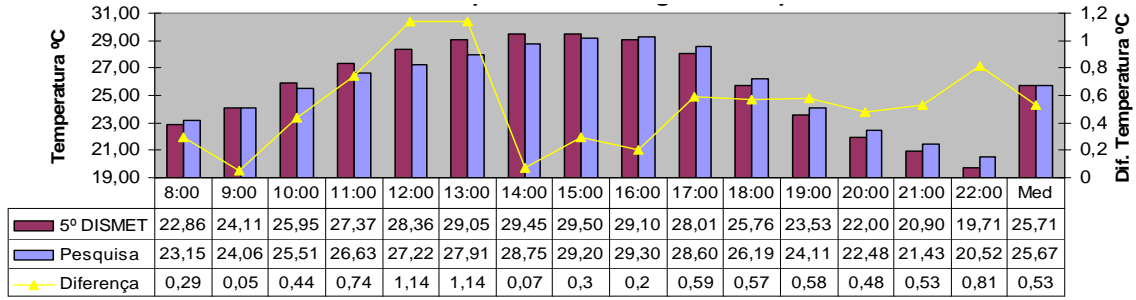


Gráfico 3 – Teste comparativo entre os dados de temperatura registrados pelo Abrigo da Pesquisa e pelo Abrigo do 5º DISMET para os cinco dias consecutivos.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

4.3.2 Método para o levantamento das variáveis climáticas (temperatura e umidade relativa)

As primeiras medições *in loco* foram realizadas em setembro de 2006. No entanto, ocorreram erros na leitura desses dados, que por isso foram descartados, servindo apenas como um teste piloto para a pesquisa de campo.

Primeiramente, foram realizadas medições em dois períodos típicos do clima da região: o verão quente e úmido e o inverno seco. No entanto, com o aumento da temperatura e o declínio acentuado da umidade no final de setembro, julgou-se pertinente fazer outra medição para incluir essa situação crítica.

Os dados foram coletados simultaneamente durante vários dias consecutivos, em um intervalo de 15 em 15 minutos.

Após a obtenção dos dados de temperatura do ar seco e umidade relativa foi realizada uma seqüência de procedimentos para torná-los válidos e operacionais à análise temporal e causal do clima urbano. Assim, o tratamento dos dados passou pela realização das seguintes etapas:

- Análise qualitativa no intuito de verificar possíveis erros da medição eletrônica ou alguma discrepância nas leituras.
- Comparação entre as leituras do *dataloger* colocado na estação do INMET e os dados oficiais medidos pelo INMET, o que possibilitou a aferição dos dados eletrônicos com os manuais.
- Seleção das leituras de hora em hora. Para estas, calculou-se a média aritmética diária de temperatura e umidade relativa.
- Comparativo entre as médias diárias do *dataloger* colocado no INMET e os dados das Normais Climatológicas, a partir do qual foi possível selecionar um período representativo para as três condições analisadas, como mostram os dados da tabela 3.
- Por fim, procedeu-se a padronização das leituras horárias de cada aparelho segundo a equação 5.

TABELA 3

Demonstrando a partir dos critérios descritos a escolha do período analisado

Período total de medição	Temp. Média Normais Climatológicas	Período escolhido para análise
VERÃO (02-01-07 a 11-02-07)	Janeiro: 23,5 °C Fevereiro: 24,0 °C	Dia 19-01 a 28-01
INVERNO (11-06-07 a 05-07-07)	Junho: 19,7 °C Julho: 19,4 °C	Dia 25-06 a 04-07
PRIMAVERA (18-09-07 a 01-10-07)	Setembro: 22,7°C	Dia 20-09 a 30-09

Fonte: arquivo pessoal da autora.

Julgou-se necessário fazer uma correção em função da diferença altimétrica no ponto “Morrinhos”, pois, como já colocado, a cada 100 metros de altitude na baixa troposfera há uma variação média de 0,65 °C na temperatura. Como a variação topográfica existente entre os pontos “Morrinhos” (695 metros) e “Interlagos” (620 metros) é de 75 metros fez-se uma correção considerando a variação proporcional de 0,49 °C. Assim, os próximos pontos mais elevados são “ONG” e “Aeroporto” (670 metros) o que corresponderia, pela mesma proporção, a uma variação de 0,32°C, aproximadamente dentro da mesma faixa de erro dos instrumentos que é de 0,30°C.

Para a análise dos resultados, que segue no Capítulo 5, trabalhou-se com os dados médios horários do período de dez dias estudados. O Apêndice 1 relaciona a análise climática de cada dia estudado com base nas leituras em três períodos do dia: 09:00, 15:00 e 21:00 horas, que coincidem com os horários utilizados pelo INMET.

Embora seja um dado relevante, a variável direção e velocidade do vento não foi medida na pesquisa de campo. Para esta, utilizou-se apenas os dados registrados pelo INMET.

4.4 Método para a Avaliação do Conforto Térmico exterior nos locais analisados

Como já colocado, a análise do conforto térmico em ambientes externos é mais complexa do que aquela em ambientes internos, uma vez que envolve uma maior variação das condições climáticas. As variáveis analisadas nos estudos do conforto térmico em espaços externos incluem a taxa de metabolismo, a vestimenta e a radiação solar. Porém, no trabalho não foram levantados os dados suficientes para uma avaliação do conforto, já que o mesmo, parte apenas dos dados de temperatura do ar e umidade relativa.

Dessa forma, a análise do conforto térmico foi realizada através do Diagrama Bioclimático de Givoni de 1992 associado à Carta Psicrométrica, já que neste utiliza-se os dados de temperatura do ar e umidade relativa.

A Carta Psicrométrica relaciona, no eixo das abscissas, a temperatura do ar e nas ordenadas, a umidade absoluta. Utilizou-se, no trabalho, uma Carta Psicrométrica desenvolvida em uma Planilha de Excel, portanto, para a colocação dos dados, em formato de coordenadas x e y, foi necessário calcular previamente os valores de umidade absoluta.

A umidade absoluta foi calculada pela equação 8 conforme metodologia apresentada por Assis (2001), tendo por base os valores da Pressão Atmosférica média mensal, considerada constante para cada mês, e a Pressão de Saturação, determinada pelas equações 6 e 7 a seguir:

$$P_{sat} = 6,23 \cdot \text{EXP}(T \cdot 0,0553) \text{ se } T > 25^{\circ}\text{C} \quad [\text{Eq. 6}]$$

$$P_{sat} = 4,98 \cdot \text{EXP}(T \cdot 0,0640) \text{ se } T \leq 25^{\circ}\text{C} \quad [\text{Eq. 7}]$$

$$UA = (UR/100) \cdot (622 \cdot P_{sat}) / (P_{atm} - P_{sat}) \quad [\text{Eq. 8}]$$

Onde:

P_{sat} é a pressão de saturação calculada em função da temperatura do ar, (mmHg).

UA é a umidade absoluta do ar, (g/kg ar seco)

P_{atm} é a pressão atmosférica média mensal, (mmHg).

Com isso, foram plotados sobre a Carta Psicrométrica e o Diagrama Bioclimático de Givoni, os pares de pontos psicrométricos, referentes à:

- *Média horária* de todos os pontos durante os dez dias de cada ciclo de medição.
- *Média diária* de todos os pontos durante os dez dias de cada ciclo de medição.
- *Média horária de 9:00, 15:00 e 21:00 horas* de todos os pontos durante os dez dias de cada ciclo de medição.
- *Medição das 9:00, 15:00 e 21:00 horas* registrada pelo INMET durante os dez dias de cada ciclo de medição.
- *Média diária* das Normais Climatologias do mês analisado.

A média diária das Normais Climatologias foi estimada de acordo com o método apresentado por Alucci (1992), a partir dos dados médios de temperatura máxima, média e mínima, e de umidade relativa média. Considera-se a massa d'água presente no ar constante, o que permite o desdobramento horário da umidade relativa. Os dados horários médios mensais de temperatura do ar são obtidos de acordo com a equação a seguir:

$$T = T_x - (T_x - T_n).j \quad [\text{Eq. 9}]$$

Onde:

T é a temperatura média mensal horária, (°C)

T_x é a temperatura média mensal das máximas, (°C)

T_n é a temperatura média mensal das mínimas, (°C)

j é o valor de ajuste da curva horária de temperatura, a partir da hora 0 até as 23 horas: 0,75; 0,78; 0,82; 0,87; 0,89; 0,96; 1,00; 0,93; 0,76; 0,57; 0,41; 0,28; 0,15; 0,11; 0,02; 0,00; 0,04; 0,08; 0,15; 0,46; 0,56; 0,64; 0,73; 0,70.

Os resultados são apresenta dos no item 5.3, a partir dos quais foi possível avaliar a situação do conforto térmico e a proposição de estratégias bioclimáticas, condizentes aos valores psicrométricos encontrados.

4.5 Método para Correlação entre as variáveis climáticas e urbanísticas

A regressão linear simples é um importante método estatístico para diagnosticar o grau de correlação entre duas variáveis que estão interrelacionadas. Nesse intuito,

foram realizados vários testes de regressão linear, utilizando os gráficos de dispersão entre as variáveis climáticas de temperatura e umidade relativa, (variáveis resposta ou dependentes) e as variáveis urbanísticas (explicativas ou independentes) na tentativa de compreender a intensidade e o período de influência destas últimas no comportamento higrotérmico.

Através da associação destas variáveis é possível gerar a equação da reta que relaciona esses dados. Como a equação obtida está em função de X e Y, esta pode ser utilizada para prognosticar outros cenários de ocupação, permitindo assim, o diálogo com o planejamento urbano.

Na equação linear, o valor R^2 (Fator de Determinação) mede descritivamente a proporção da variação de Y que pode ser explicada por X. Um valor de R-quadrado muito próximo de um, por exemplo, indica uma forte relação entre as duas variáveis, este coeficiente é sempre positivo.

O Coeficiente de Correlação (r) pode ser negativo ou positivo. Valores de (r) igual ou próximo de (1) ou (-1) implicam na maior correlação entre as variáveis, assim, no primeiro caso a relação é direta, enquanto que no segundo é inversa, valores próximos de zero, significam que existe pouco relacionamento entre as variáveis.

A montagem do método para a regressão linear é um importante passo para que os dados obtidos não sejam dispersos, o que possibilita que as equações geradas sejam confiáveis para a utilização no planejamento urbano. Assim, procurou-se adotar uma série de critérios para a montagem dos dados a serem correlacionados.

Em relação à base de dados climáticos, por exemplo, optou-se por utilizar apenas alguns dias considerados típicos para a formação da ilha de calor, ou seja, aqueles com baixa nebulosidade e velocidade do vento. Foi utilizado também a média desses dias analisados. O Apêndice 1, traz a imagem de satélite com a condição de nebulosidade dos dias selecionados e as tabelas 9, 10 e 11 informam a direção e velocidade de vento para os períodos analisados.

Dessa forma, foram selecionados os seguintes dias:

- Janeiro: 19, 21,22 e 26;
- Junho: 28,29,30 e julho: 02,03;
- Setembro: 20,23,28.

Em relação à base de dados urbanísticos foram feitas as seguintes considerações:

- Para a correlação com o Fator de Visão de Céu e Fator de Forma utilizou-se como referência apenas o valor do local mais representativo da geometria urbana de cada amostra. O ponto da ONG foi retirado da correlação justamente por apresentar elevada obstrução do céu em virtude da vegetação, o que está em desacordo com a abordagem desse parâmetro porque resulta em um processo de trocas térmicas diferentes.
- A correlação com a densidade construída foi feita utilizando-se todos os pontos.
- Para a correlação com a taxa de cobertura vegetal foram eliminados os pontos do INMET e da Lagoa Interlagos, pois, apesar de possuírem apenas 3% de cobertura vegetal (como será mostrado no capítulo 5), a temperatura nesses locais se mostrou mais amena por outros motivos, assim, optou-se por excluí-los da análise.
- Na correlação com as áreas impermeáveis eliminou-se apenas o ponto situado fora do perímetro urbano (Saída BR 135).

Para a análise dos resultados foram considerados apenas os coeficientes de determinação acima de 50%, o que implica em maior significância dos dados.

Os resultados encontrados foram agrupados em dois aspectos causais mais abrangentes: o primeiro diz respeito à análise das áreas construídas, que pode ser vista no item 5.4.1, e o segundo, à análise das áreas verdes e impermeabilizadas, vista no item 5.4.2.

Devido às similaridades do padrão de ocupação da área central, foram propostas também outras análises de correlação linear, baseadas apenas nos pontos situados nessa região. Os pontos escolhidos foram: Catedral, Matriz, Avenida Sanitária e Senac, todos estes são pertencentes à ZC-1 que concentra os índices urbanísticos menos restritivos. Os resultados encontram-se no item 5.4.3.

4.6 Método para a Proposição de outros cenários de Ocupação

No intuito de utilizar a capacidade preditiva das equações lineares geradas foram propostos alguns cenários de ocupação, tendo em vista o contexto do planejamento urbano. Nesse sentido foram propostos os seguintes cenários: um considerando a densidade construída máxima e outro considerando um incremento das áreas permeáveis.

No entanto, os resultados referentes ao cenário com a densidade construída máxima foram descartados da pesquisa, pois, as equações lineares utilizadas para essa análise se mostraram insuficientes para a compreensão o comportamento climático, uma vez que a relação entre as variáveis pode não ser linear. Porém, como o método elaborado poderá ser relevante no contexto de trabalhos futuros, que utilizem, por exemplo, a correlação linear múltipla, por isso, julgou-se importante manter aqui a sua descrição.

Em seguida, procurou-se avaliar as variáveis urbanísticas, utilizando como referência a temperatura-limite da zona de conforto térmico pelo Diagrama Bioclimático de Givoni que é de 29°C. Essas situações foram analisadas considerando-se apenas os pontos da área central: Catedral, Matriz, Avenida Sanitária e Senac.

4.6.1 Método para a criação do cenário com a densidade construída máxima permitida pela Lei de Uso e Ocupação do Solo do município

O cenário foi elaborado com referência nos índices menos restritivos permitidos pela Lei de Uso e Ocupação do Solo para o zoneamento dos locais analisados. A determinação da densidade construída foi feita em função do potencial construído de cada quadra, tendo por base os Modelos de Assentamento 4 para a ZR-1, MA-10 para a ZC-1 e MA-8 para a ZR-2 (conferir Quadro 4), como mostra a figura 42.

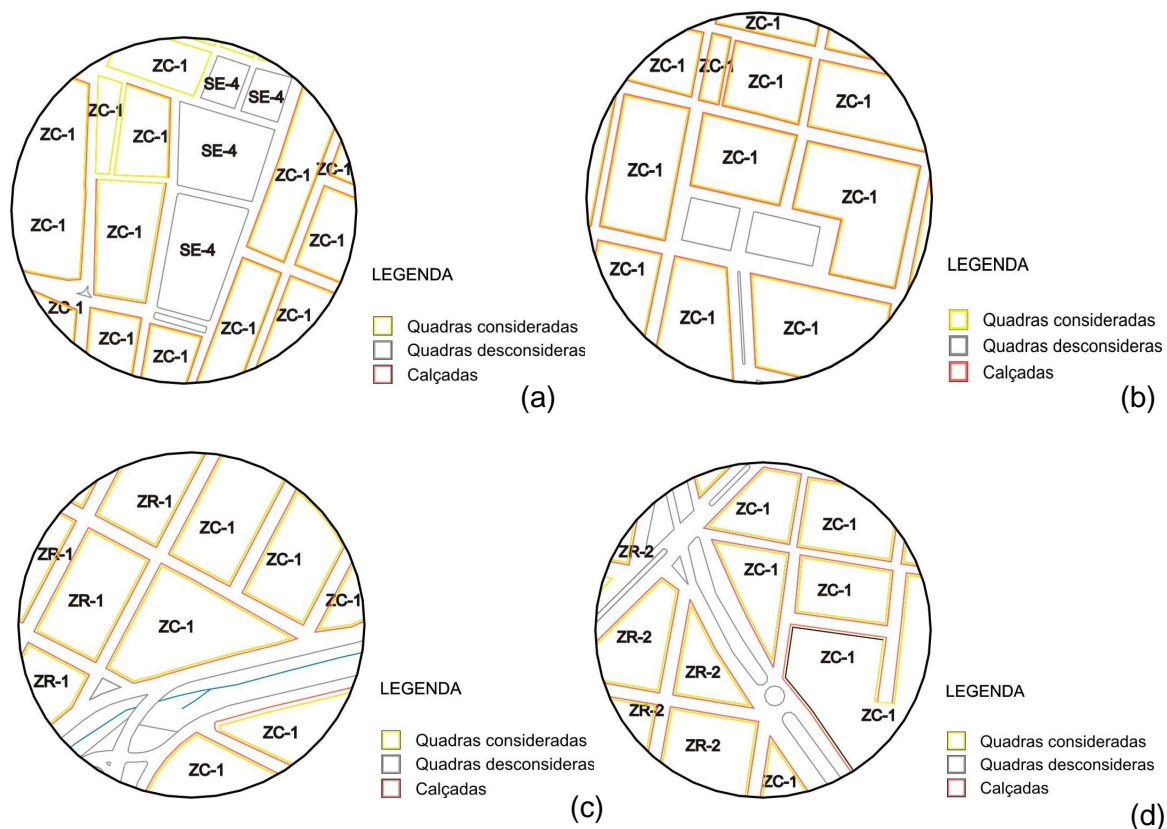


Figura 42 (a) a (d) – Zoneamento em cada quadra para Catedral (a), Matriz (b), Avenida Sanitária (c) e Senac (d).
 Fonte: arquivo pessoal.

Em seguida, calculou-se a área de cada quadra ao qual foram subtraídas as áreas de calçadas. A partir do valor encontrado, calculou-se a área de projeção das edificações tomando como base a taxa de ocupação máxima permitida para o zoneamento proposto. As quadras situadas em SE-4 são tombadas como patrimônio histórico do município, portanto, considerou-se para estas apenas a situação existente.

O cálculo do Coeficiente de Aproveitamento foi feito com base na área total de cada quadra, a partir deste, foi possível determinar o número de pavimentos através da seguinte equação:

$$\text{Nº de Pavimentos} = \text{Coeficiente de Aproveitamento} / \text{Taxa de Ocupação} \quad [\text{Eq. 10}]$$

Dessa forma, foi possível calcular a densidade construída máxima, através das mesmas equações (3 e 4), utilizadas para a determinação da densidade construída nas amostras estudadas, unificando assim a abordagem do parâmetro para que as correlações fossem estabelecidas.

4.6.2 Método para a criação do cenário com o aumento das áreas permeáveis

Propôs-se também outra possibilidade de ocupação, considerando o aumento das áreas permeáveis nesses pontos centrais.

Assim, elaborou-se um cenário hipotético, no qual, metade das áreas impermeáveis, exceto as áreas asfaltadas, fosse convertida em áreas permeáveis. A partir dos novos índices de áreas permeáveis encontrados, que podem ser visualizados na tabela 10, foram utilizadas as equações preditivas para a obtenção dos resultados (que podem ser vistos no item 5.5.1).

4.6.3 Método para a avaliação da temperatura-limite da zona de conforto térmico

Por fim, propôs-se a avaliação da temperatura-limite da zona de conforto térmico.

As equações preditivas geradas relacionam a variável Y em função de X, assim, colocando-se em Y o valor de 29°C, que é referente ao limite de temperatura da zona de conforto, pode-se estimar os índices urbanísticos (variável X) necessários para a manutenção das condições de conforto térmico.

Os resultados obtidos são mostrados no item 5.5.2.

4.7 Considerações Finais

O método de trabalho, exposto nesse capítulo, foi construído buscando atender aos objetivos pretendidos pela pesquisa. Os resultados e discussões referentes à esses itens são analisados e discutidos no capítulo a seguir.

5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O capítulo apresenta os resultados das variáveis físico-urbanísticas e dos dados climáticos medidos em campo. A partir da correlação entre estas variáveis (de acordo com o método exposto no Capítulo 4), foi possível discutir a implicação dos resultados e analisar os outros cenários de ocupação propostos. O capítulo apresenta também a avaliação do conforto térmico para os períodos analisados.

5.1 Resultados das Variáveis físico-urbanísticas

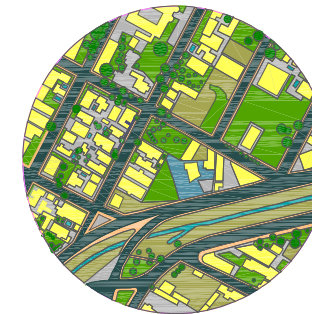
5.1.1 Identificação das diferentes superfícies de ocupação e suas respectivas porcentagens

A figura 43 apresenta o mapa de cada local trabalhado com a respectiva identificação das superfícies de ocupação. A tabela 4 relaciona as porcentagens das superfícies de ocupação encontradas em cada ponto.



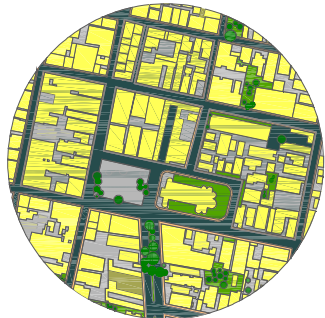
- LEGENDA
- Edificações
 - Árvores
 - Áreas Gramadas
 - Solo
 - Solo com brita
 - Áreas Pavimentadas
 - Asfalto
 - Calçadas
 - Corpos d'água

Figura 43 (a) – Ponto Morrinhos.



- LEGENDA
- Edificações
 - Árvores
 - Áreas Gramadas
 - Solo
 - Solo com brita
 - Áreas Pavimentadas
 - Asfalto
 - Calçadas
 - Corpos d'água

Figura 43 (d) – Ponto Avenida Sanitária.



- LEGENDA
- Edificações
 - Árvores
 - Áreas Gramadas
 - Solo
 - Áreas Pavimentadas
 - Asfalto
 - Calçadas

Figura 43 (b) – Ponto Cathedral.



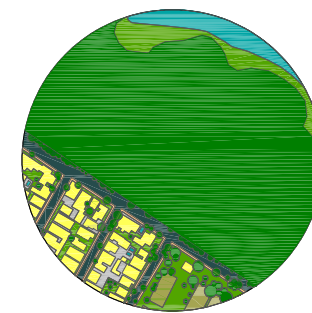
- LEGENDA
- Edificações
 - Árvores
 - Áreas Gramadas
 - Solo
 - Áreas Pavimentadas
 - Asfalto
 - Calçadas
 - Corpos d'água

Figura 43 (e) – Ponto Senac.



- LEGENDA
- Edificações
 - Árvores
 - Áreas Gramadas
 - Solo
 - Áreas Pavimentadas
 - Asfalto
 - Calçadas

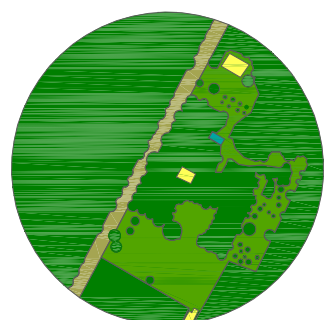
Figura 43 (c) – Ponto Matriz.



- LEGENDA
- Edificações
 - Árvores
 - Áreas Gramadas
 - Solo
 - Áreas Pavimentadas
 - Asfalto
 - Calçadas
 - Corpos d'água

Figura 43 (f) – Ponto Parque Municipal.

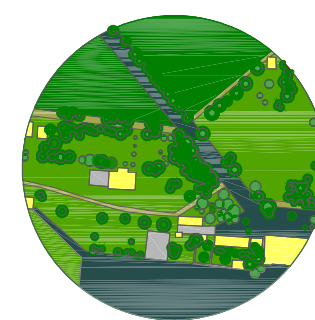
Continua ...



LEGENDA

- Edificações
- Árvores
- Áreas Gramadas
- Solo
- Corpos d'água

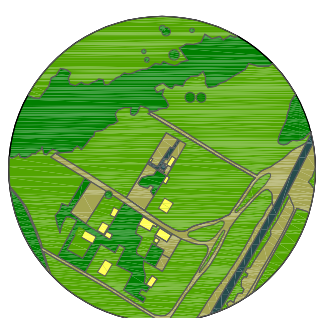
Figura 43 (g) – Ponto ONG.



LEGENDA

- Edificações
- Árvores
- Áreas Gramadas
- Solo
- Áreas Pavimentadas
- Asfalto

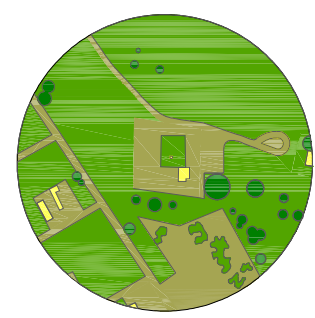
Figura 43 (j) – Ponto Aeroporto.



LEGENDA

- Edificações
- Árvores
- Áreas Gramadas
- Solo
- Asfalto

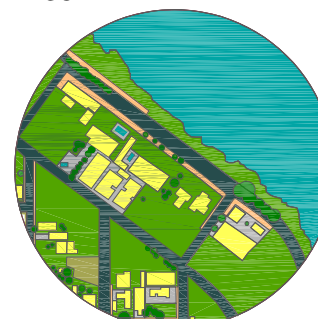
Figura 43 (h) – Ponto Saída BR 135.



LEGENDA

- Edificações
- Árvores
- Áreas Gramadas
- Solo

Figura 43 (k) – Ponto INMET.



LEGENDA

- Edificações
- Árvores
- Áreas Gramadas
- Solo
- Áreas Pavimentadas
- Asfalto
- Calçadas
- Corpos d'água

Figura 43 (i) – Ponto Lagoa Interlagos.

Figura 43 (a) a (k) – Identificação das Superfícies urbanas em cada amostra (raio= 150 metros).
Fonte: elaborado pela autora a partir da imagem de satélite IKONOS de 2005. PMMC, 2006.

TABELA 4
Identificação das superfícies de ocupação em %

Pontos de Medição	Total %	Área Edificada %	Áreas Permeáveis				Áreas Impermeáveis			Água %
			Árvores %	Gramma %	Solo %	Solo britado %	Calçadas %	Pvto. %	Asfalto %	
Morrinhos	100	19	11	25	10	4	3	15	12	1
Catedral	100	51	2	4	1	-----	6	20	16	-----
Matriz	100	33	13	10	2	-----	4	25	13	-----
Avenida Sanitária	100	19	6	17	13	1	7	15	20	2
Senac	100	22,6	6,8	14,8	2,1	1,2	7,6	16,20	28,5	0,002
Parque Municipal	100	7	69	11	1	-----	1	2	5	4
ONG (Parque Sapucaia)	100	1	77	17	5	-----	-----	-----	-----	0,013
Saída BR 135	100	1	22	63	12	-----	-----	-----	2	-----
Lagoa Interlagos	100	9	3	37	1	-----	3	3	12	32
Aeroporto	100	4	32	38	3	-----	-----	2	21	-----
INMET	100	1	3	70	26	-----	-----	-----	-----	-----

Fonte: Arquivo pessoal da autora.

De acordo com a tabela 4, verifica-se que os pontos situados na área central: Catedral, Matriz, Senac e Avenida Sanitária, apresentam, respectivamente, maiores percentuais de áreas edificadas e impermeáveis. Já os pontos situados nas áreas periféricas: Parque Municipal, ONG, Aeroporto e INMET possuem menor percentual de áreas edificadas e maior índice de áreas permeáveis.

5.1.2 Determinação da Densidade Construída

A tabela 5 relaciona os dados de densidade construída obtidos para cada amostra. Estes resultados foram calculados a partir das equações 3 e 4 apresentadas no capítulo 4 (Método de Trabalho). A figura 44 mostra o resultado da determinação

(em campo) do número de pavimentos de cada edificação para cada amostra analisada.

TABELA 5
Identificação da Densidade de ocupação em %

Pontos de Medição	Densidade de ocupação (%)
Morrinhos	24
Catedral	124,71
Matriz	72,68
Avenida Sanitária	35,14
Senac	67,81
Parque Municipal	8,61
ONG (Parque Sapucaia)	0,84
Saída BR 135	1,11
Lagoa Interlagos	9,23
Aeroporto	5,36
INMET	0,79

Fonte: Tabela desenvolvida pela autora.

Como visto na tabela 5, as maiores densidades construídas foram obtidas para os quatro pontos centrais: Catedral, Matriz, Avenida Sanitária e Senac.

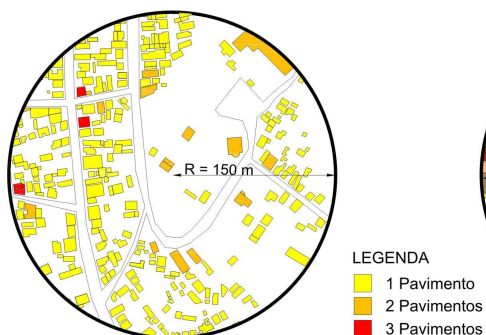


Figura 44 (a) – Ponto Morrinhos

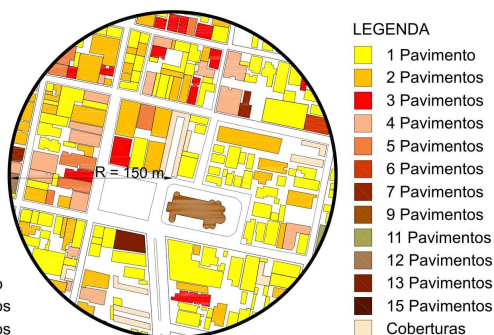


Figura 44 (b) – Ponto Catedral

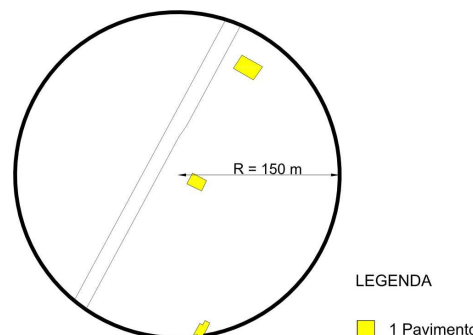


Figura 44 (g) – Ponto ONG

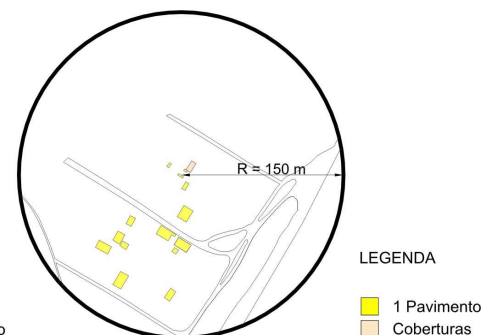


Figura 44 (j) – Ponto Sad. BR 135

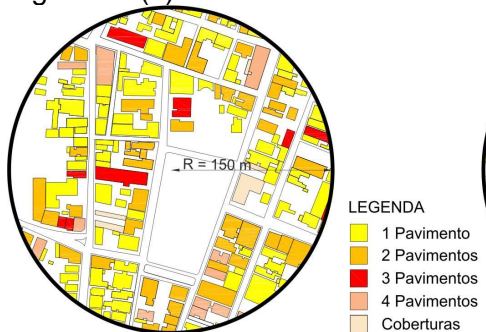


Figura 44 (c) – Ponto Matriz



Figura 44 (d) – Ponto Av. Sanit.



Figura 44 (h) – Ponto Lagoa Interlagos

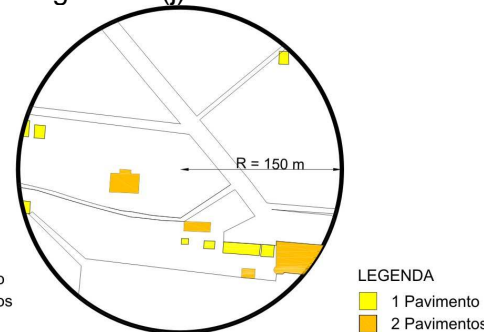


Figura 44 (k) – Ponto Aeroporto

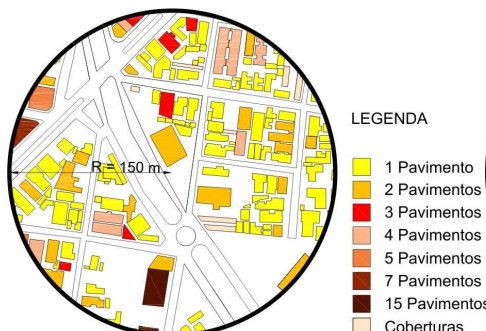


Figura 44 (e) – Ponto Senac

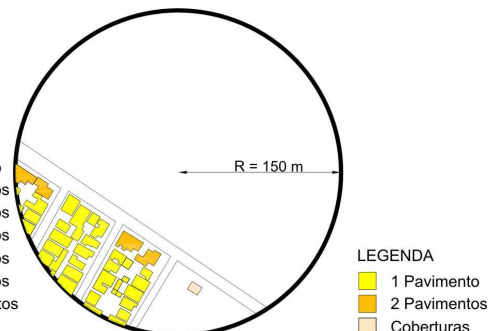


Figura 44 (f) – Ponto Pq. Munc.

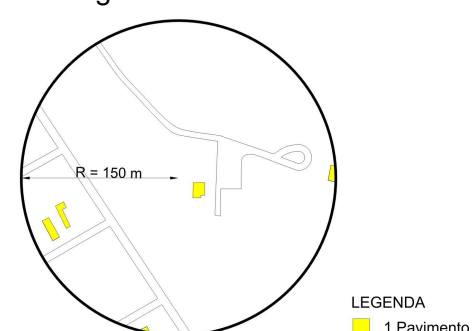


Figura 44 (i) – Ponto INMET

Figura 44 (a) a (k) – Gabarito de cada edificação para a identificação da Densidade Construída (Raio = 150 metros).
 Fonte: Arquivo pessoal da autora.

5.1.4 Determinação do Fator de Forma e do Fator de Visão do Céu

A figura 45 mostra as imagens obtidas com a fotografia em lente olho-de-peixe e a respectiva delimitação da área céu visível, determinadas de acordo com a metodologia. Os valores do FF e FVC encontram-se respectivamente nas tabelas 6 e 7. A partir da tabela, é possível perceber que os dois pontos mais centrais da cidade: Catedral e Matriz possuem os menores percentuais de céu visível.

TABELA 6
Identificação do Fator de Forma (FF) em %

Pontos de Medição	FVC 1 (%)	FVC 2 (%)	FVC 3 (%)	FVC 4 (%)
Morrinhos	87,3	87,4	-----	-----
Catedral	31,9	56,7	62,8	76,1
Matriz	60,8	50,3	74,2	-----
Avenida Sanitária	85,0	69,7	-----	-----
Senac	72,6	57,0	-----	-----
Parque Municipal	72,7	15,0	-----	-----
ONG (Parque Sapucaia)	55,6	-----	-----	-----
Saída BR 135	93,9	-----	-----	-----
Lagoa Interlagos	88,9	-----	-----	-----
Aeroporto	81,6	-----	-----	-----
INMET	-----	-----	-----	-----

Fonte: Tabela desenvolvida pela autora

TABELA 7
Identificação do Fator de Visão de Céu (FVC) em %

Pontos de Medição	FVC 1 (%)	FVC 2 (%)	FVC 3 (%)	FVC 4 (%)
Morrinhos	61,66	64,23	-----	-----
Catedral	18,87	35,73	37,47	53,38
Matriz	39,52	29,41	50,83	-----
Avenida Sanitária	65,55	50,88	-----	-----
Senac	47,21	34,13	-----	-----
Parque Municipal	49,12	10,62	-----	-----
ONG (Parque Sapucaia)	38,71	-----	-----	-----
Saída BR 135	74,93	-----	-----	-----
Lagoa Interlagos	68,87	-----	-----	-----
Aeroporto	60,62	-----	-----	-----
INMET	-----	-----	-----	-----

Fonte: Tabela desenvolvida pela autora

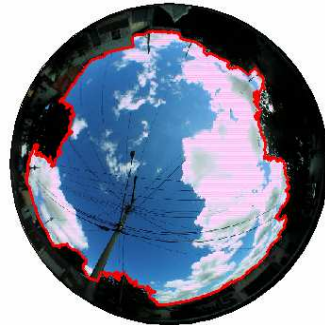
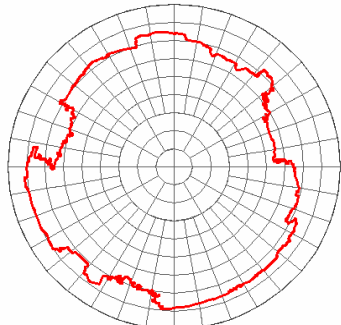


Figura 45 (a) – Ponto Morrinhos (Rua Melo Viana) – FVC e FF 1

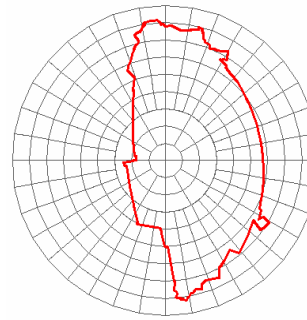


Figura 45 (d) - Catedral (Rua Cel. Joaquim Costa) – FVC e FF 2

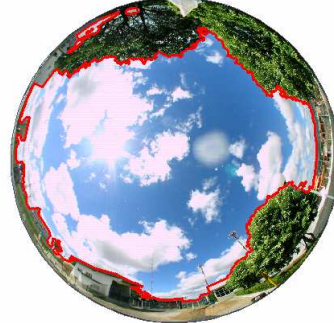
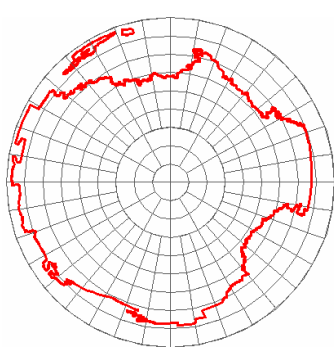


Figura 45 (b) - Morrinhos (Copasa) – FVC e FF 2

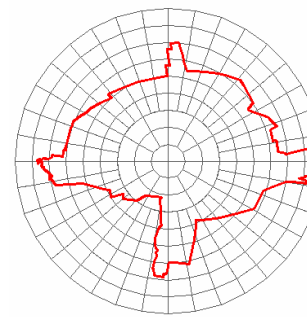


Figura 45 (e) - Catedral (Rua Lafetá) – FVC e FF 3

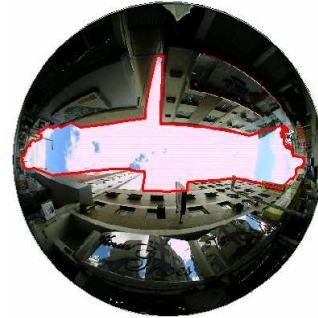
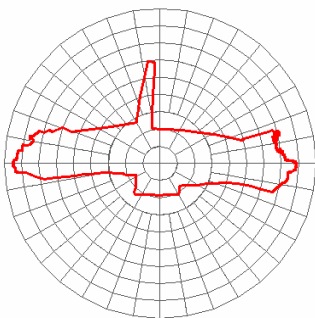


Figura 45 (c) - Catedral (Rua São Francisco) – FVC e FF 1

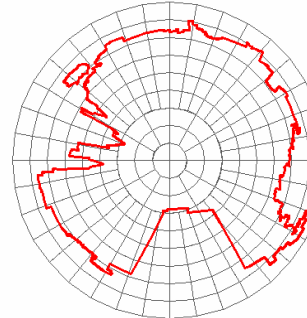


Figura 45 (f) - Catedral (Praça da Catedral) – FVC e FF 4

Continua ...

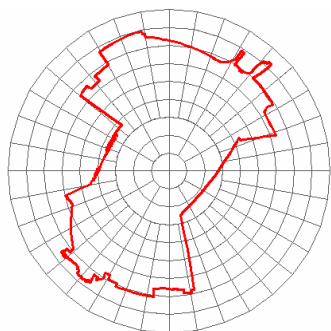


Figura 45 (g) - Matriz (Rua Camilo Prates) – FVC e FF 1

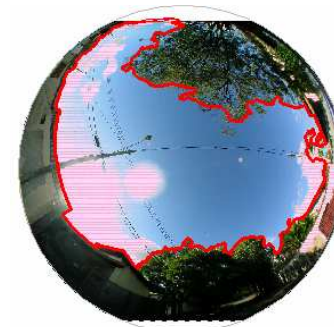
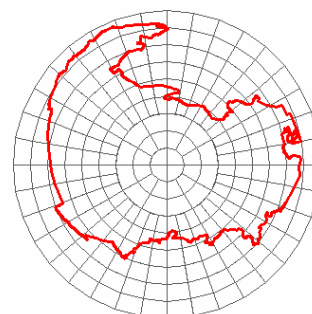


Figura 45 (j) – Pq. Municipal (Rua Oswaldo Nobre) – FVC e FF 2

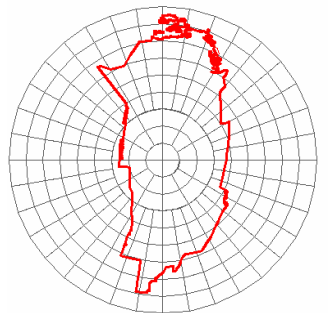


Figura 45 (h) - Matriz (Rua Simeão Ribeiro) – FVC e FF 2

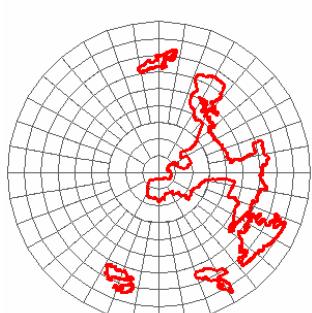


Figura 45 (k) – Pq. Municipal (Parque) – FVC e FF 3

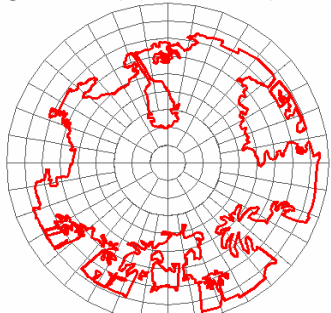


Figura 45 (i) – Matriz (Praça) – FVC e FF 1

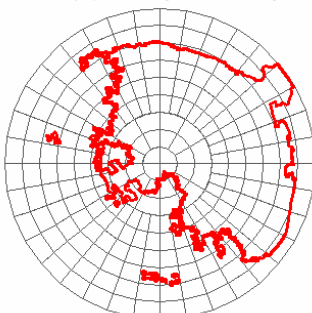


Figura 45 (l) – Imediações Pq. Sapucaia (ONG) – FVC e FF 4

Continua ...

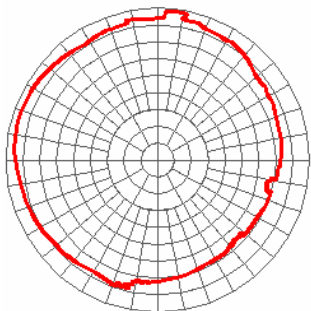


Figura 45 (m) – Saída BR 135

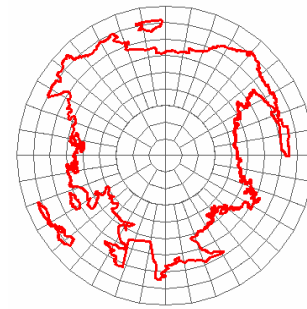
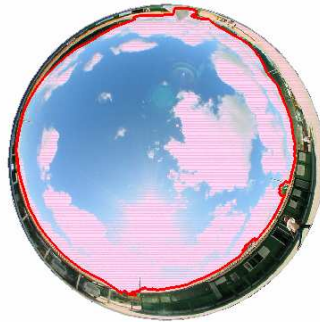


Figura 45 (p) - Senac (Avenida Sanitária) – FVC e FF 1

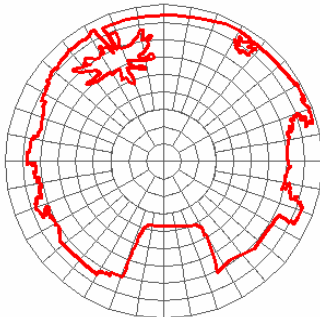


Figura 45 (n) - Avenida Esteves Rodrigues (entroncamento com Avenida Corrêa Machado) – FVC e FF 1

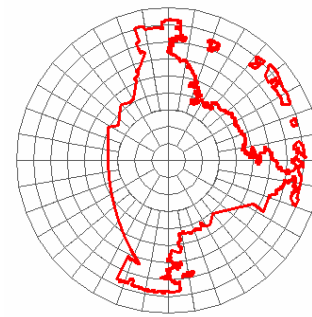


Figura 45 (q) - Senac (Rua Bauxita) – FVC e FF e FF 2

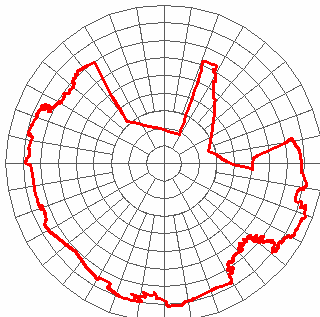
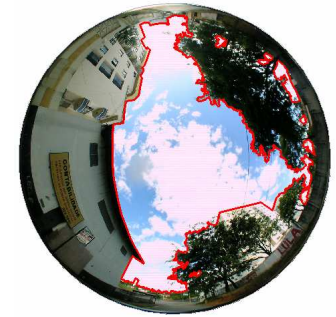


Figura 45 (o) - Avenida Esteves Rodrigues (R. São Carlos) – FVC e FF 2

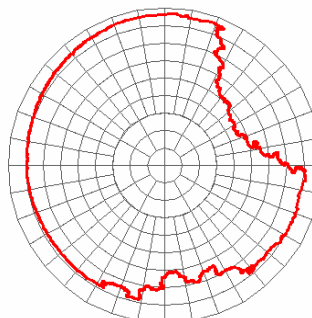
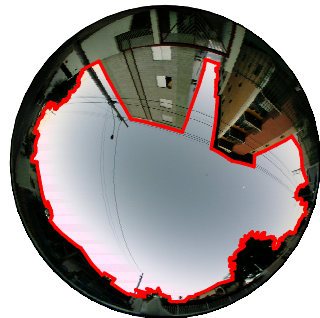


Figura 45 (r) - Lagoa Interlagos



Continua ...

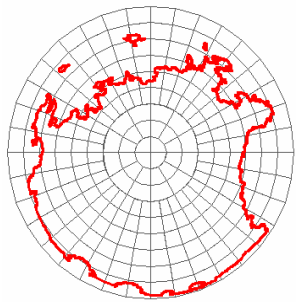


Figura 45 (s) – Aeroporto
 Figura 45 (a) a (s) – Determinação do FF e FVC em cada ponto.
 Fonte: Arquivo pessoal da autora.

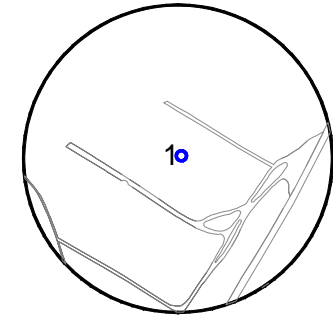
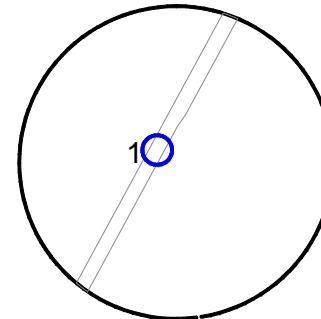


Figura 46 (e) – Prox. Pq. Sapucaia

Figura 46 (f) – Conserva

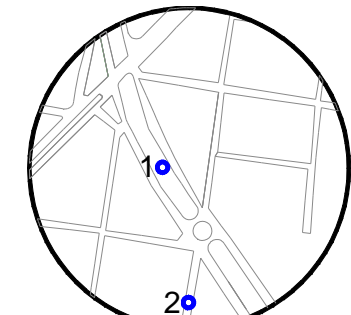
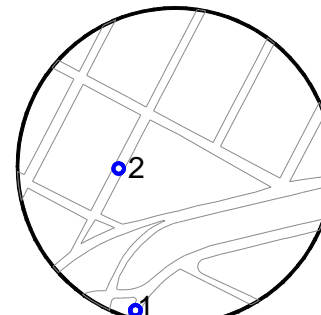
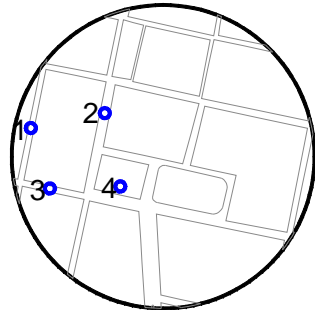
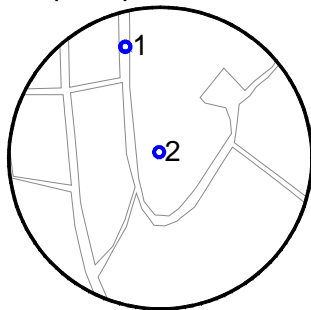


Figura 46 (a) – Morrinhos

Figura 46 (b) – Catedral

Figura 46 (g) – Av. Sanitária

Figura 46 (h) – Senac

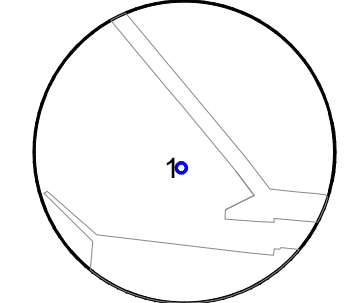
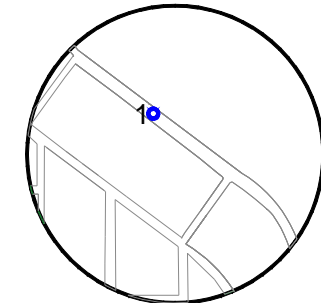
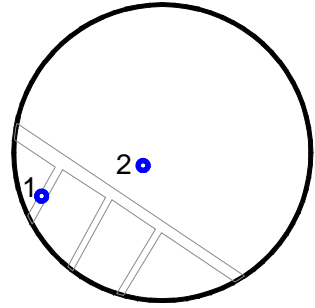
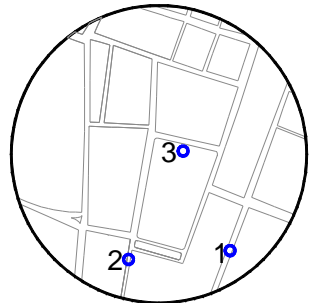


Figura 46 (c) – Matriz

Figura 46 (d) – Pq Municipal

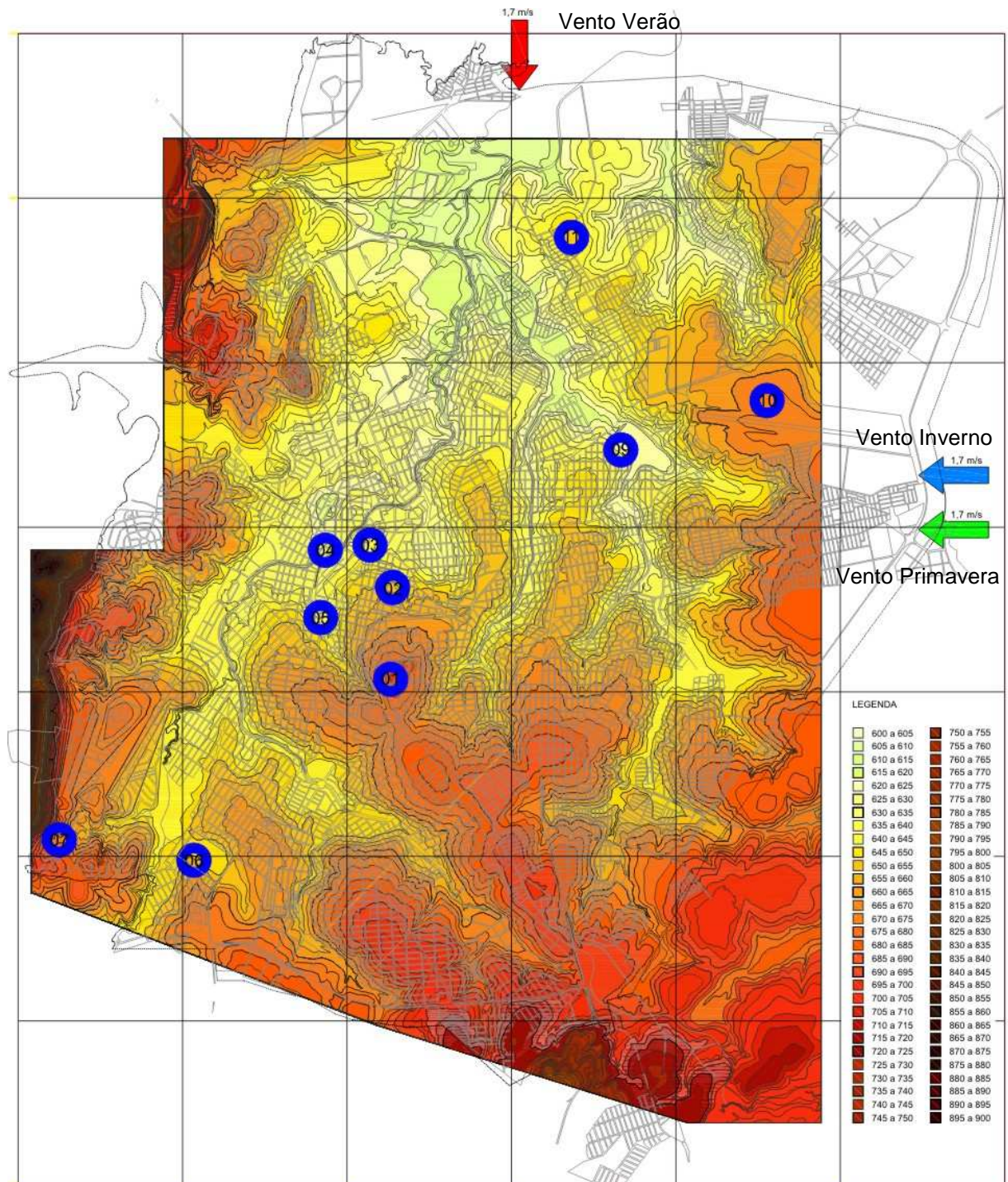
Figura 46 (i) – Lagoa Interlagos

Figura 46 (j) – Aeroporto

Figura 46 (a) a (j) – Localização dos pontos do cálculo do FF e FVC.

Fonte: Arquivo pessoal da autora.

5.1.4 Caracterização da altimetria dos pontos estudados.



LEGENDA

- | | | | | | |
|----------------|--------------------|--------------------|------------------|---------------------|------------|
| 01 - Morrinhos | 03 - Matriz | 05 - Senac | 07 - ONG | 09 - Lg. Interlagos | 11 - INMET |
| 02 - Catedral | 04 - Av. Sanitária | 06 - Pq. Municipal | 08 - Saída BR135 | 10 - Aeroporto | |

Esc: 1:7.500

Figura 47 – Mapa topográfico.

Fonte: Elaborado pela autora a partir do mapa urbano da PMMC e das cotas topográficas da COPASA.

5.1.4.1 Análise da Topografia e dos ventos

A partir da identificação da condição topográfica de cada ponto e sua posição em relação à direção do vento dominante, foi possível analisar a influência da morfologia do relevo na ventilação urbana. Porém, como a direção e velocidade de vento não foram medidas, trabalhou-se apenas com hipóteses gerais.

Com isso, percebeu-se que mesmo apresentando uma morfologia relativamente plana, há na cidade um significativo efeito do vento e da topografia sobre a temperatura. Considerando essas condições, as situações analisadas foram classificadas em quatro casos distintos:

- Os pontos da área central: Avenida Sanitária, Senac, Matriz e Catedral encontram-se localizados no fundo de vale do Córrego Vieiras. Teoricamente, os fundos de vale apresentam temperaturas mais amenas, mas no caso específico, é nessa região que ocorrem as temperaturas mais elevadas, justamente pela modificação do ambiente natural.
- Os pontos periféricos situados a nordeste da cidade: INMET e Aeroporto, possivelmente possuem temperaturas mais amenas, também pelo fato de localizarem-se em um planalto mais elevado em relação ao centro e com poucas barreiras ao vento fresco dominante que penetra a cidade.
- O ponto localizado na ONG (Parque Sapucaia) apresenta uma condição peculiar na malha urbana, já que localiza-se no sopé da Serra do Ibituruna, que é o maior elemento do relevo da cidade. Essa condição, associado aos outros fatores já analisados, justificam o microclima mais ameno percebido nesse local.
- A situação topográfica dos Morrinhos. Mesmo localizado próximo à área mais adensada, a temperatura neste ponto aparece mais amena, justamente em função de sua altitude, livre de barreira para os ventos dominantes. No entanto, em certas situações, a elevação proporcional de sua temperatura pode ser justificada pela maior exposição à incidência solar.

5.2 Resultados das Variáveis climáticas (Temperatura e Umidade relativa)

Como descrito na metodologia, foram realizadas medições climáticas em três períodos distintos: janeiro, junho/julho e setembro. Os dados foram analisados para um período estável de 10 dias consecutivos.

No primeiro período que vai do dia 19 a 28 de janeiro, as condições do tempo foram de céu claro e aberto. Ocorreram precipitações contínuas a partir do dia 28 de janeiro, também foram registradas chuvas na semana antecedente ao período analisado. A tabela 8, a seguir, mostra os dados registrados pela estação do 5º DISMET para os dias analisados.

TABELA 8

Dados de Temperatura, Umidade, Velocidade e Direção dos ventos medidos pela estação do 5º DISMET para os dias analisados em janeiro/2007

JANEIRO/ 2007												
Dias medidos	T Ar (°C)			UR (%)			Veloc. Vento (m/s)			Dir. Pred. Vento		
	9 hs	15hs	21hs	9 hs	15hs	21hs	9 hs	15hs	21hs	9 hs	15hs	21hs
19	26,3	32,6	25,8	61	40	73	0,8	1,6	0,8	SE	NW	E
20	26,7	31,5	23,2	49	37	74	2,5	2,0	1,0	NE	N	W
21	26,2	33,4	25,6	61	38	74	0,8	1,6	1,5	NE	NW	W
22	24,5	33,5	27,8	81	40	67	0,8	2,0	1,1	N	NE	W
23	25,0	27,9	25,2	76	67	83	4,3	2,1	1,6	N	N	S
24	25,4	27,4	23,2	71	67	81	2,8	2,3	1,1	NE	N	W
25	25,7	25,2	23,2	74	71	84	2,0	1,3	1,1	NE	SW	S
26	26,4	33,0	27,2	73	42	68	1,6	2,0	1,0	NE	N	N
27	27,2	27,7	26,0	68	65	82	1,3	2,0	1,1	NE	SW	W
28	21,8	28,5	24,0	95	67	83	1,6	2,0	1,1	S	N	N
Média período	25,1	28,7	24,5	74	59	80	1,8	1,7	1,3			
Média Mensal	24,9 °C			74%			1,7			N		

Fonte: Desenvolvido pela autora a partir dos dados fornecidos pelo 5º DISMET.

A medição de **junho/julho** que foi realizada entre os dias 25 e 30 de junho e de 1 a 4 de julho, ocorreu sob céu aberto. A partir de 4 de julho houve um declínio da temperatura devido à entrada de uma frente fria. Não houve chuvas no período. A

temperatura média normal do mês de julho e junho são respectivamente as mais amenas do ano.

Nesse período, há uma maior amplitude térmica diária, caracterizado pela ocorrência de temperaturas amenas pela manhã e elevadas na parte da tarde. A temperatura mínima registrada durante a noite varia entre 11 e 13°C e a máxima entre 28 a 30°C.

A umidade declina consideravelmente nesse período e a estação seca prolonga-se até o mês de outubro quando são registrados os percentuais mais baixos de umidade do ano. A tabela 9, a seguir, mostra os dados medidos pela estação do INMET para os dias analisados.

TABELA 9

Dados de Temperatura, Umidade, Velocidade e Direção dos ventos medidos pela estação do 5º DISMET para os dias analisados em junho-julho/2007

JUNHO- JULHO/ 2007												
Dias Medidos	T Ar (°C)			UR (%)			Veloc. Vento (m/s)			Dir. Pred. Vento		
	9hs	15hs	21hs	9hs	15hs	21hs	9hs	15hs	21hs	9hs	15hs	21hs
25	20,2	27,7	20,0	66	37	67	1,3	2,8	1,3	E	NE	E
26	20,6	26,6	19,0	63	37	66	2,0	3,5	1,0	E	NE	E
27	18,0	27,0	19,4	66	40	70	1,3	3,0	1,3	E	NE	E
28	18,8	27,0	20,8	71	44	61	1,5	1,6	1,1	W	SW	E
29	18,3	28,1	20,0	64	32	59	1,1	2,0	0,8	E	N	E
30	19,0	28,3	21,3	63	37	62	1,0	0,8	0,7	SE	NW	E
01	18,8	28,8	19,6	63	33	57	0,5	3,6	0,8	SE	E	E
02	19,0	27,4	19,8	62	28	52	0,8	2,6	1,3	SE	NE	SE
03	18,8	27,8	20,2	68	40	71	0,8	3,3	1,3	SE	N	N
04	19,9	25,8	19,0	69	49	77	0,7	2,6	1,3	W	E	NE
Média período	19,14	27,45	19,91	65,5	37,7	64,2	1,1	2,58	1,09			
Jun. Méd. Mensal	20,9			56			1,6			E		
Jul. Méd. Mensal	20,5			60			1,7			E		

Fonte: Desenvolvido pela autora a partir dos dados fornecidos pelo 5º DISMET.

A medição de **setembro**, que vai do dia 20 ao dia 30 do mês, ocorreu sobre céu claro e aberto. Nessa época, houve um período acumulado de vários meses sem chover e as queimadas tornaram-se eventos comuns na região.

O mês registrou temperaturas altas, que associado às condições de baixa umidade, ocasionou acentuadas sensações de desconforto térmico. Essa situação

de seca se prolongou até o mês de outubro, quando as temperaturas, inclusive noturnas, alcançaram os valores máximos do ano.

Os dados registrados pela estação do INMET para esse período estão relacionados na tabela 10 a seguir.

TABELA 10

Dados de Temperatura, Umidade, Velocidade e Direção dos ventos medidos pela estação do 5º DISMET para os dias analisados em setembro/2007

SETEMBRO/ 2007												
Dias Medidos	T Ar (°C)			UR (%)			Veloc. Vento (m/s)			Dir. Pred. Vento		
	9hs	15hs	21hs	9hs	15hs	21hs	9hs	15hs	21hs	9hs	15hs	21hs
20	21,8	32,4	22,8	49	13	36	2,5	2,3	0,8	E	NE	E
21	22,9	31,8	23,8	42	20	34	3,3	2,3	1,5	NE	NE	N
22	22,7	31,5	24,8	53	18	42	3,5	1,6	0,8	NE	NE	E
23	24,0	33,0	25,6	47	21	38	3,0	1,3	1,0	NE	S	E
24	25,7	37,2	26,9	43	18	37	1,1	4,0	1,1	SE	SE	N
25	28,0	30,4	22,6	44	40	63	3,3	4,8	2,3	E	E	E
26	23,0	27,3	21,6	49	39	57	4,8	4,3	3,1	NE	NE	E
27	22,8	26,4	21,6	52	40	60	3,6	4,6	1,0	E	E	E
28	23,4	30,6	24,3	56	28	54	2,8	2,0	1,1	E	NE	N
30	25,2	31,1	25,0	56	37	53	2,5	3,3	2,1	NE	NE	E
Média Período	23,95	31,17	23,9	49,1	27,4	47,4	3,04	3,05	1,48			
Média Mensal	23,2			45			2,7			E		

Fonte: elaborado pela autora a partir dos dados fornecidos pelo 5º DISMET.

O Apêndice 1 apresenta a análise dos dados climáticos de cada dia medido, usando como referência os três horários de leitura utilizados pelo INMET: 09:00, 15:00 e 21:00 horas.

A análise do campo térmico urbano deve ser realizada em um período de 24 horas, assim, os gráficos 4, 5 e 6, a seguir, mostram evolução horária da temperatura nos três períodos medidos. Para cada horário, calculou-se a média dos dez dias de medição.

Da mesma forma, os gráficos 7, 8 e 9 mostram a evolução horária da umidade relativa, considerando a média dos dez dias analisados durante os três períodos de medição.

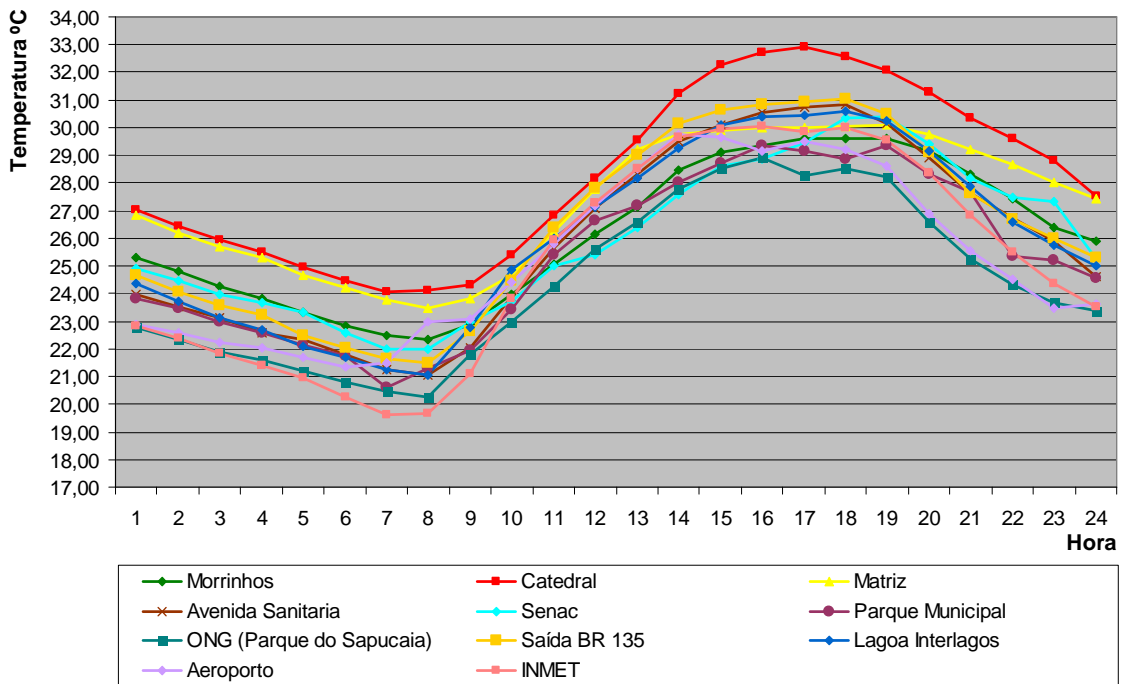


Gráfico 4 – Média horária da temperatura durante os dez dias de medição de janeiro de 2007.

Fonte: arquivo pessoal da autora.

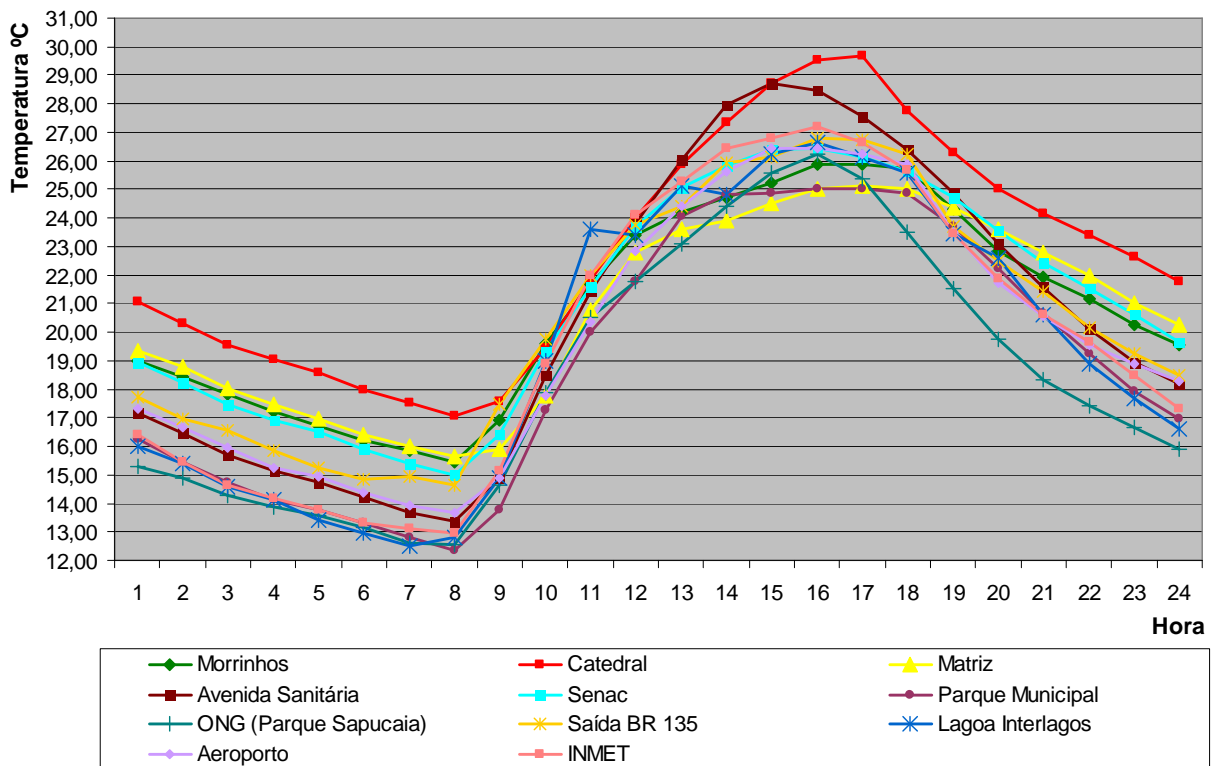


Gráfico 5 – Média horária da temperatura durante os dez dias de medição de junho e julho de 2007.

Fonte: arquivo pessoal da autora.

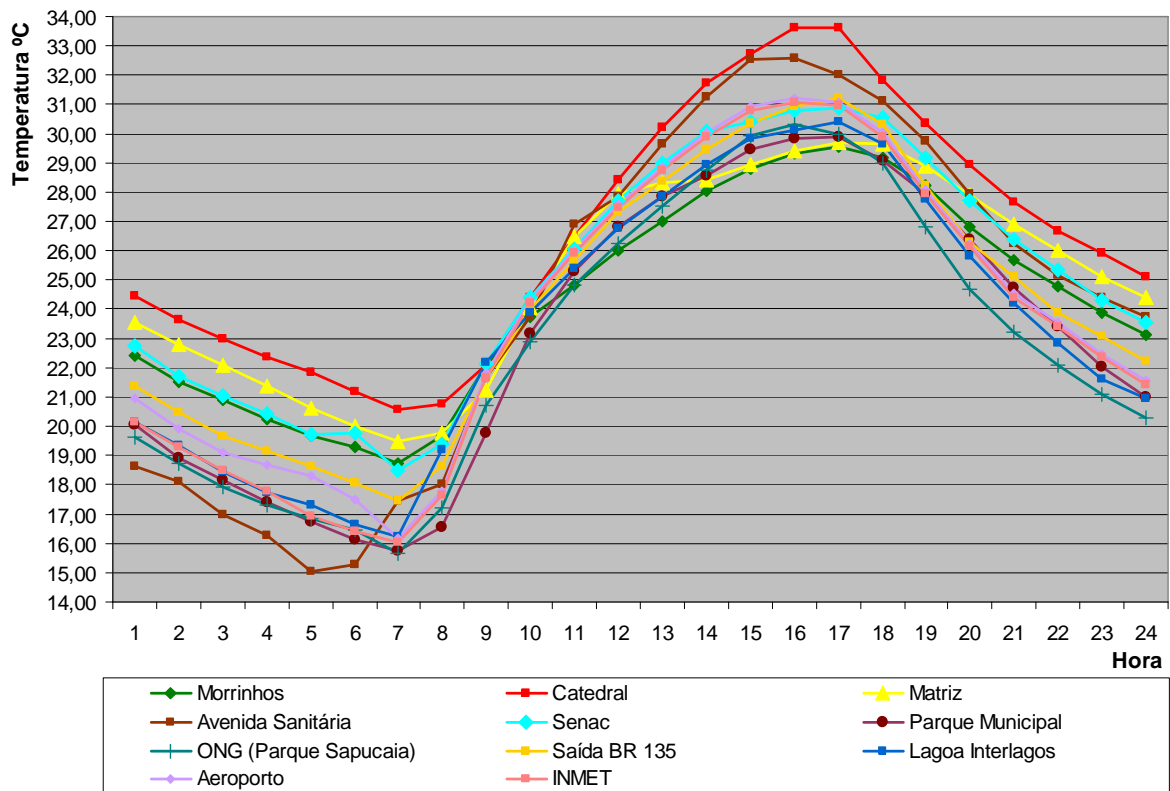


Gráfico 6 – Média horária da temperatura durante os dez dias de medição de setembro de 2007.
 Fonte: arquivo pessoal da autora.

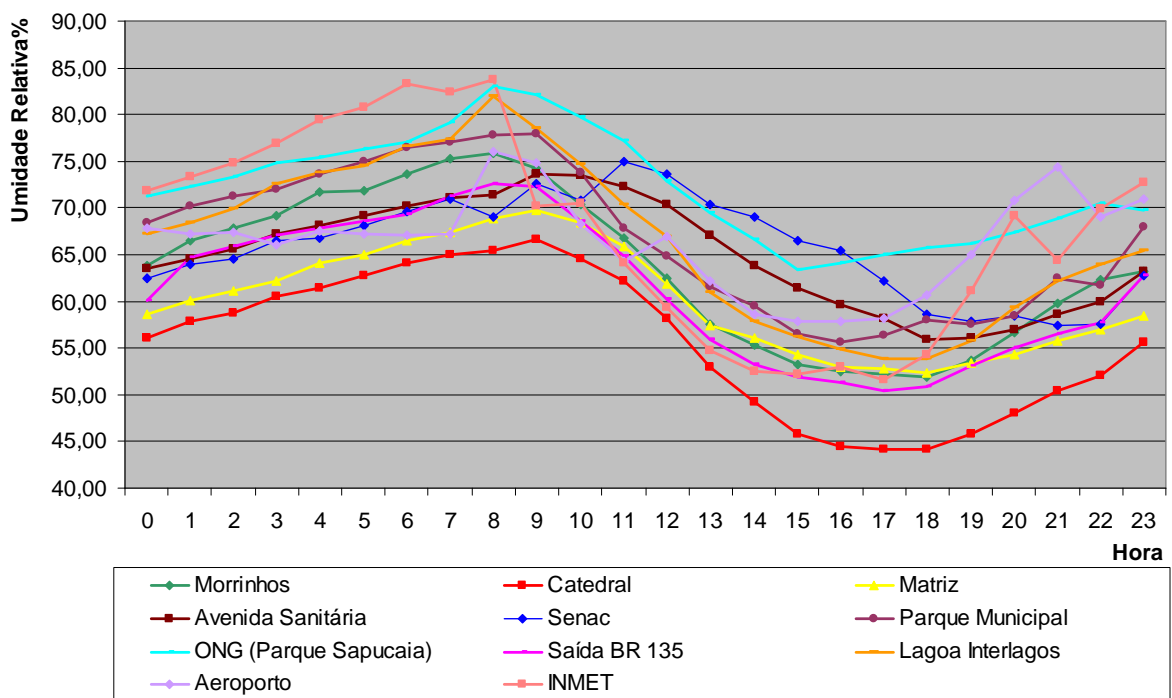


Gráfico 7 – Média horária da umidade relativa durante os dez dias de medição de janeiro de 2007.
 Fonte: arquivo pessoal da autora.

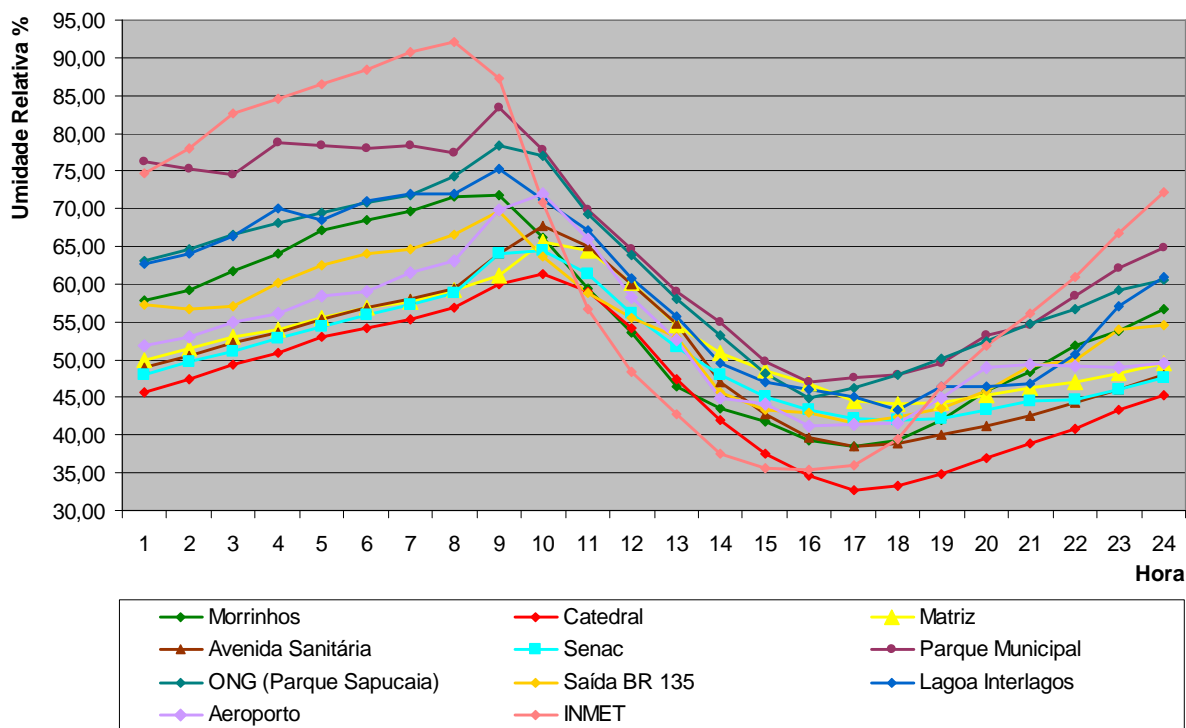


Gráfico 8 - Média horária da umidade durante os dez dias de medição de junho e julho de 2007.

Fonte: arquivo pessoal da autora.

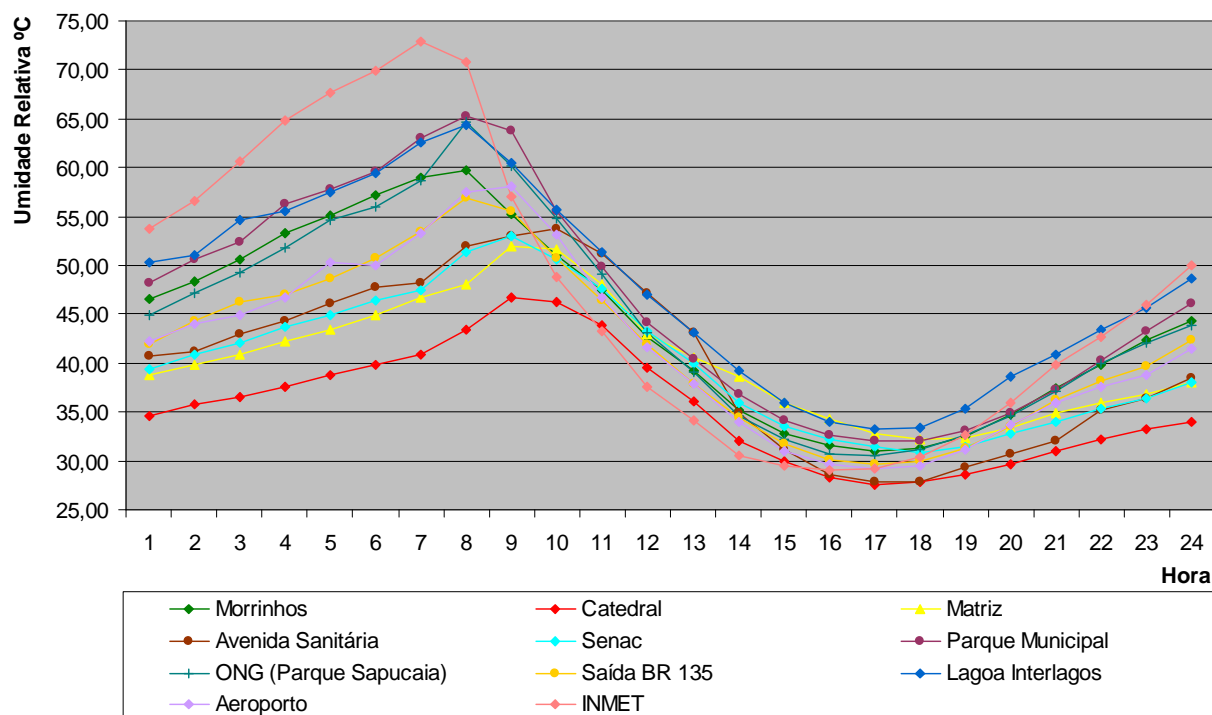


Gráfico 9 - Média horária da umidade durante os dez dias de medição de setembro de 2007.

Fonte: arquivo pessoal da autora.

Primeiramente, é preciso considerar que durante os três ciclos de medição, houve a ocorrência de vários dias típicos para a formação da ilha de calor, que são caracterizados pela presença de tempo estável, céu aberto e calmaria (velocidade do vento inferior a 3 m/s). Assim, eliminando-se a ocorrência dos outros fatores como a interferência das trocas convectivas e da topografia (já que houve a correção do ponto Morrinhos) é possível analisar a influência das trocas radiativas entre as superfícies e a atmosfera associando-as ao fenômeno ilha de calor.

Como descrito na metodologia, os abrigos foram colocados em locais sombreados e em solo natural, no entanto, como as condições de implantação variam de um local para o outro, já que é impossível obter locais idênticos, é importante ponderar tais influências nos resultados encontrados. Nesse sentido, considera-se que o ponto situado na Catedral, pode ter sofrido certa influência da cobertura de amianto sob o qual foi implantado; também, o ponto situado na Matriz, pode ter sido influenciado pelo sombreamento das edificações do entorno.

Ponderando tais colocações considera-se que as diferenças higrótérmicas notadas nos gráficos 4 a 9 são resultantes da ocupação urbana.

Como no modelo teórico clássico, a configuração da ilha de calor na cidade apresenta maior magnitude nas áreas centrais adensadas, diminuindo gradativamente até a periferia urbana. No entanto, durante a tarde, a diferença térmica entre a área central e o ponto fora do perímetro urbano (Saída BR 135) foi pouco significativa, isso pode estar associado à existência de galpões industriais com grandes coberturas metálicas e áreas com solo descoberto nas imediações deste ponto, o que certamente influenciou nos resultados.

Assim, analisando os gráficos 4, 5 e 6, nota-se que os picos de temperatura ocorrem por volta das 16:00 horas para os três períodos (considerando o horário de verão em janeiro). Durante a madrugada até o nascer do sol, se estabelece a diferença de temperatura entre as áreas centrais, representadas pelos pontos da Catedral, Matriz, Avenida Sanitária, Senac e Morrinhos; e as periféricas (demais pontos). Essa diferença térmica é menos expressiva durante a manhã.

De um modo geral, os pontos localizados na área central, registraram durante a tarde, temperatura superior àqueles localizados nas áreas periféricas. Essa diferença prolonga-se até o período noturno quando ocorre a dissipação do calor acumulado pela estrutura urbana. A diferença térmica no período noturno foi mais

expressiva, corroborando com as características da ilha de calor como fenômeno tipicamente noturno.

Em termos quantitativos, a diferença térmica encontrada é de aproximadamente 5°C nas três condições medidas. Relacionando os dados do Apêndice 1, pode-se notar diferenças térmicas de até 7°C entre a área mais aquecida, no núcleo central (ponto Catedral) e a área mais fresca (ponto ONG).

Notadamente, no mês de verão, a amplitude térmica foi menor que nos demais meses, como já era esperado.

Em relação à umidade relativa, nota-se pelos gráficos 7, 8 e 9 que a diferença entre os pontos centrais e periféricos é mais expressiva durante a madrugada e pela noite. Durante o dia, os pontos situados nas áreas mais ocupadas apresentam um percentual de umidade menor.

Os gráficos 10, 11, 12 demonstram as diferenças absolutas encontradas a partir da temperatura média de cada ponto durante os três períodos de medição.

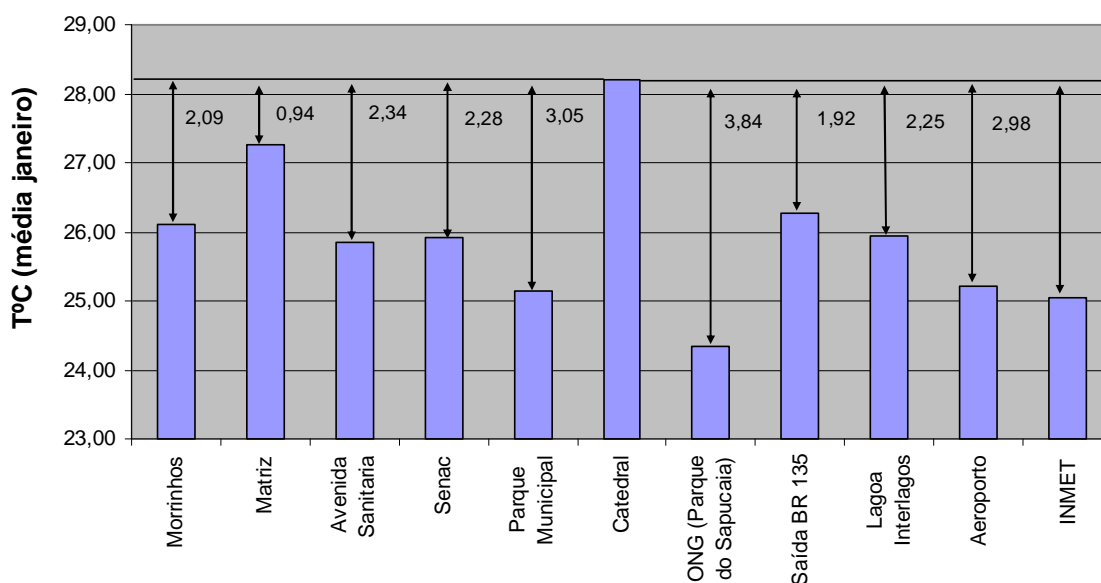


Gráfico 10 – Temperatura média do período de Janeiro.

Fonte: arquivo pessoal da autora

Notadamente, na situação de janeiro, os locais com temperaturas mais elevadas foram: Catedral, Matriz, Saída BR 135, Morrinhos, Lagoa Interlagos, Senac. E os pontos com temperaturas mais amenas foram: Aeroporto, Parque Municipal, INMET e ONG (Parque Sapucaia).

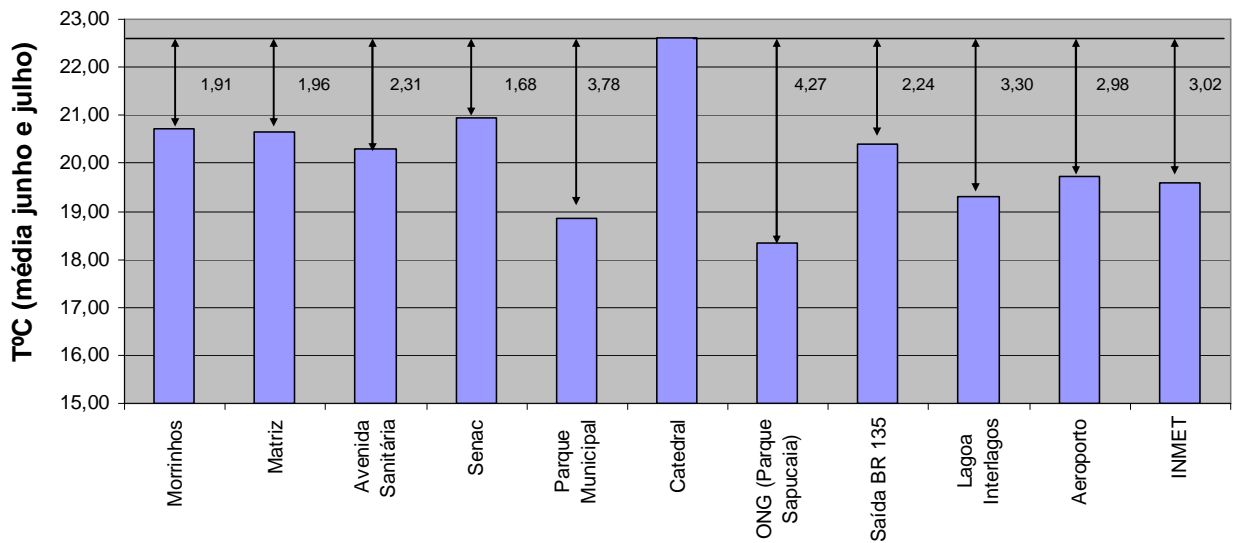


Gráfico 11 – Temperatura média do período de Julho.
 Fonte: arquivo pessoal da autora.

No período de junho/julho, os pontos mais aquecidos foram: Catedral, Senac, Morrinhos, Matriz, Saída BR 135 e Avenida Sanitária. E os pontos com temperatura mais amena foram: Aeroporto, INMET, Lagoa Interlagos, Parque Municipal e ONG (Parque Sapucaia).

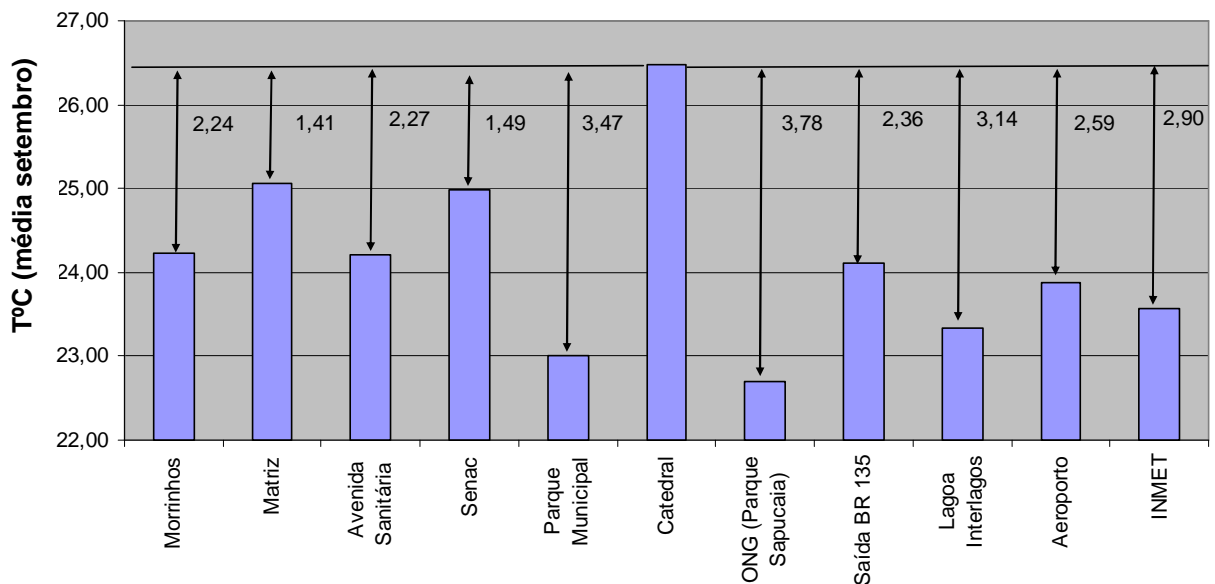


Gráfico 12 – Temperatura média do período de Setembro.
 Fonte: arquivo pessoal da autora.

Na situação de setembro, as áreas com temperaturas mais elevadas foram: Catedral, Matriz, Senac, Avenida Sanitária e Morrinhos. E os pontos com temperatura mais amena foram: Saída BR 135, Aeroporto, INMET, Lagoa Interlagos, Parque Municipal, e ONG (Parque Sapucaia).

Os resultados encontrados foram analisados sob duas abordagens distintas: a primeira, diz respeito ao conforto térmico no nível urbano e a segunda; sobre o comportamento térmico dos locais estudados, feita através da correlação entre as variáveis climáticas e urbanísticas. Em seguida, são propostos novos cenários de ocupação tendo como base os resultados levantados.

5.3 Avaliação do Conforto térmico dos locais analisados

Como descrito na metodologia, os pares de pontos de temperatura e umidade absoluta, analisados na pesquisa, foram plotados sobre a Carta Psicrométrica. As figuras 48, 49 e 50 mostram os resultados encontrados para os três períodos.

Notadamente, é preciso desenvolver estratégias bioclimáticas diferenciadas para cada período.

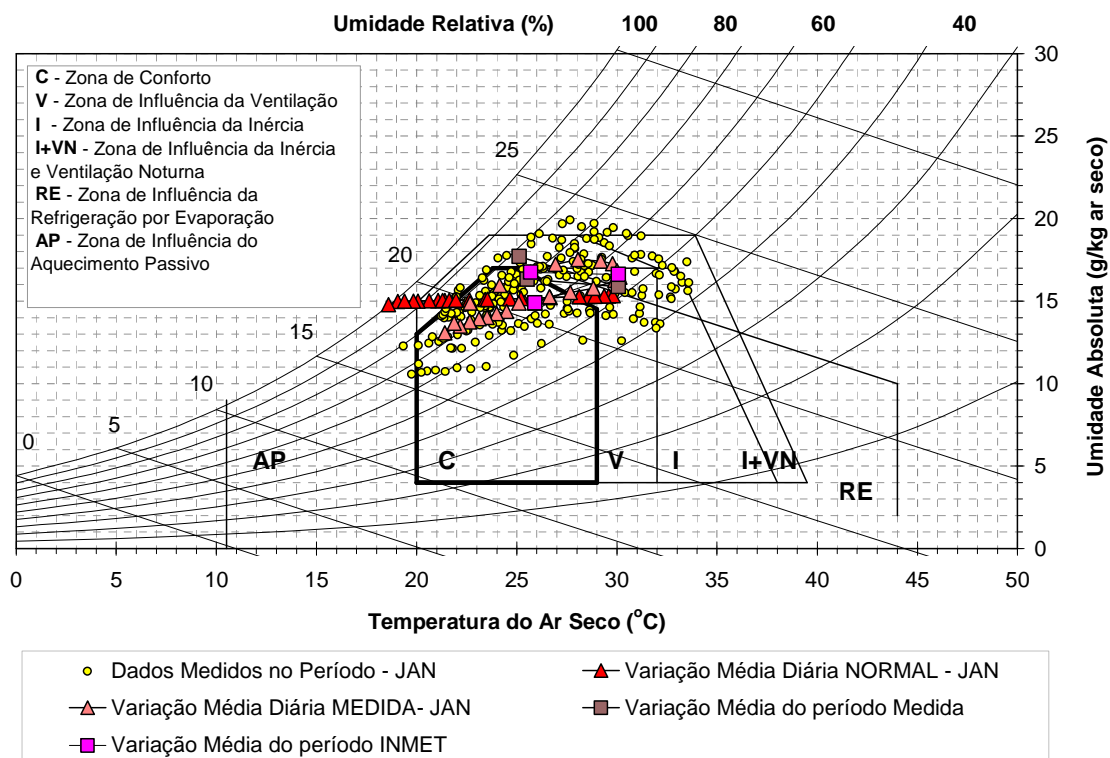


Figura 48 - Média horária em cada ponto sobre o Diagrama Bioclimático de Givoni e a Carta Psicrométrica para Montes Claros, resultados de janeiro 2007.

Fonte: arquivo pessoal da autora.

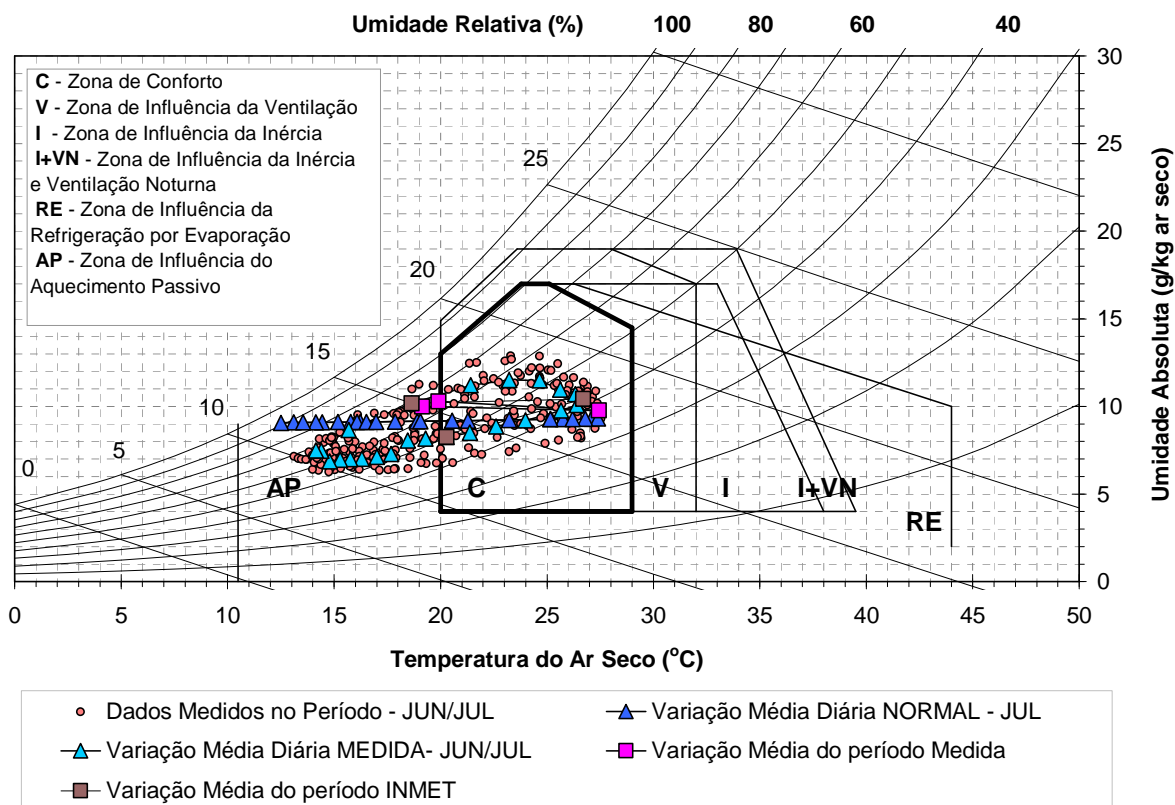


Figura 49 - Média horária em cada ponto sobre o Diagrama Bioclimático de Givoni e a Carta Psicrométrica para Montes Claros, resultados de junho e julho 2007.
 Fonte: arquivo pessoal da autora.

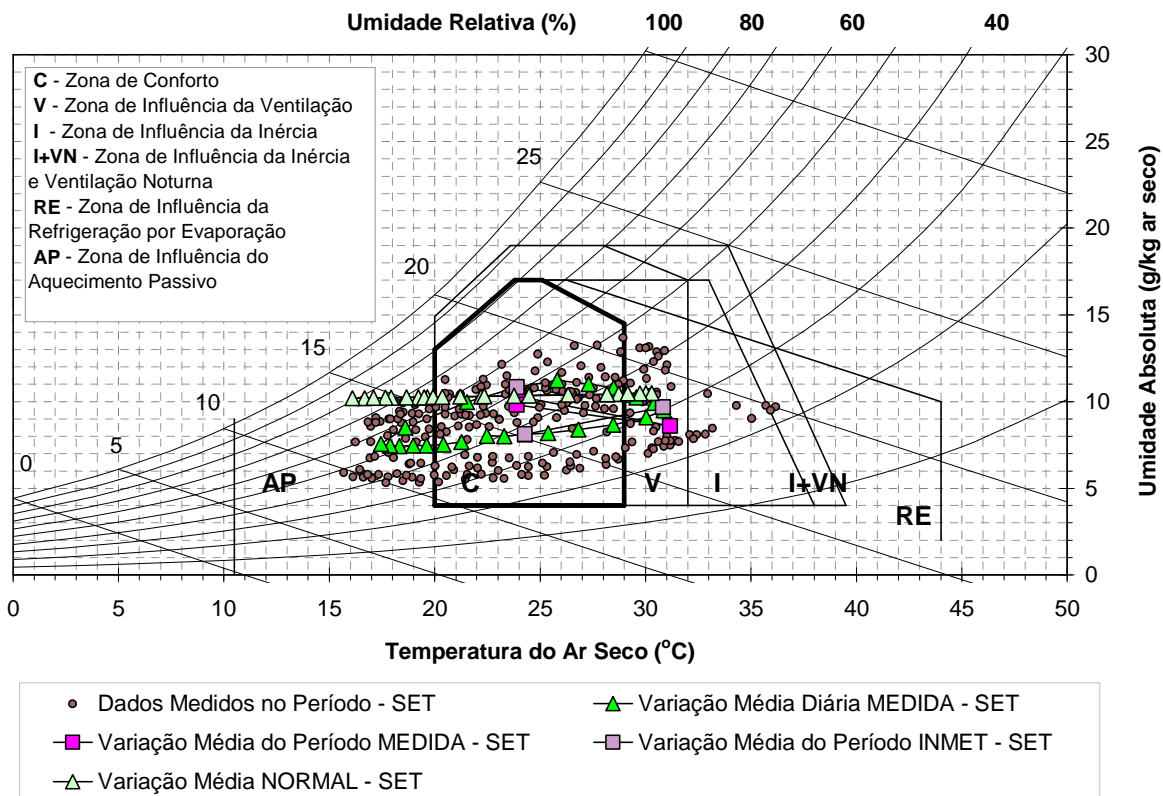


Figura 50 - Média horária em cada ponto sobre o Diagrama Bioclimático de Givoni e a Carta Psicrométrica para Montes Claros, resultados de setembro 2007.
 Fonte: arquivo pessoal da autora.

No verão, a temperatura e umidade elevada, conjugado com calmarias, resulta em desconforto térmico durante o dia. Assim, para a melhoria do conforto é necessário o incremento da ventilação natural favorecendo a renovação do ar fresco.

No inverno, as temperaturas da manhã e da noite alcançam valores mais amenos (confortáveis), mas as temperaturas vespertinas permanecem elevadas e com baixa umidade. Nesse sentido, a inércia térmica auxilia no conforto térmico noturno, quando as temperaturas externas diminuem.

No restante do ano, como no caso de setembro, quando as temperaturas, inclusive as noturnas, se elevam e a umidade está baixa, a principal estratégia a ser usada é o aumento da umidade, já que evaporação da água ou a evapotranspiração dos vegetais possibilita a retirada do calor do ar favorecendo o resfriamento evaporativo. A ventilação noturna também é importante.

Devido à predominância de um longo período de seca, o resfriamento evaporativo torna-se a estratégia central para a melhoria do clima urbano local.

A NBR 15.220-3 (2005) trata sobre o Desempenho Térmico de Edificações e estabelece uma subdivisão das condições climáticas brasileiras em oito situações bioclimáticas, como mostra a figura 51. De acordo como tal subdivisão, a cidade de Montes Claros localiza-se na Zona Bioclimática 6.

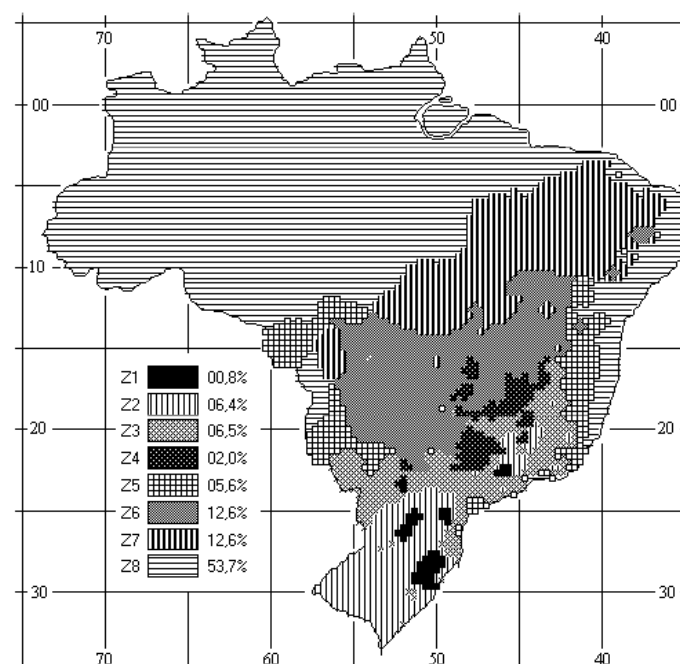


Figura 51 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.
Fonte: NBR 15.220-3 (2005), p.3.

Para essa Zona Bioclimática, as estratégias de conforto térmico recomendadas são: o uso do resfriamento evaporativo e da massa térmica para resfriamento no verão, e da inércia térmica no inverno. A ventilação é recomendada nos períodos quentes, em que a temperatura interna seja superior externa. Em relação às diretrizes construtivas, a norma recomenda para as edificações implantadas nessa zona bioclimática, o uso de aberturas sombreadas com dimensão média, e também o uso de paredes pesadas e cobertura leve e isolada.

5.4 Correlação entre as variáveis climáticas e urbanísticas

5.4.1 Comportamento das áreas construídas

A análise das áreas construídas está intimamente relacionada às variáveis: densidade construída, Fator de Forma e Fator de Visão de Céu.

Para a análise da Densidade Construída foram realizados testes de regressão linear nos horários de 9, 15 e 21 horas (arbitrados em função dos horários de leituras do INMET). Os resultados das correlações encontradas para os horários diurnos foram insuficientes para explicar a diferença térmica entre os pontos, embora houvesse sempre uma relação positiva entre ambas, ou seja, o aumento da densidade acompanhado pelo aumento da temperatura.

No caso da temperatura noturna (21 horas), a correlação foi bastante significativa. Os gráficos de dispersão 13, 14 e 15 mostram os resultados encontrados, a partir destes, é possível notar coeficientes de determinação (R^2) de 65 e 69% para janeiro, 81 e 71% para junho e julho e 68% e 82% para setembro, o que reforça a abordagem da ilha de calor como fenômeno noturno.

Esses resultados podem ser justificados pela influência da inércia térmica, pois, os materiais constituintes da massa edificada urbana tendem a atrasar o fluxo térmico, assim, o calor armazenado durante o dia pelas construções é dissipado no período noturno, elevando-se a temperatura nesse horário.

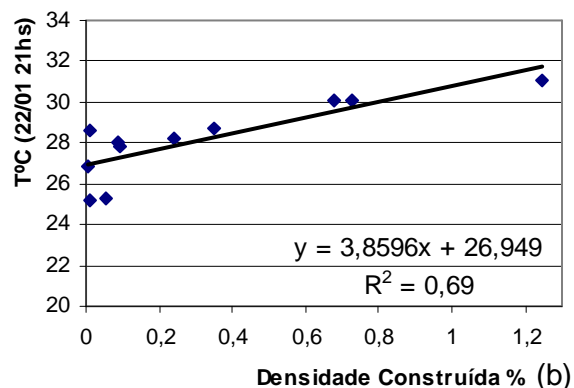
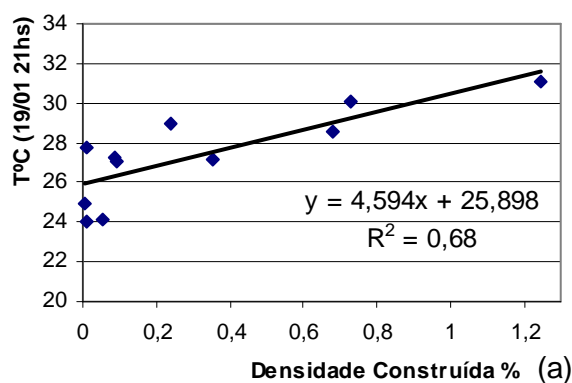


Gráfico 13 (a) e (b) – Coeficientes de determinação obtidos entre densidade construída e temperatura noturna (21 horas) para a medição de janeiro.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

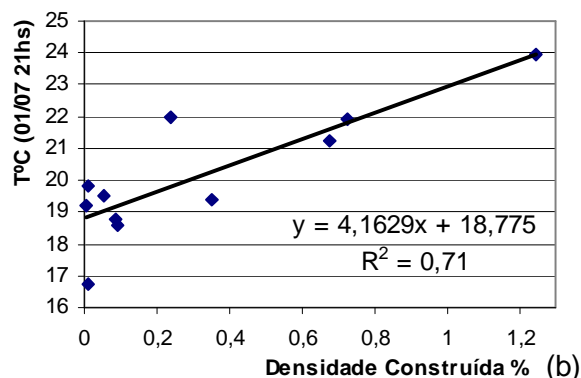
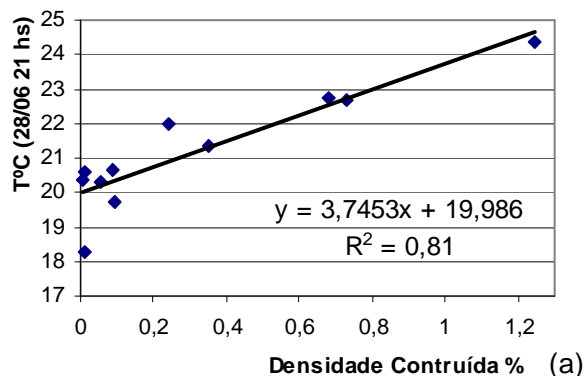


Gráfico 14 (a) e (b) – Coeficientes de determinação obtidos entre densidade construída e temperatura noturna (21 horas) para a medição de junho e julho.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

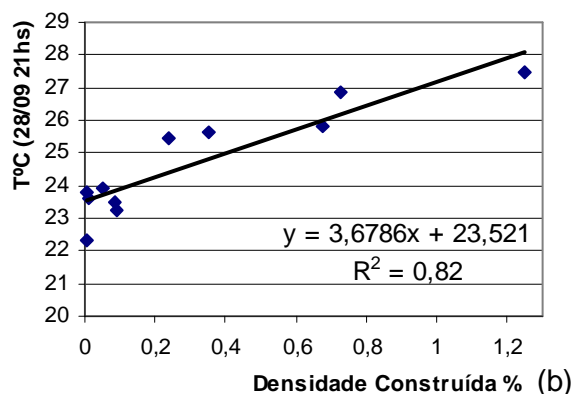
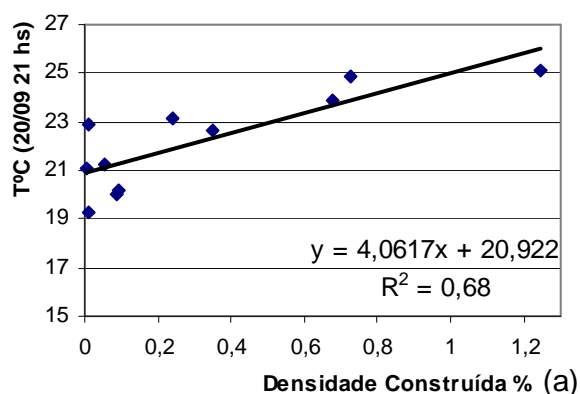


Gráfico 15 (a) e (b) – Coeficientes de determinação obtidos entre densidade construída e temperatura noturna (21 horas) para a medição de setembro.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

Os gráficos 16, 17 e 18, a seguir, mostram os coeficientes de determinação encontrados para a correlação entre o Fator de Forma (FF) e a temperatura às 21 horas.

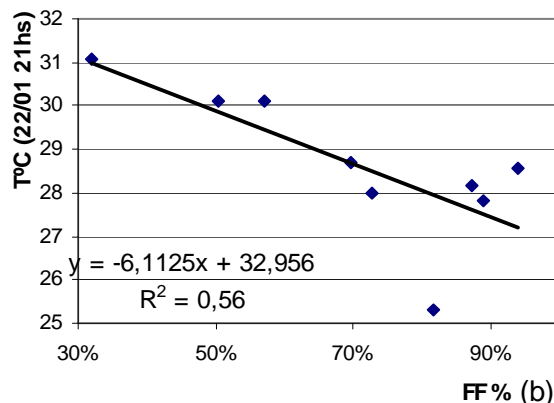
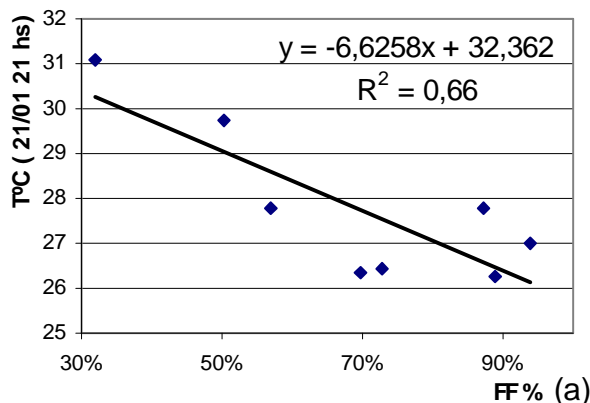


Gráfico 16 (a) e (b) – Coeficientes de determinação obtidos entre o FF e temperatura noturna (21 horas) para a medição de janeiro.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

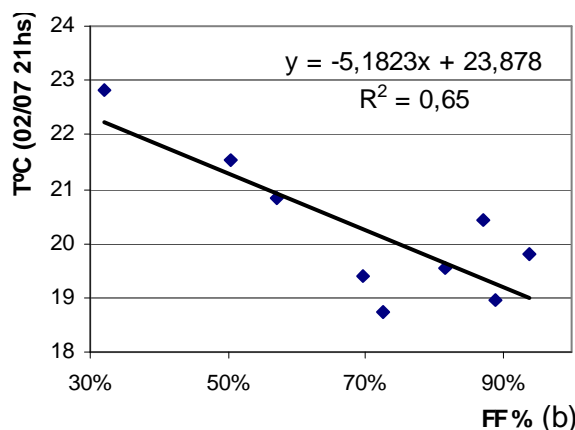
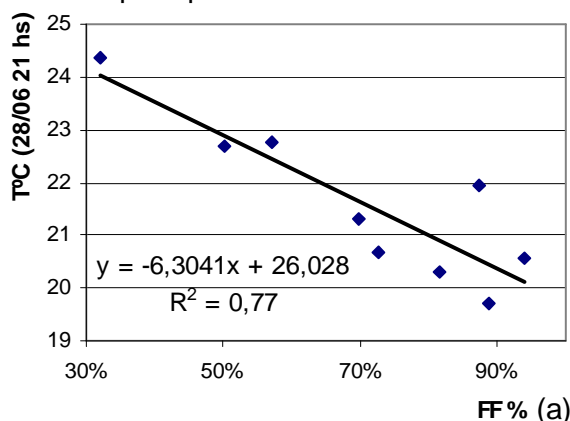


Gráfico 17 (a) e (b) – Coeficientes de determinação obtidos entre o FF e temperatura noturna (21 horas) para a medição de junho e julho.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

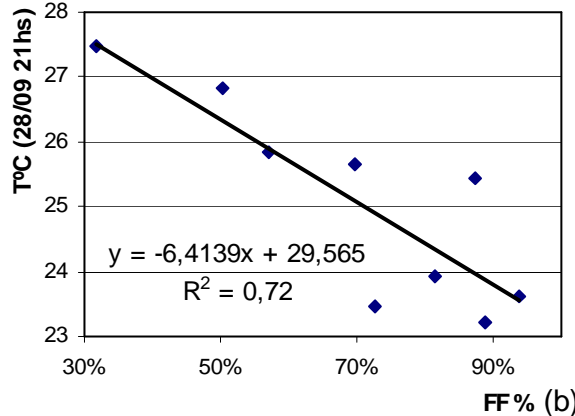
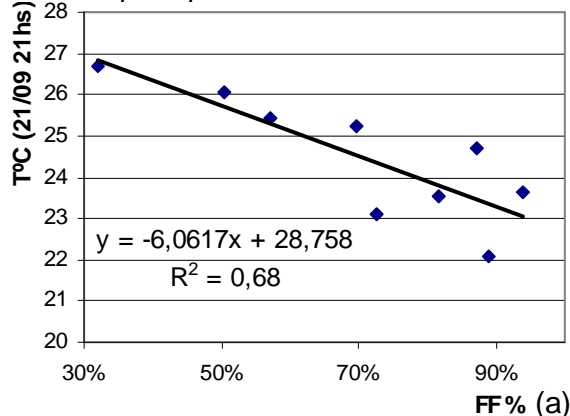


Gráfico 18 (a) e (b) – Coeficientes de determinação obtidos entre o FF e temperatura noturna (21 horas) para a medição de setembro.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

Analisando os gráficos 16 a 18, nota-se que os coeficientes de determinação foram significativos: 66 e 55% para janeiro, 77 e 65% para junho e julho e 68 e 72% para setembro. As correlações tendem a perdurar até à madrugada.

Esses valores mostram que o Fator de Forma está relacionado com o aquecimento noturno, pois, como explicou Oke (1982), nas áreas com maior obstrução do céu, as superfícies apresentam maior dificuldade para dissipar o calor, resfriando-se mais lentamente, o que justifica os valores encontrados.

Foram realizadas também correlações entre o Fator de Visão de Céu e a temperatura noturna (21 horas). Os gráficos de dispersão, 19, 20 e 21 a seguir apresentam os resultados encontrados.

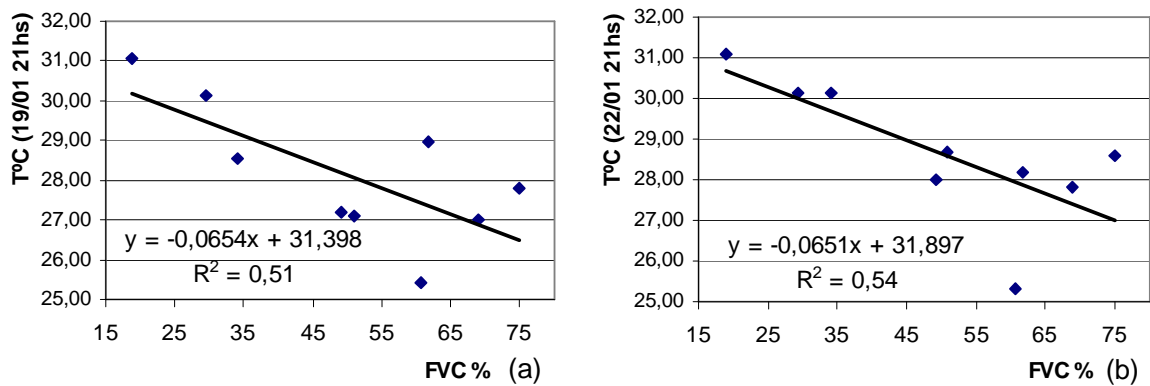


Gráfico 19 (a) e (b) – Coeficientes de determinação obtidos entre FVC e temperatura noturna (21 horas) para a medição de janeiro.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

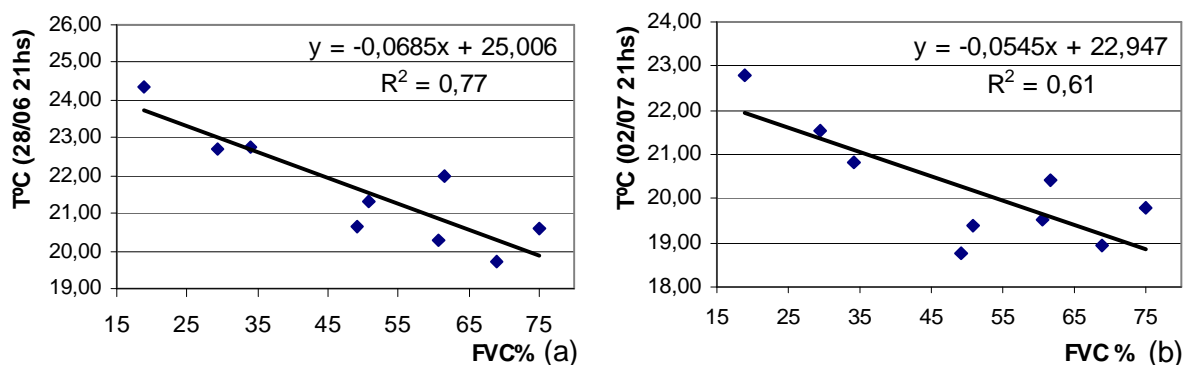


Gráfico 20 (a) e (b) – Coeficientes de determinação obtidos entre FVC e temperatura noturna (21 horas) para a medição de junho e julho.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

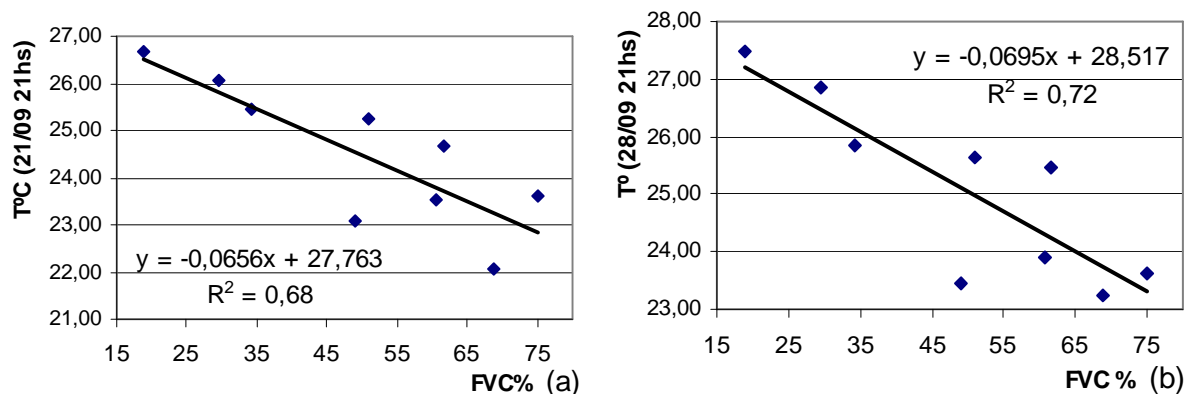


Gráfico 21 (a) e (b) – Coeficientes de determinação obtidos entre FVC e temperatura noturna (21 horas) para a medição de setembro.

Fonte: arquivo pessoal da autora.

Analisando os gráficos, percebe-se que a correlação foi menor para a situação de janeiro. Os fatores de determinação encontrados foram de 51 e 54% respectivamente. As correlações para julho foram de 77 e 61% e em setembro de 68 e 72%. As correlações tendem a perdurar até à madrugada e diminuem significativamente durante o dia.

Com isso, percebeu-se que as correlações para o Fator de Forma foram mais significativas do que as correlações com o Fator de Visão de Céu. Isso porque, o FF está mais relacionado à radiação.

5.4.2 Comportamento das Áreas Verdes e Impermeáveis

Para analisar o comportamento das áreas verdes (vegetação arbórea) e áreas impermeáveis (consideradas aqui pelo somatório das superfícies calçadas, pavimentadas e asfaltadas) foram realizados testes de regressão utilizando os dados de temperatura e a umidade relativa nos horários de 9, 15 e 21 horas (arbitrados em função dos horários de leituras do INMET).

Os gráficos 22, 23 e 24 mostram os fatores de determinação encontrados para a cobertura vegetal. Sequencialmente, os gráficos 25, 26 e 27 mostram os resultados obtidos para as áreas impermeáveis.

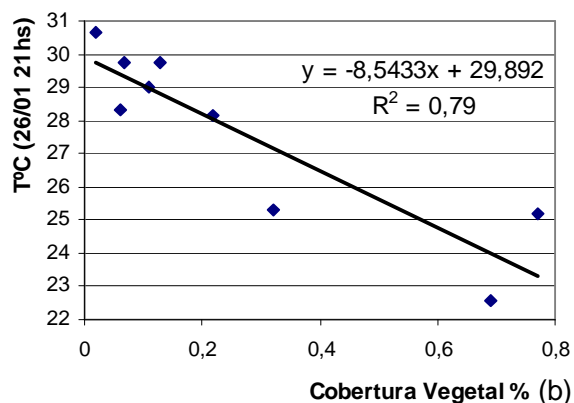
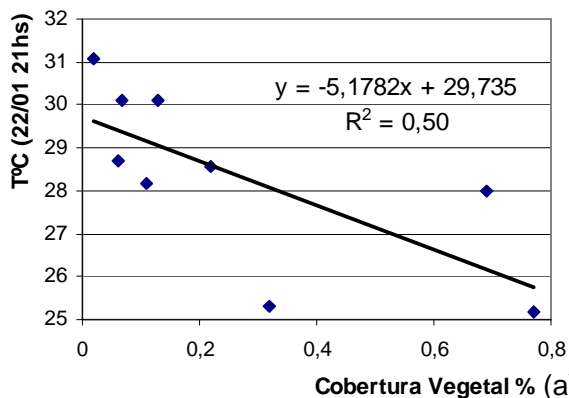


Gráfico 22 (a) e (b) – Fatores de determinação obtidos entre taxa de cobertura vegetal e temperatura noturna (21 horas) para a medição de janeiro.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

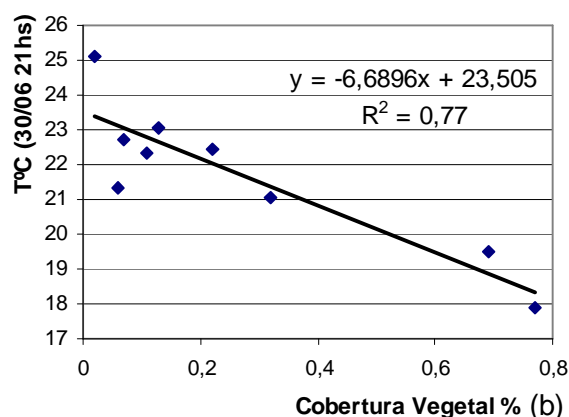
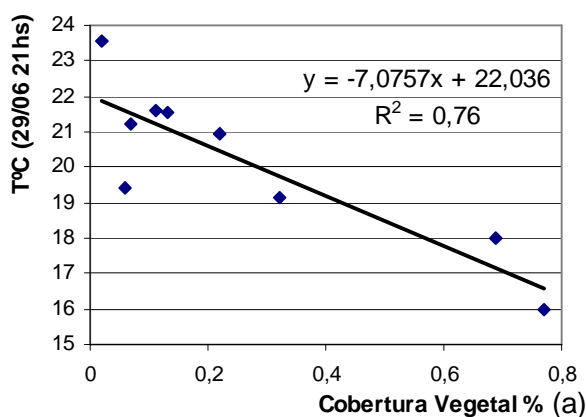


Gráfico 23 (a) e (b) – Fatores de determinação obtidos entre taxa de cobertura vegetal e temperatura noturna (21 horas) para a medição de junho e julho.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

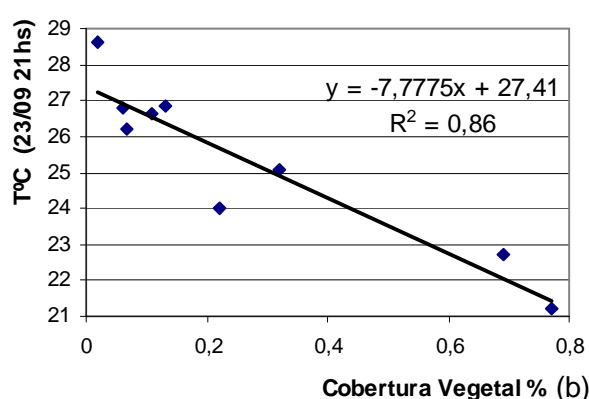
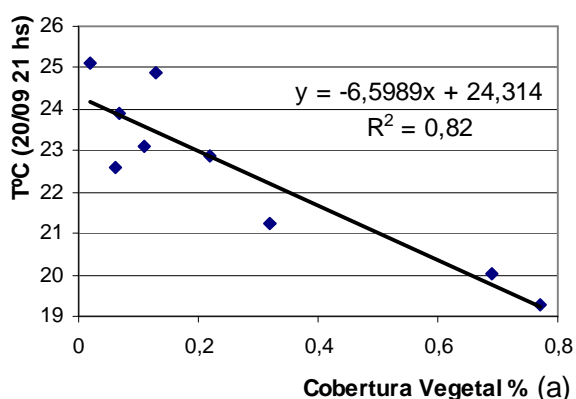


Gráfico 24(a) e (b) – Fatores de determinação obtidos entre taxa de cobertura vegetal e temperatura noturna (21 horas) para a medição de setembro.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

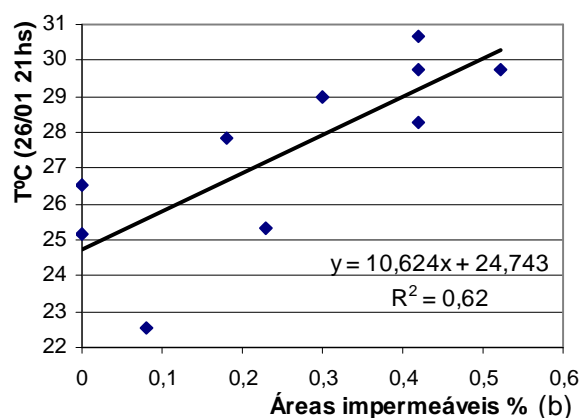
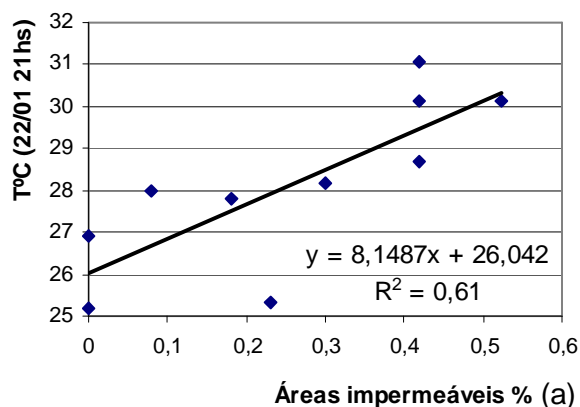


Gráfico 25 (a) e (b) - Fatores de determinação obtidos entre % de áreas impermeáveis e temperatura noturna (21 horas) para a medição de janeiro.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

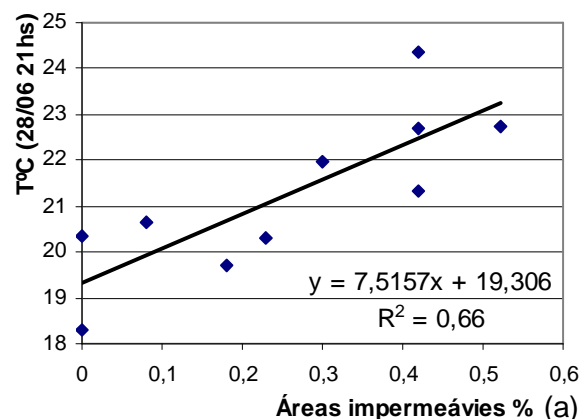
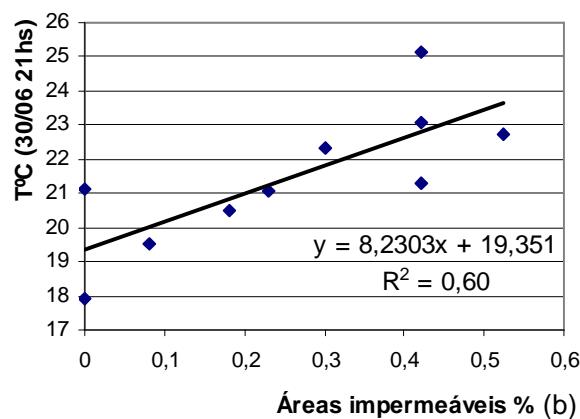


Gráfico 26 (a) e (b) - Fatores de determinação obtidos entre % de áreas impermeáveis e temperatura noturna (21 horas) para a medição de junho e julho.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

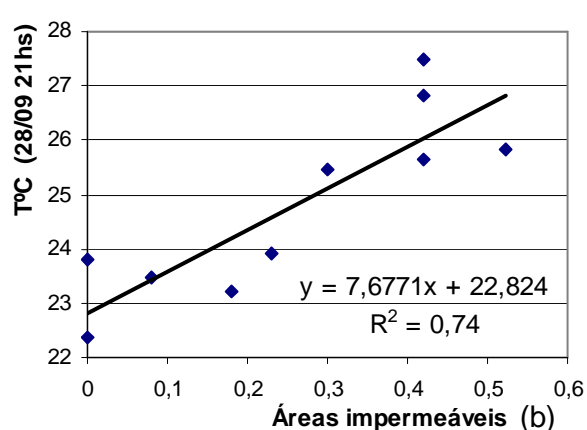
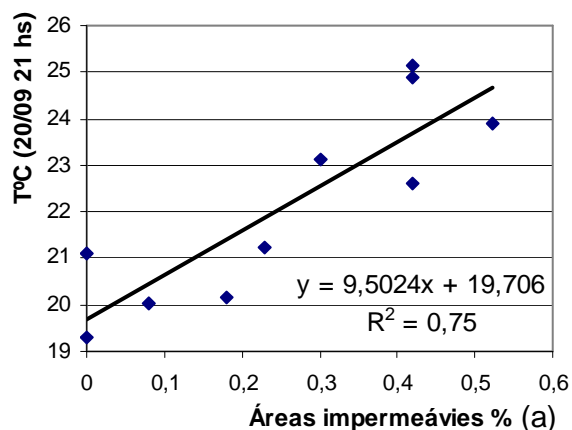


Gráfico 27 (a) e (b) - Fatores de determinação obtidos entre % de áreas impermeáveis e temperatura noturna (21 horas) para a medição de setembro.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

Analisando os gráficos 22 a 27 percebe-se que, nos três períodos de medição, a correlação (r) para o horário das 21 horas foi sempre positiva para as áreas impermeáveis e negativa para a cobertura vegetal.

Notadamente, os fatores de determinação (R^2) para a cobertura vegetal são bastante significativos para o período noturno, apresentando valores de 50% e 79% para janeiro, 76% a 77% para junho e julho e 82% e 86% para setembro. Essa influência estende-se até a madrugada.

Em relação à cobertura vegetal, ressalta-se que, embora os valores de R^2 encontrados para os horários diurnos (9 e 15 horas) tenham sido inferiores a 50%, esses revelaram tendências que devem ser comentadas. Para o horário matutino, por exemplo, percebeu-se que os fatores de determinação são mais significativos na estação seca (junho, julho e setembro) do que em janeiro, chegando a um percentual de 71% para a temperatura média das 9 horas de setembro. Para a temperatura vespertina, a relação se inverte, ou seja, R^2 torna-se mais significativo para janeiro e quase nulo para junho, julho e setembro. Essas constatações podem estar relacionadas à retração da vegetação na época seca o que influencia na diminuição de seu efeito como amenizador térmico.

Em relação às áreas impermeáveis, o valor de R^2 foi de 61 e 62% para janeiro, 63 e 60% para junho e julho e 75 e 74% para setembro. Esses valores são significativos até a madrugada.

Os gráficos 28, 29 e 30, a seguir, mostram os fatores de determinação obtidos para a umidade relativa e a presença de cobertura vegetal e áreas impermeáveis.

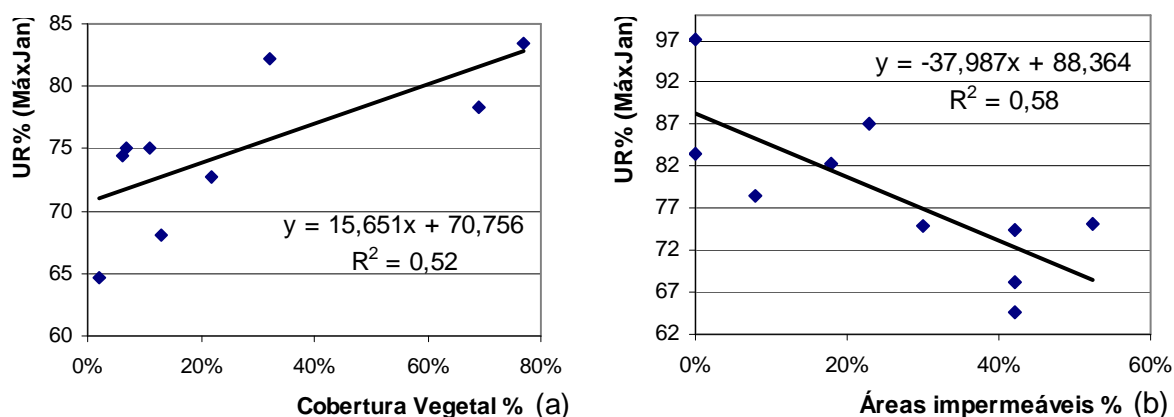


Gráfico 28 (a) e (b) – Fatores de determinação obtidos entre a UR% máxima e a taxa de cobertura vegetal (a) e a % de áreas impermeáveis (b) para janeiro.

Fonte: arquivo pessoal da autora.

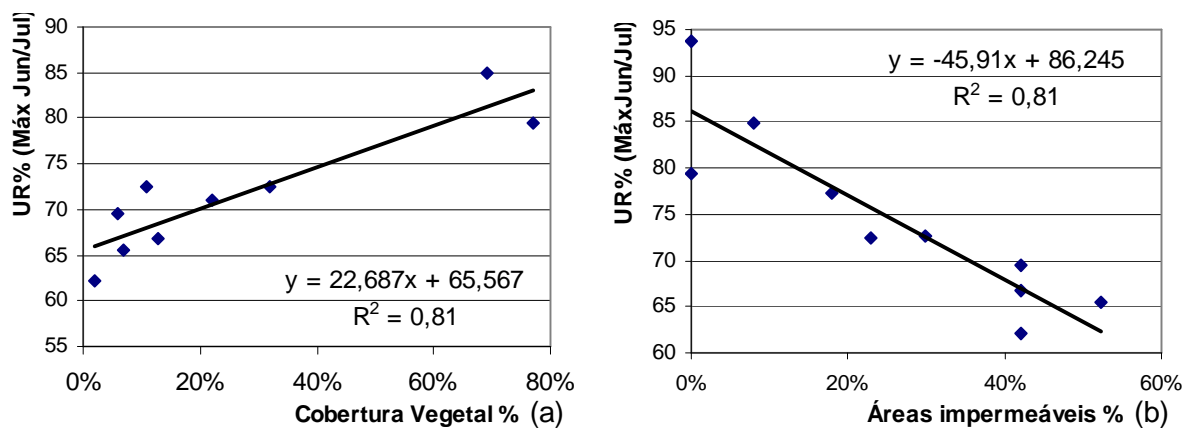


Gráfico 29 (a) e (b) – Fatores de determinação obtidos entre a UR% máxima e a taxa de cobertura vegetal (a) e a % de áreas impermeáveis (b) para junho e julho.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

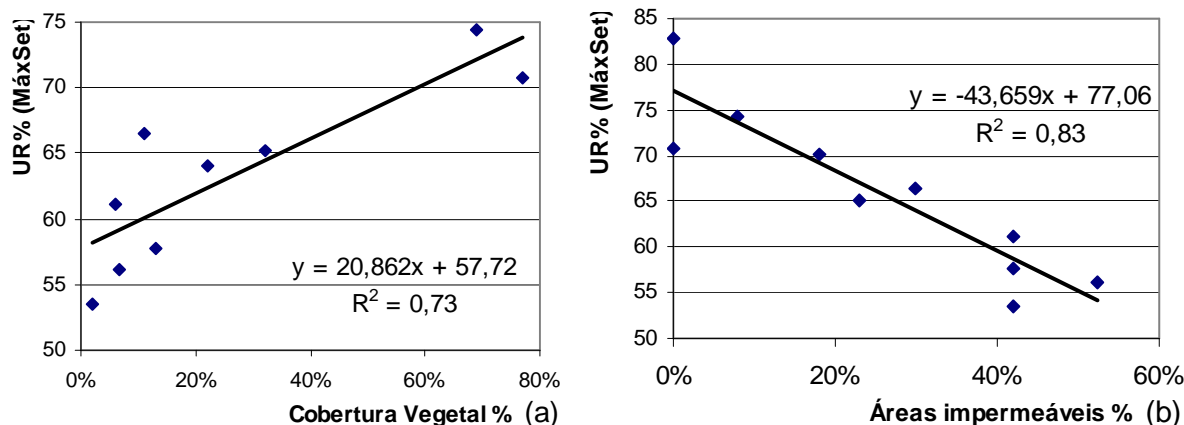


Gráfico 30 (a) e (b) – Fatores de determinação obtidos entre a UR% máxima e a taxa de cobertura vegetal (a) e a % de áreas impermeáveis (b) para setembro.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

Analisando os gráficos 28 a 30 percebe-se que nos três períodos de medição, a correlação (r) foi positiva para a cobertura vegetal e negativa para as áreas impermeáveis. Para a cobertura vegetal o fator de determinação (R^2) foi de 52% para janeiro, 81% para junho e julho e 73% para setembro. Para as áreas impermeáveis, os fatores foram de 56% para janeiro, 81% para junho e julho e 83% para setembro. Esses valores demonstram o efeito da vegetação na melhoria da umidade, especialmente na época seca.

De um modo geral, os resultados encontrados são mais facilmente justificados pela abordagem da ilha de calor como fenômeno noturno. Os valores de R^2 para o período diurno, não foram muito significativos, o que pressupõe que as temperaturas

diurnas, especialmente no horário de pico, são dificilmente explicadas por uma variável urbanística isolada.

5.4.3 Análise de Comportamento Climático dos pontos centrais

Devido às similaridades do padrão de ocupação da área central, foram propostos novos testes de regressão linear baseados apenas nos pontos situados nessa região. Nesse sentido, foram escolhidos os seguintes pontos: Catedral, Matriz, Avenida Sanitária e Senac, todos estes são pertencentes à ZC-1 que concentra os índices urbanísticos menos restritivos.

Os gráficos a seguir mostram os resultados encontrados para a correlação entre a temperatura noturna (21 horas) e as variáveis: densidade construída, ao Fator de Forma e Fator de Visão de Céu.

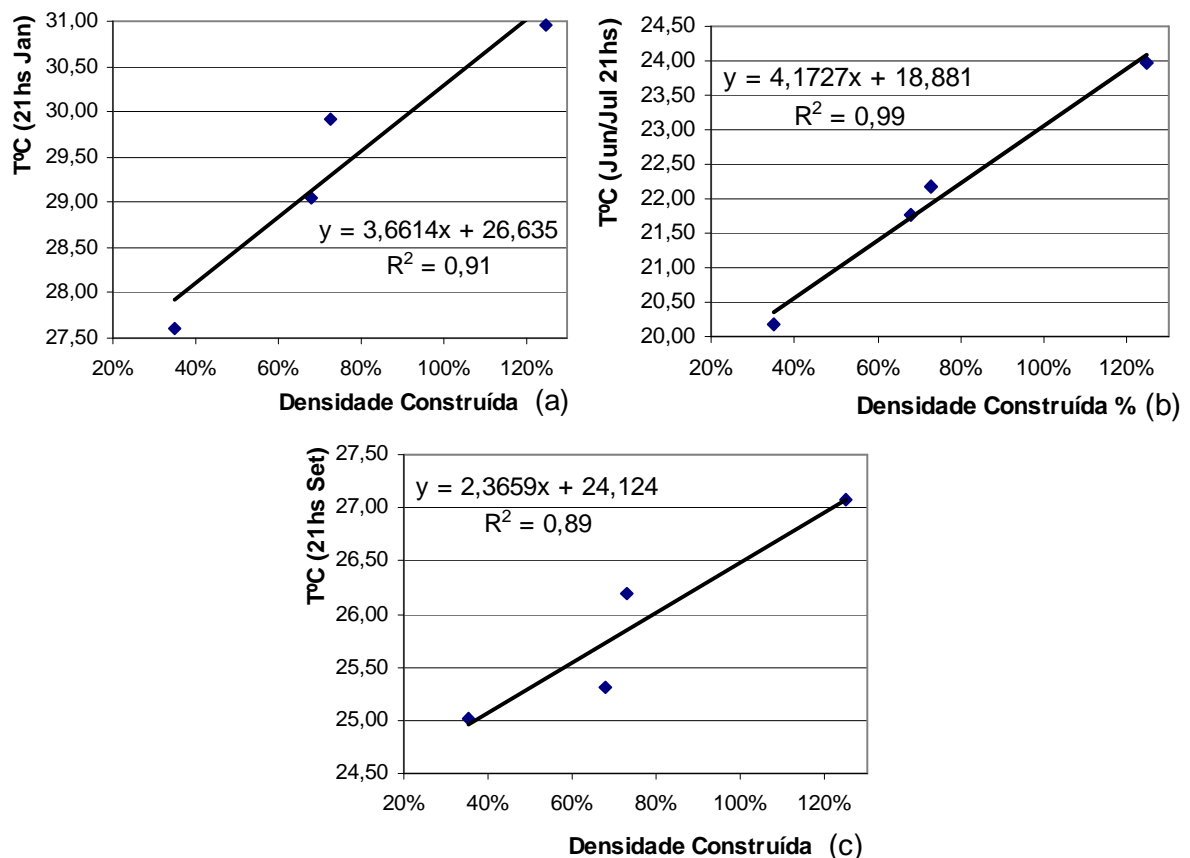


Gráfico 31 (a) e (b) – Fatores de determinação obtidos entre a densidade construída e a temperatura média às 21 horas em janeiro (a), junho, julho (b) e setembro (c).

Fonte: arquivo pessoal da autora.

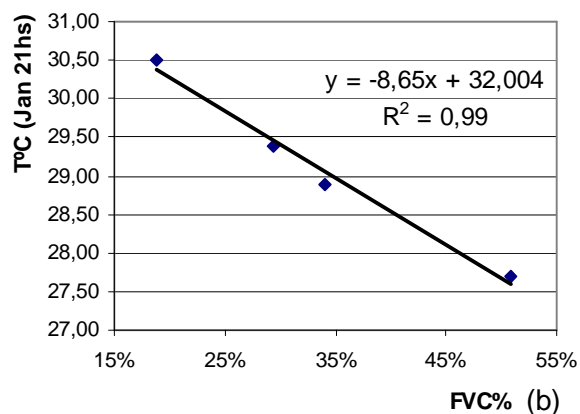
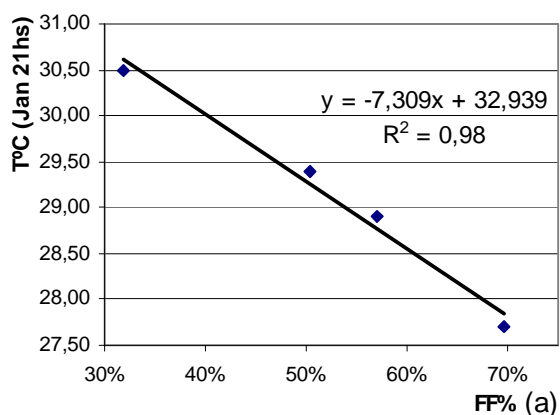


Gráfico 32 (a) e (b) – Fatores de determinação obtidos entre a temperatura média às 21 horas de janeiro e o Fator de Forma (a) e o FVC (b).

Fonte: arquivo pessoal da autora.

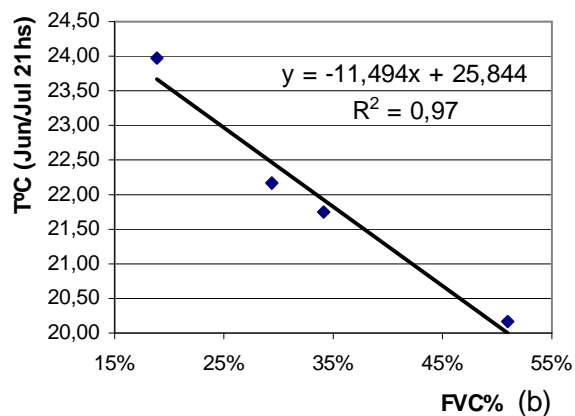
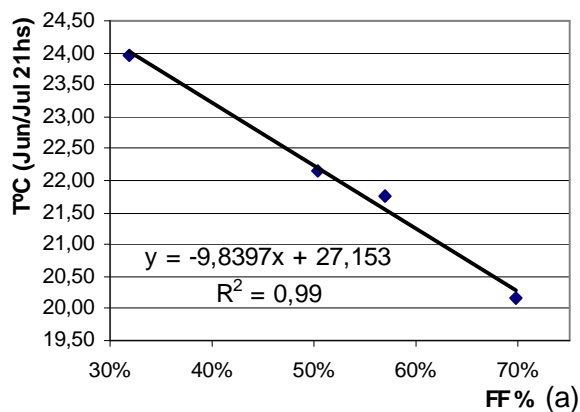


Gráfico 33 (a) e (b) – Fatores de determinação obtidos entre a temperatura média às 21 horas de junho e julho e a densidade construída (a) e o FVC (b).

Fonte: arquivo pessoal da autora.

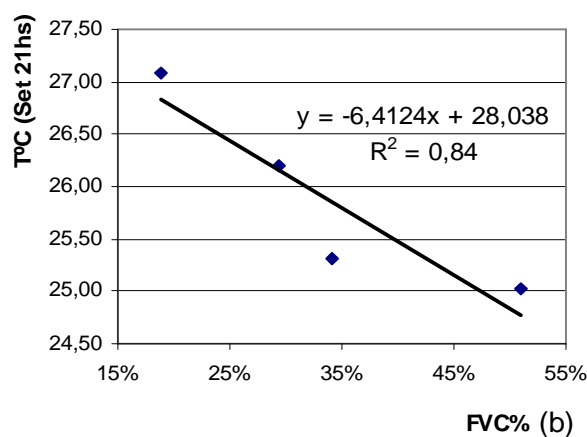
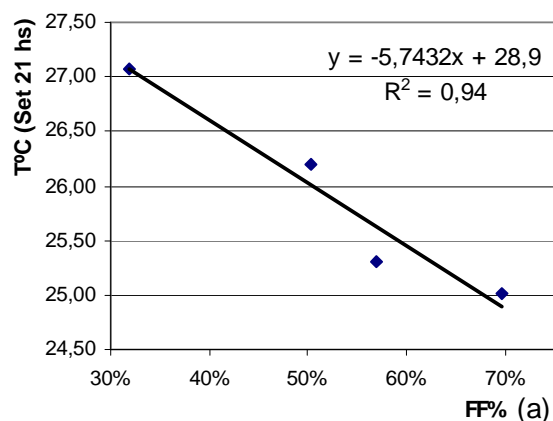


Gráfico 34 (a) e (b) – Fatores de determinação obtidos entre a temperatura média às 21 horas de setembro e a densidade construída (a) e o FVC (b).

Fonte: arquivo pessoal da autora.

Como visto pelos gráficos, os fatores de determinação encontrados foram muito significativos, o que reafirma a relação existente entre o aquecimento noturno e

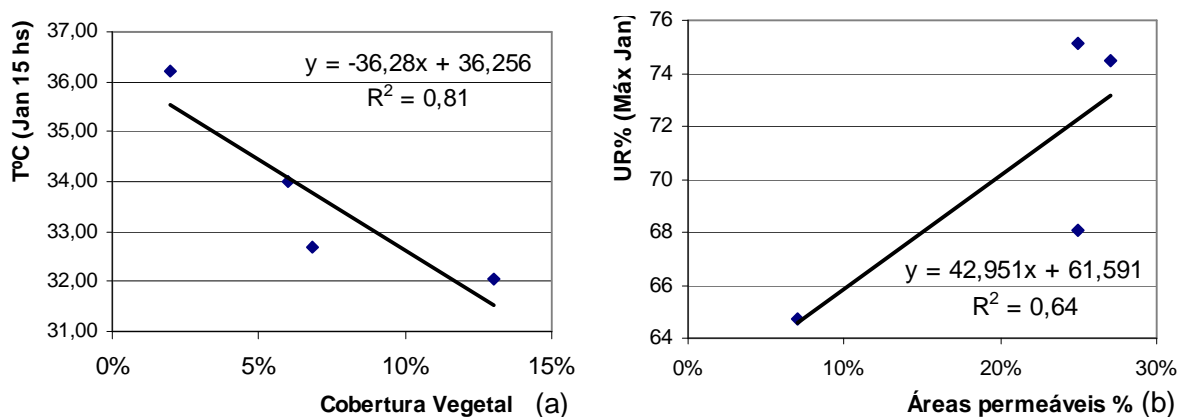
essas variáveis urbanísticas. As correlações permanecem elevadas até a madrugada.

As correlações com o FF foram expressivas nos três períodos medidos o que mostra a importância dos arranjos construídos na dissipação do calor. As correlações encontradas para o FF foram mais elevadas do que para o FVC, isso pode estar atribuído ao fato de que o Fator de Forma leva em consideração a posição da área da visibilidade em relação à abóbada celeste, e, portanto, está mais relacionado à radiação.

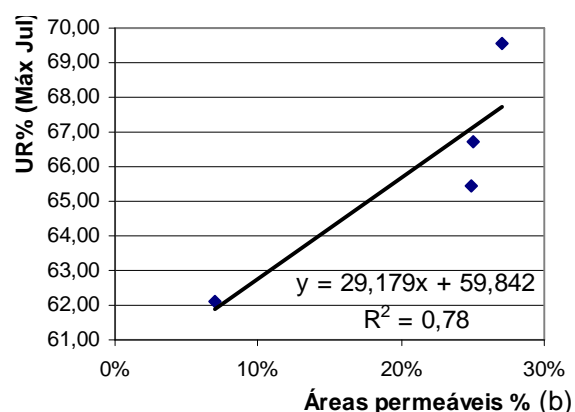
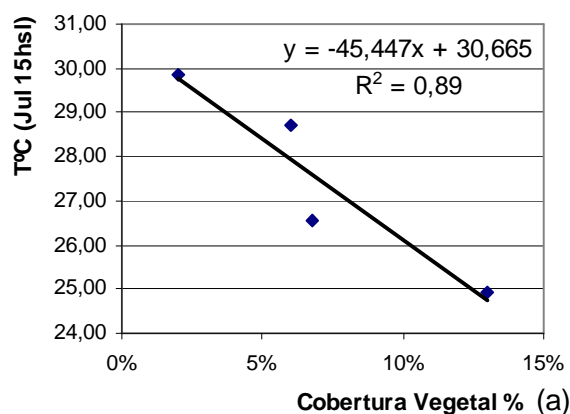
Procurou-se também, analisar o comportamento térmico das áreas verdes situadas nos pontos centrais.

Para isso, foi proposto a correlação entre os dados de temperatura média às 15 horas e a taxa de cobertura vegetal (apenas vegetação arbórea), os resultados encontrados são apresentados nos gráficos 35 (a), 36 (a) e 37 (a).

Os gráficos 35 (b), 36 (b) e 37 (b) mostram os fatores de determinação obtidos entre a Umidade Média Máxima e o percentual de áreas permeáveis, que considera as superfícies gramadas, arborizadas, solo natural e britado.



Gráficos 35 (a) e (b) – Correlação entre cobertura vegetal e temperatura média às 15 horas (a) e Umidade Média Máxima e Áreas permeáveis (b), situação janeiro.
Fonte: arquivo pessoal da autora.



Gráficos 36(a) e (b) – Correlação entre cobertura vegetal e temperatura média às 15 horas (a) e Umidade Média Máxima e Áreas permeáveis (b), situação julho.

Fonte: arquivo pessoal da autora.

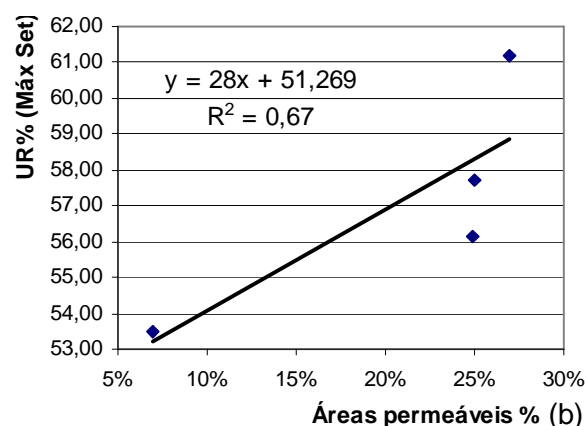
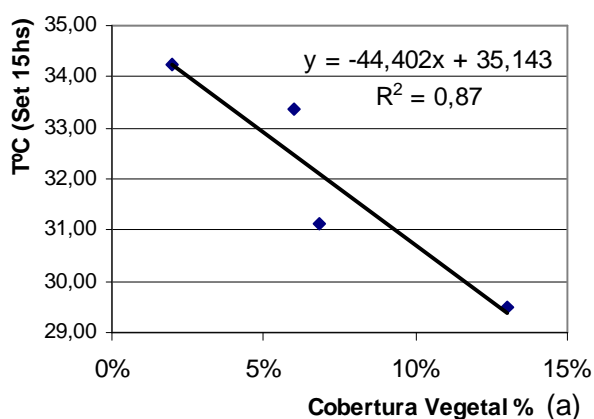


Gráfico 37 (a) e (b) – Correlação entre cobertura vegetal e temperatura média às 15 horas (a) e Umidade Média Máxima e Áreas permeáveis (b), situação setembro.

Fonte: arquivo pessoal da autora.

Através dos gráficos 35 a 37 é possível notar a correlação negativa entre a cobertura vegetal e a temperatura, e positiva, entre as áreas permeáveis e umidade relativa máxima.

Percebe-se, portanto, a influência da vegetação na amenização térmica do local, como ocorre, por exemplo, com o ponto situado nas proximidades da Praça Matriz, que possui um percentual de 13% de cobertura vegetal.

Nas áreas centrais da cidade, a grande impermeabilização do solo e a escassez de cobertura vegetal faz com que as trocas térmicas de calor latente (Q_E) sejam menores, reduzindo-se assim, a perda de calor por evapotranspiração.

Avaliando esses resultados percebeu-se o efeito das variáveis urbanísticas no clima da cidade.

5.5 Proposição de outros cenários de ocupação baseados no poder preditivo das equações de regressão linear da área central

As correlações encontradas para a área central explicaram com coerência a abordagem teórica da ilha de calor. Assim, as equações obtidas através da regressão linear, possuem um importante poder preditivo para o planejamento urbano, especialmente para essa região que está em constante renovação de usos e bastante orientada para a verticalização.

Portanto, a partir das equações lineares geradas analisou-se outras possibilidades de ocupação, como mostrado a seguir.

5.5.1 Cenário proposto: aumento das áreas permeáveis

O cenário com o aumento das áreas permeáveis foi feito com base no método exposto no item 4.6.2. Os novos percentuais de áreas permeáveis encontrados estão colocados na tabela 12.

Para esse cenário, usou-se como referência a equação da temperatura às 15 horas de janeiro e a umidade máxima de setembro, que são situações críticas em termos de conforto térmico.

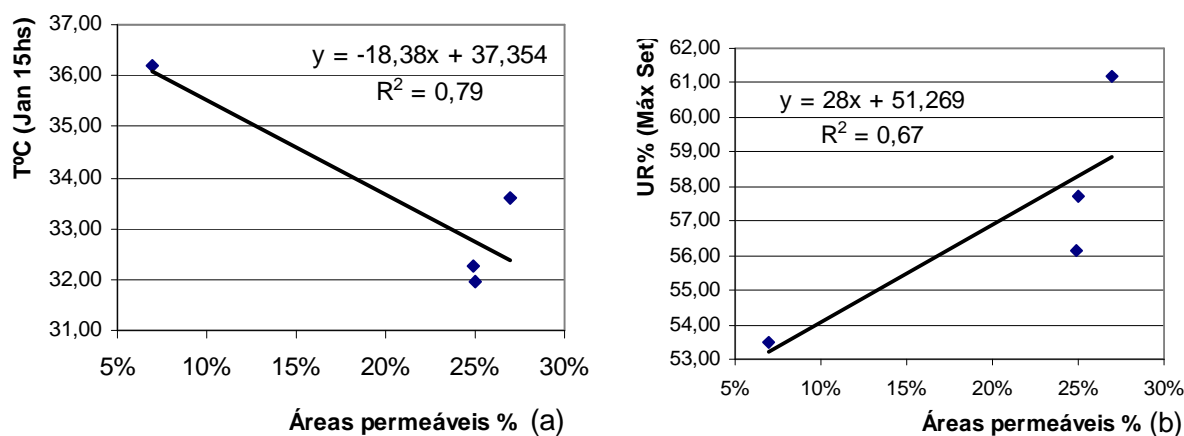


Gráfico 38 (a) a (b) – Correlação para as áreas permeáveis existentes utilizadas como referência para a análise do aumento das áreas permeáveis.

Fonte: arquivo pessoal da autora.

$$T = -(18,38 \times AP) + 37,354 \quad (\text{para as 15horas janeiro}) \quad [\text{Eq 14}]$$

$$UR = (28 \times AP) + 51,269 \quad (\text{Umidade Máxima setembro}) \quad [\text{Eq 15}]$$

Onde: T é a temperatura do ar em °C.

UR é a umidade relativa em %.

AP é a Áreas Permeáveis %

Os resultados são apresentados na tabela 10.

TABELA 10
Resultados encontrados aumento das Áreas Permeáveis

Pontos simulados	Total Áreas Per. Exist.	Metade Áreas Imper.	Total Áreas Per. Proposta	T°C estimada 15hs Jan	T°C medida 15hs Jan	Dif. ($\Delta T^{\circ}\text{C}$)	UR% estimada Máx Set	UR% medida Máx Set	Dif. ($\Delta UR\%$)
Catedral	7%	13%	20%	33,68	36,20	2,52	56,87	53,50	3,37
Matriz	25%	15%	40%	30,00	31,95	1,95	62,47	57,73	4,74
Av. Sanitária	27%	11%	38%	30,37	33,58	3,21	61,91	61,17	0,74
Senac	25%	12%	37%	30,55	32,26	1,71	61,63	56,17	5,46

Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Analisando a tabela, conclui-se que a temperatura vespertina no verão declinaria em aproximadamente 2,4°C. Em relação à umidade relativa média, haveria um aumento de cerca de 57,14% para 60,72% no período de setembro.

Esses resultados demonstram que, mesmo com o aumento significativo das áreas permeáveis, a temperatura resultante ainda permaneceria desconfortável. Os efeitos sobre a umidade relativa foram mais positivos para a melhoria do microclima.

5.5.2 Avaliação da temperatura-limite da zona de conforto térmico

Para a avaliação da temperatura-limite de conforto, usou-se como base as equações lineares das correlações entre as variáveis: densidade construída e FVC e a temperatura às 22horas de janeiro; e também, a proporção de áreas permeáveis e a temperatura às 16horas de janeiro. As equações de densidade construída e áreas permeáveis já foram descritas (Eq. 10 e 14 respectivamente), a equação do FVC foi:

$$T = -(7,309 \times FVC) + 32,939 \quad (\text{Temperatura às 22 horas janeiro}) \quad [\text{Eq. 16}]$$

Aplicando-se nestas o valor de temperatura de 29°C, conclui-se que seria necessário aproximadamente 45% de superfícies permeáveis para a manutenção da temperatura-limite de conforto nos pontos centrais nas tardes de verão.

Constata-se também que uma densidade construída acima de 71% seria capaz de provocar o desconforto térmico às 22 horas. Em relação ao FVC, o valor resultante seria de 54%. Esses resultados mostram a importância de criação de arranjos construídos mais adequados à dissipação do calor.

5.6 Considerações Finais

Os resultados encontrados nas correlações entre os dados climáticos e as variáveis urbanísticas utilizadas no estudo mostraram-se em concordância com a abordagem teórica da ilha de calor.

A partir desses resultados foi possível perceber que as variáveis urbanísticas (explicativas) têm pesos importantes para a compreensão do fenômeno, o que leva a concluir que o comportamento climático dos pontos não pode ser explicado por uma variável isoladamente, sendo mais adequado a associação dessas variáveis.

Assim, é possível notar que há uma interdependência entre as variáveis explicativas, e que, portanto, as relações entre essas não são lineares.

Desse modo, conclui-se que a técnica da regressão linear múltipla poderia ser mais adequada para a análise do fenômeno, pois permitiria destacar, para o mesmo horário, qual das variáveis explicativas tem o maior peso no comportamento climático.

6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo do trabalho foi analisar o clima urbano da cidade de Montes Claros, sobretudo no que se refere ao comportamento das áreas verdes e das áreas construídas. Nesse sentido, a correlação entre as variáveis climáticas de temperatura do ar e umidade relativa e as variáveis urbanísticas (explicativas) foi um importante passo para a compreensão da ilha de calor e para o reconhecimento dos aspectos urbanísticos mais diretamente relacionados ao comportamento higratérmico.

O método de tratamento dos dados, através da técnica da regressão linear simples, foi importante para estabelecer o grau de correlação entre os dados. Porém, percebeu-se que as variáveis urbanísticas não são independentes, o que torna difícil explicar o comportamento climático a partir de um desses parâmetros isoladamente. O próprio clima urbano é um sistema aberto, cujos processos podem compensar uma tendência de aumento térmico, como por exemplo, através alteração dos ventos, alteração do estoque de calor e o aumento do sombreamento durante o dia.

Essas conclusões, também foram destacadas nos trabalhos de Oke et (1999) para a Cidade do México, no qual os autores concluíram que as variáveis do balanço energético se relacionavam de forma muito mais complexa. Nesse estudo, não foi possível estabelecer uma correlação linear entre as variáveis.

Percebeu-se que a técnica de criação dos cenários, através das equações lineares geradas pelas correlações, pode ser muito relevante na orientação da legislação urbanística. Porém, seria mais adequado que os cenários fossem analisados através da técnica da regressão linear múltipla, já que não foi possível estabelecer uma relação linear entre as variáveis.

Contudo, é preciso frisar que o estudo baseou-se em um modelo empírico, assim, os resultados encontrados, inclusive para os cenários criados, são válidos apenas para Montes Claros, mas a metodologia proposta pode ser utilizada para outros estudos de modo a servir para a comparação dos resultados.

Assim, considerando o que foi colocado, conclui-se através do estudo que:

- as variáveis urbanísticas utilizadas não são independentes, e que, portanto, é difícil estabelecer uma relação linear entre essas;
- a técnica da regressão linear múltipla seria mais adequada para a análise do comportamento climático, pois permitiria avaliar, para o mesmo horário, o peso das variáveis explicativas estudadas.
- os estudos descritivos, como no caso em questão, podem gerar importantes dados para a criação de cenários. Porém, é mais adequado que esses cenários sejam avaliados a partir da técnica da regressão linear múltipla;
- as variáveis urbanísticas: densidade construída, Fator de Forma e Fator de Visão de Céu, apresentaram uma significativa influência no aquecimento noturno, o que está em acordo com a abordagem teórica da ilha de calor.
- o Fator de Forma apresenta maior correlação com a temperatura do que o Fator de Visão de Céu, já que este aborda mais diretamente a radiação, pois considerada a relação entre as células do fator de forma e a área de visibilidade;
- a vegetação apresenta maior correlação com os dados higrômicos no período noturno. Na época seca (medições de junho, julho e setembro), a mesma diminuiu a sua capacidade de amenização térmica.

Como o estudo propõe a análise das variáveis urbanísticas procurando uma associação com o planejamento urbano, percebeu-se que a área de 150 metros de raio, utilizada no trabalho, é insuficiente para a amostragem dos aspectos urbanísticos. Assim, sugere-se que, em outros trabalhos com essa abordagem, seja definida uma área com maior extensão para a coleta dos parâmetros urbanísticos, a implantação de pontos de coleta climática deve seguir a cada 150 metros.

No caso de Montes Claros viu-se que, além da análise da ilha de calor como fenômeno tipicamente noturno, foi importante a abordagem do comportamento climático diurno, já que a temperatura ultrapassa os valores limites do conforto térmico, principalmente no verão. Nesse sentido, conclui-se que a elaboração de diretrizes de planejamento comprometidas com o clima deve incluir, além do controle dos arranjos construídos, mais diretamente relacionado às trocas radiativas, a criação de estratégias bioclimáticas diversas, tendo em vista o conforto térmico no nível urbano.

Em relação à abordagem da ilha de calor, foi possível reconhecer para o caso de Montes Claros a sua caracterização como fenômeno tipicamente noturno. Em geral, notou-se que as diferenças de temperatura tendem a se estabelecer mais acentuadamente no período da tarde e prolongam-se até a noite, quando o fenômeno tem uma magnitude maior.

Tendo por base os pontos analisados, percebeu-se que a ilha de calor configurou-se de forma relativamente uniforme nos três períodos analisados, com certa tendência a se tornar mais expressiva no inverno (medição de junho e julho), sobretudo durante a noite. As diferenças térmicas registradas em dias típicos foram de 5°C em média entre os pontos centrais mais adensados e os periféricos. Em certos momentos, as diferenças ultrapassam os 7°C provavelmente (devem ser ponderadas) em virtude de influências externas como as mudanças sinópticas, por exemplo.

As correlações encontradas para as variáveis urbanísticas de Densidade Construída, FF e FVC foram bastante significativas no período noturno, prolongando-se até a madrugada, porém pouco representativas no período diurno. Considerando o comportamento térmico apenas das áreas centrais, notou-se que as correlações foram ainda mais elevadas, mostrando a influência destas nas trocas radiativas.

Contudo, considerando os resultados obtidos para a área central, percebeu-se que a variável FF parece ter maior influência no aquecimento noturno do que a Densidade Construída, o que demonstra a importância da geometria da malha urbana na dissipação do calor.

Assim, considerando a atual fase da dinâmica urbana do município, bastante orientada para o crescimento vertical, a inclusão de questões técnicas na definição dos índices urbanísticos se mostra necessária, pois percebeu-se que, ao longo dos anos, a legislação urbanística manteve uma perspectiva apenas de regulação do mercado imobiliário. Uma boa medida nesse sentido seria o desenvolvimento de estudos mais detalhados para estabelecer afastamentos baseados na altura das edificações. Para a determinação de tais índices, alguns Planos Diretores têm utilizado como parâmetro de referência o "envelope solar".

Em relação às áreas verdes, percebeu-se que as correlações encontradas para o período diurno, embora demonstrem relação negativa com o aumento de

temperatura, são insuficientes para explicar o seu comportamento, devendo assim ser considerada apenas como tendência.

Comparando-se as correlações obtidas nos três períodos medidos foi possível perceber que a vegetação diminui a sua capacidade de amenização térmica na época seca, o que deve estar relacionando à sua própria retração. Já em relação à umidade, notou-se que as melhores correlações foram obtidas justamente para esse período, o que demonstra que a presença de cobertura vegetal contribui para a melhoria da umidade nessa situação crítica. As temperaturas noturnas também apresentam melhor correlação com a época seca.

Considerando apenas as correlações obtidas para os pontos centrais, que são bastante “artificializados”, percebeu-se que a presença da cobertura vegetal possibilita a amenização térmica em todas as condições medidas, principalmente em julho e setembro.

Em relação às superfícies permeáveis, notou-se que as correlações obtidas com a umidade relativa máxima são mais significativas nos períodos secos de julho e setembro, o que demonstra que a impermeabilização do solo contribui para a diminuição da umidade. Assim, seria importante estimular, através da legislação, o uso das áreas permeáveis (obrigatórias) para a criação de áreas verdes, com o duplo intuito de melhorar a drenagem pluvial e possibilitar o refrescamento na envoltória da edificação. Nesse sentido, julga-se necessário manter uma taxa de permeabilidade mínima ao nível do lote, recomendando-se que as taxas de ocupação de 100% e 70% permitidas atualmente pela LUOS para os Modelos de Assentamento MA-9 e MA-7 sejam revistas.

A análise das áreas verdes foi importante para demonstrar a necessidade da arborização na cidade, considerando sua influência na melhoria da umidade e na diminuição da amplitude térmica diária. Contudo, os resultados mostraram que o seu efeito pode ser muito localizado, como nos casos da Praça da Matriz ou o do Senac, locais arborizados, mas pertencentes à entornos adensados.

Os resultados encontrados são importantes para reacender o debate sobre as formas de implementação das áreas verdes, pois, mesmo sendo colocado como uma grande prioridade, desde o PDLI de 77, um plano efetivo para a criação de áreas verdes nunca foi implementado no município.

Assim, recomenda-se que seja elaborado um Plano Municipal de Áreas Verdes que leve em consideração as necessidades de cada local. Para a área central, por

exemplo, o aumento da arborização de rua contribuiria para amenizar a temperatura, melhorar a umidade e proporcionar sombra com baixa transmissividade no nível dos pedestres. Além disso, o incremento da vegetação e a criação de massas d'água nas praças centrais ajudaria na renovação do ar fresco e criação de espaços de permanência mais agradáveis já que há uma grande circulação de pessoas nesse local.

Outras sugestões gerais que podem ser feitas através do estudo são: a melhoria da arborização das avenidas sanitárias³³, tendo em vista a ilha de calor identificada nesses pontos e a criação de uma área com vegetação (cinturão verde) nas proximidades do Distrito Industrial, já que se percebeu que a sua localização na direção predominante da entrada dos ventos de verão torna-se impertinente.

Nesse sentido, recomenda-se que o tamanho das áreas verdes seja dimensionado de acordo com a tipologia da ocupação, inclusive para a criação de novos parques, tão necessários para melhorar a qualidade de vida da população.

Em relação às massas d'água, percebeu-se que a Lagoa Interlagos apresentou um efeito maior na umidificação do ar na época seca.

Contudo, vale ressaltar que os resultados encontrados na pesquisa referem-se à situação encontrada para o ano de 2007, que foi em média mais quente e seco do que as médias normais do município (Normais Climatológicas). O ano de medição apresentou uma situação crítica de oito meses de estiagem.

Assim, seria necessário que o monitoramento dos dados climáticos se estendesse por um tempo maior, preferencialmente contínuo, já que os fenômenos climáticos e urbanos são dinâmicos.

O trabalho representou uma primeira abordagem sobre o campo térmico de Montes Claros, uma vez que até então o seu clima urbano ainda não havia sido estudado, assim existem vários desdobramentos dessa pesquisa que merecem ser investigados com mais profundidade.

Um deles é a ventilação urbana. Seria importante que as implicações entre a morfologia urbana e a direção e velocidade dos ventos fossem analisadas em maior

³³ Contudo, pondera-se que tal medida é apenas paliativa já que os problemas decorrentes da retirada da mata ciliar e da impermeabilização do solo permanecem. No entanto, é preciso colocar que houve atualmente uma mudança de mentalidade em relação às matas ciliares do município já que certos trechos onde estas ainda se mantêm preservadas estão sendo usados para a criação de parques urbanos, como exemplo os parques: Guimarães Rosa e Bicano. Contudo, vale ressaltar que a preservação das margens dos cursos d'água constituem-se em uma obrigatoriedade pelo Código Florestal de 1965.

profundidade para que se possa compreender o seu comportamento e sua influência no clima urbano. As informações poderiam resultar em considerações para a melhor orientação das edificações e dos loteamentos.

Sugere-se também o mapeamento das temperaturas do ar na cidade, utilizando um maior número de pontos de medição, e lançando mão inclusive de imagens de satélite em banda termal para que se possa compreender, por exemplo, os mosaicos de temperaturas na cidade e o raio de influência da vegetação.

Seria importante também a elaboração de estudos direcionados para o projeto de edificações de modo a englobar questões como o uso da energia solar, que possui um potencial de uso na região, e a criação de diretrizes projetuais adequadas ao clima local.

Por fim, espera-se que o trabalho tenha contribuído para mostrar a importância da inclusão dos dados da climatologia no planejamento urbano, especialmente em regiões de clima quente, como no caso de Montes Claros, contribuindo assim para a melhoria da qualidade de vida nas cidades.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. *As grandes paisagens brasileiras*. São Paulo: USP, 1970.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Energia Solar [200-]. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2008.

AKBARI, H. ROSE, L.S. *Characterizing the Fabric of the Urban Environment: A Case Study of Metropolitan Chicago, Illinois*. Heat Island Group. Environmental Energy Technologies Division. Lawrence Berkeley National Laboratory. [2001]. Disponível em: <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/900694-BIMLq4/900694.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2007.

AKIBARI, H. KONOPACKI, S. *Streamlined Energy-Savings Calculations for Heat-Island Reduction Strategies*. Heat Island Group. Lawrence Berkeley National Laboratory. [2003]. Disponível em: <http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.article=1211&context=lbnl>>. Acesso em: 20 mai. 2007.

ALUCCI, M. P. *Conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia elétrica: procedimentos para o desenvolvimento e avaliação de projeto de edificações*. 1992. Tese (DOUTORADO) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992. 225p.

ANDRADE, H. *O clima urbano: natureza, escalas de análise e aplicabilidade*. v.XL. n.80. Portugal: Finisterra, 2005.

ASHRAE. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. *Handbook of Fundamentals*. New York: [s.n.], 1993.

ASSIS, E. S. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2005, Maceió. *Anais...* Maceió: Editora ANTAC, 2005. CD-ROM.

_____, E. S. Bases teóricas para a aplicação da climatologia ao planejamento urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: Editora ANTAC, 1997. CD-ROM.

_____, E. S. *Impactos da forma urbana na mudança climática: método para a previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano*. 2000. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

_____, E. S. *Mecanismos de Desenho Urbano Apropriados à atenuação da ilha de calor urbana: análise de desempenho de áreas verdes em clima tropical*. 1990. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: 1990.

_____, E. S. Método integrado de análise climática para arquitetura aplicado à cidade de Belo Horizonte, MG. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ANTAC, 2001. CD-ROM.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Desempenho térmico de edificações*. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. NBR 15.220-3. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.p.1-23.

BARBIRATO, G. M. *Aplicação de modelo de balanço de energia para análise do ambiente térmico urbano de Maceió - AL*. 1998. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos: 1998.

_____, G. M. Influência da proximidade de massas d'água em ambiente climático urbano de Maceió – AL. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ANTAC, 2001. CD-ROM.

BARBUGLI, R.A. *Influência do ambiente construída na distribuição das temperaturas do ar em Araraquara/SP*, 171p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos: 2004.

BITAN, A. The methodology applied climatology in planning and building. *Energy and Buildings*, v.11, p.1-10,1988.

BITTENCOURT, L.S.; CRUZ, J.M.; LOBÔ, D.G.F. A influência da relação entre taxa de ocupação x nº de pavimentos no potencial de ventilação natural dos ambientes internos e externos. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: FAU/UFBA, ANTAC, 1997. CD-ROM.

BONDUKI, N. *Habitat. As práticas bem-sucedidas em habitação, meio ambiente e gestão urbana nas cidades brasileiras*. São Paulo: Studio Nobel, 1997.

BRANDÃO, A.M.PM. O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro. In: MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. *Clima Urbano*. São Paulo: Contexto, 2003.

COSTA, H.S.M. Desenvolvimento Urbano Sustentável: uma contradição de termos? In: Fundação João Pinheiro. *Curso de Gestão Urbana e de Cidades*. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 2001. CD-ROM.

DANNI, I. M. A ilha térmica de Porto Alegre: contribuição ao estudo do clima urbano. *Boletim Gaúcho de Geografia*. Porto Alegre, v. 8, p. 33-48, 1980.

DUARTE, D. Estado da arte em clima urbano e planejamento. In: Seminário Internacional - Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano, NUTAU' 2002. *Anais...* São Paulo: NUTAU/USP, 2002. p.1003-1111.

_____, D. *Padrões de Ocupação do solo e microclimas na região de clima Tropical Continental*. 2000. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

_____, D. *Teorias sobre o clima urbano*. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo [2005]. Disponível em: <http://www.usp.br/teoria_clima_urbano.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2006.

FONTES, M.S.G.C.; MATTOS, A. Análise da Correlação entre temperatura do ar e elementos da estrutura urbana na cidade de São Carlos/SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 1999, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: ANTAC, 1999. CD-ROM.

GIVONI, B.; et al. Outdoor comfort research issues. *Energy and Buildings*, [S.l.], v. 35, n. 1, 2003. p. 77-86.

GUIA INTERNET BRAZIL. Mapa Climático de Köppen. Disponível em: <<http://www.guianet.com.br/brasil/mapaclima.htm>>. Acesso em: 30 jan. 2008.

HONJO, T.; TAKAKURA, T. Simulation of thermal effects of urban green areas on their surrounding areas. *Energy and Buildings*, Netherlands, n.15, p.443-446, 1990.

HOUGH, M. *Naturaleza e Ciudad*. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. CIDADES. 2006. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.IBGE.GOV.BR/CIDADESAT](http://www.ibge.gov.br/cidadesat)>. ACESSO EM: 14 JUL. 2006.

KATZSCHNER, L. Urban climate maps: a tool for calculation of thermal conditions in outdoor spaces. In: Conference on Passive and Low Energy Architecture, 17, Cambridge. *Anais ...* Cambridge, UK: James & James, 2000.

_____, L. Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: Editora ANTAC, 1997. CD-ROM.

LOIS, E.; LABAKI, L. C. Conforto térmico em espaços externos: uma revisão. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001, São Pedro. *Anais...* São Paulo: ANTAC, 2001. CD-ROM.

LABAKI, L.C.; OLIVEIRA, M.C.A.; FREIRE, A.P. The effect of pavement materials on thermal comfort in open spaces. In: Conference on Passive and Low Energy Architecture, 18, Florianópolis. *Anais ...* Florianópolis: Editora UFSC, 2001.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. *Eficiência Energética na Arquitetura*. São Paulo: PW Editores, 1997.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. *Conforto Térmico e Stress Térmico*. Florianópolis: LabEEE/UFSC, 2002.

LANDSBERG, H.E. *The Urban Climate*. New York: Academic Press, 1981.

LAWRENCE, R.J. Human ecology and its applications. *Landscape and Urban Planning*, n. 65, p.31-40, 2003.

LEFEBVRE, H. *A revolução urbana*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1999.

_____, H. *O direito à cidade*. São Paulo: Documentos, 1969.

LOMBARDO, M. A. *Ilha de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: Hucitec, 1985.

MAYER, H.; HÖPE, P. Thermal comfort of man in different urban environments, *Theoretical and Applied Climatology*, n. 38, p. 43-49, 1987.

MARICATO, E. *Brasil, cidades: alternativas para a crise urbana*. Petrópolis, RJ: Vozes, 2001.

MASCARÓ, L.R. *Ambiência urbana*. Porto Alegre: Sagra / DC Luzzato, 1996.

MENDONÇA, F. Clima e planejamento urbano em Londrina: proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do estudo do campo higro-térmico. In: MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. *Clima Urbano*. São Paulo: Contexto, 2003a.

_____, F. O estudo do clima urbano no Brasil: evolução, tendências e alguns desafios. In: MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. *Clima Urbano*. São Paulo: Contexto, 2003b.

MENDONÇA, R.S.R.; ASSIS, E.S. Conforto térmico urbano: estudo de caso do bairro Floresta - Belo Horizonte. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001, São Pedro. *Anais...* São Paulo: ANTAC, 2001. CD-ROM.

MIZUNO, M. et al. Effects of land use on urban horizontal atmospheric temperature distributions. *Energy and Buildings*, n.15, p.165-176,1990.

MONTEIRO, C.A.F. *Teoria e Clima urbano. Série Teses e Monografias*, São Paulo, n. 25, 1976.

_____, C.A.F. Teoria e clima urbano: um projeto e seus caminhos. In: MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. *Clima Urbano*. São Paulo: Contexto, 2003.

MONTES CLAROS, Prefeitura Municipal. *Plano Estratégico Municipal para Assentamentos Subnormais (PEMAS): programa de desenvolvimento Institucional dos municípios para a gestão urbana*. Montes Claros: Engesolo Engenharia, 2001.

MONTES CLAROS, Prefeitura Municipal. SEPLAN. Imagem de Satélite IKONOS, 2005. Montes Claros: PMMC, 2007.

MONTES CLAROS, Prefeitura Municipal. SEPLAN. *Lei de Uso e Ocupação do Solo de Montes Claros*. Montes Claros: PMMC, 2001.

MONTES CLAROS, Prefeitura Municipal. SEPLAN. *Plano Diretor de Montes Claros. Montes Claros: PMMC, 2001.*

MONTES CLAROS. Prefeitura Municipal. *Plano de Desenvolvimento de Montes Claros. Montes Claros: PMMC, 1991.*

NEWMAN, P.W.G. Sustainability and cities: extending the metabolism model. *Landscape and Urban Planning*. v.44. p.219-226, 1999.

OKE, T. R. Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites, Instruments and Methods of Observation Program, *IOM Report...* n.81, WMO/TD 1250, World Meteorological Organization, Geneva, 2004.

_____, T.R.; SPRONKEN-SMITH, R.A.; JAUREGUI, E.; GRIMMOND, C.S.B. The energy balance of central Mexico City during the dry season. *Atmospheric Environment*, v.33. p.3919-3930, 1999.

_____, T.R. *Boundary Layer Climates*. 2. ed. New York: Routledge, n.3-76, p. 272-303, 1996.

_____, T. R. Methods in urban climatology. *Applied Climatology*, n. 14, 1984.

_____, T. R. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, n. 108, p. 1-24, 1982.

_____, T. R. Canyon geometry and the nocturnal heat island: comparisons of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, n. 1, p. 237-254, 1981.

_____, T.R. *Boundary Layer Climates*. New York: Halsted, 1978. 372p.

_____, T.R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, v.14, n.4, p.269-277, 1976.

OLIVEIRA, M.F.M. (org). *Formação Social e Econômica do Norte de Minas. Montes Claros: Editora Unimontes, 2000.*

PEREIRA, A. M.; ALMEIDA, M.I.S. (Org). *Leituras geográficas sobre o Norte de Minas Gerais. Montes Claros: Editora Unimontes, 2004.*

PEREIRA, F.O.R.; PEREIRA, A.T.C. Envelope Solar: um exercício teórico ou uma proposição viável. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., 1995, Gramado. *Anais...* São Paulo: ANTAC, 1995. CD-ROM. p.499-504.

PLANO de Desenvolvimento Local Integrado–PDLI. Belo Horizonte: PRODAX, 1997.

RIVERO, R. *Clima e Arquitetura: condicionamento térmico natural. Porto Alegre: D. E. Luzzato e UFRGS, 1985.*

ROMERO, M.A.B. *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. 2. ed. Brasília: Editora UnB, 2000.

RORIZ, M.; DORNELLES, K. Identificação da absorvância solar de superfícies opacas a partir de imagens digitalizadas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2005, Maceió. *Anais...* Maceió: Editora ANTAC, 2005. CD-ROM.

SANTOS, I.G.S.; GAZZOLA, H.L.; ASSIS, E.S. A Graphical Method for the Sky View Factor Calculation in the Urban Heat Island Studies. In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 20., 2003a, Santiago, Chile. *Anais...* Santiago: 2003.

SANTOS, I. G.S.; GAZZOLA, H.L.; ASSIS, E. S. Influência da geometria urbana e da inércia térmica na alteração do clima urbano: uma abordagem preditiva. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2003b, Curitiba. *Anais...* São Paulo: ANTAC, 2003b. CD-ROM.

SANTOS, M. *A urbanização brasileira*. 3. ed. São Paulo: Hucitec, 1993.

SAYDELLES, A.L. *Estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano em Santa Maria-RS*. 2005. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geografia, Universidade Federal de Santa Maria/RS, Santa Maria, 2005.

SEZERINO, M.L.; MONTEIRO, C.A.F. O campo térmico da cidade de Florianópolis: primeiros experimentos. *Geosul*, Florianópolis, n. 2, p. 20-60, 1990.

SILVA, A.M.S.; JESUS, S.M. *Bacia do Rio Vieira Caracterização e Impactos Ambientais*. 2002. Dissertação (Monografia) - Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2002.

SOUZA, L.C.L.; RODRIGUES, D.S.; MENDES, J.F.G. Expandindo um SIG-3D para aplicação em conforto ambiental em nível urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2003, Curitiba. *Anais...* São Paulo: ANTAC, 2003. CD-ROM. p.471-478.

SOUZA, R.V.G. *Iluminação natural em edificações: cálculo de iluminâncias desenvolvimento de ferramenta simplificada*. 1997. 159 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE – SUDENE. *Levantamento exploratório: reconhecimento de solos do norte de Minas Gerais (área de atuação da Sudene)*. Recife: Embrapa-Sudene, 1979.

TARIFA, J.R. O ritmo e a prática do estudo dos climas de São Paulo (1970-2000). In: TARIFA, J.R.; AZEVEDO, T.R. de. (orgs). *Os climas da cidade de São Paulo: teoria e prática*. GEOUSP, São Paulo, Coleção Novos Caminhos, 4, p.11-33, 2001.

Apêndice 1 – Descrição do comportamento climático em cada dia de medição.

Dia 19/01/07 – A medição ocorreu sob céu claro e tempo firme. Nesse dia, registrou-se temperaturas altas, chegando aos 36,5°C.³⁴

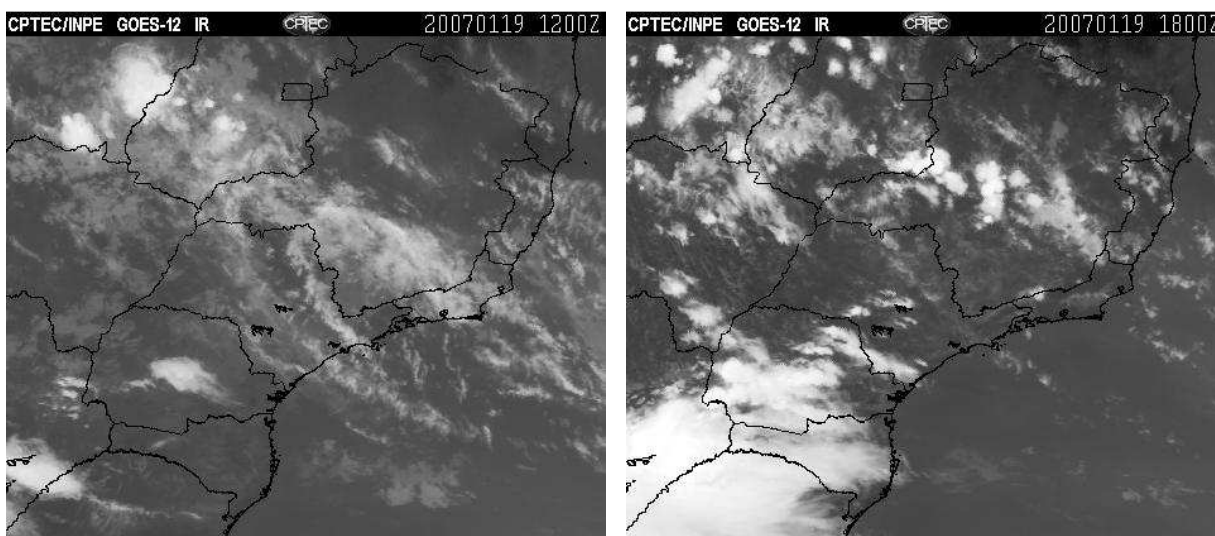
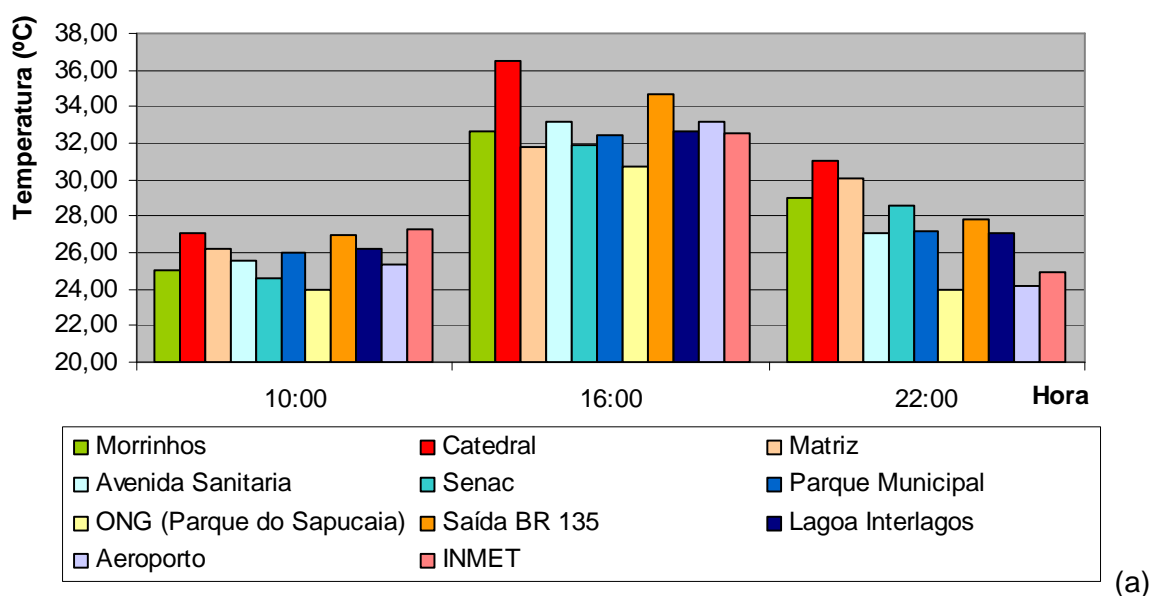


Figura 1 – Nebulosidade nos horários de 10 e 16 horas respectivamente dia 19/01/07. Fonte: INPE.



³⁴ As informações sobre as condições sinópticas para todos os dias de medição foram cedidas pela Estação Climatológica do Aeroporto (Comando da Aeronáutica).

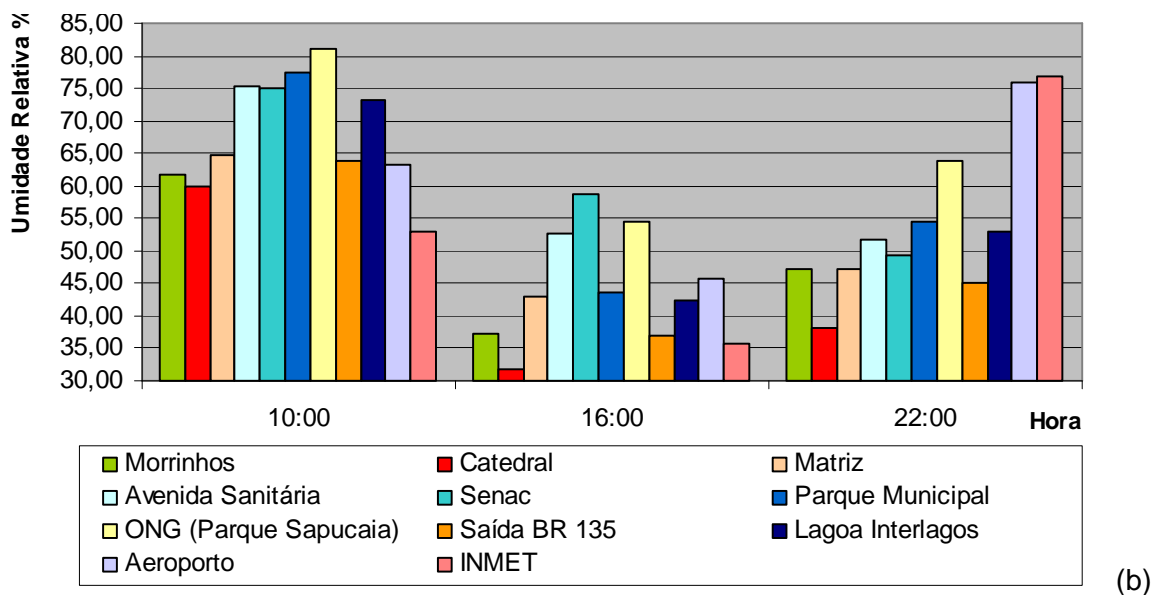
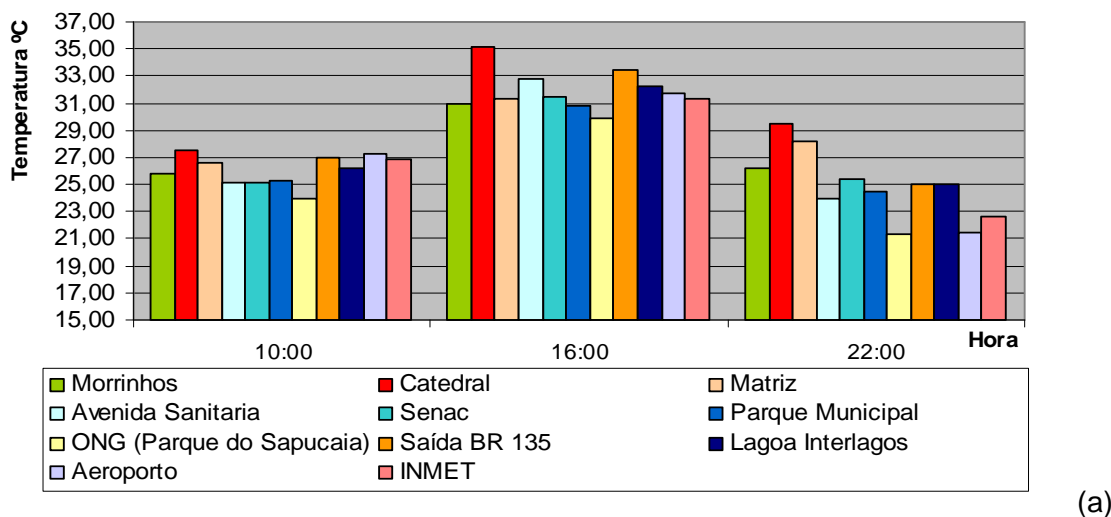


Figura 2 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa% (b) para o dia 19/01/07. Fonte: arquivo da autora.

Durante o dia, a temperatura na Catedral (local mais adensado) é mais aquecida que nos demais pontos. O ponto na saída da BR 135, embora localizado fora do perímetro urbano, apresenta temperatura da tarde elevada. A medição das 22 horas demonstra que as temperaturas mais elevadas ocorrem justamente nas mais adensadas: Catedral, Matriz, Morrinhos e Senac. Em relação à umidade, observa-se que esta apresenta um declínio significativo em todos os pontos no período da tarde.

Dia 20/01/07 – O dia seguiu com céu aberto com poucas nuvens.



(a)
Continua ...

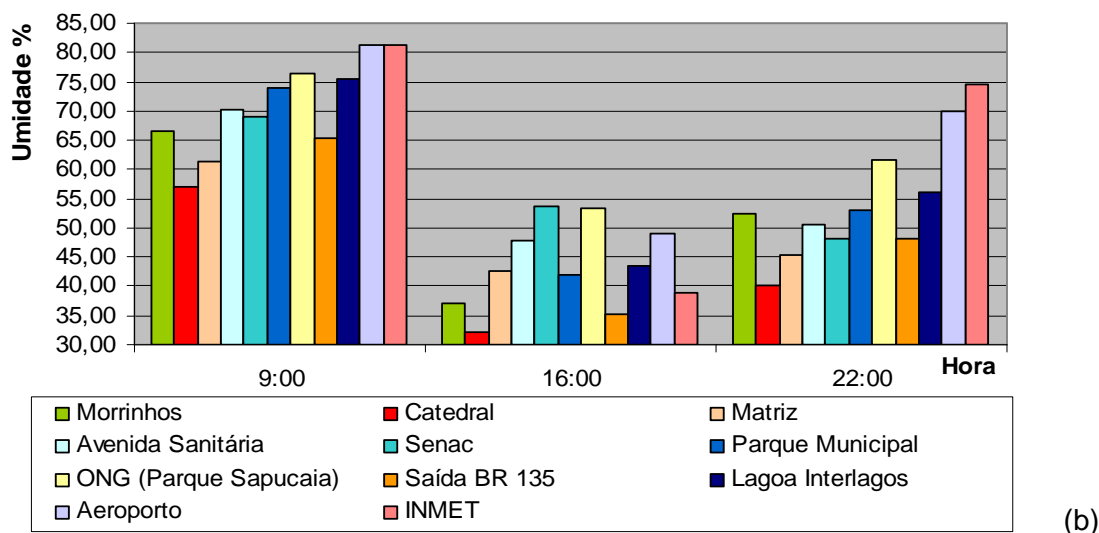


Figura 3 (a) e (b) - Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 20/01/07.
 Fonte: arquivo pessoal da autora.

No período da tarde, os pontos da Catedral e Avenida Sanitária (bastante impermeabilizados) registram temperaturas de 35 e 33 °C respectivamente. A Lagoa Interlagos também apresenta temperatura elevada no horário, provavelmente em virtude da capacidade de armazenamento de calor da lâmina d'água. No período noturno, os pontos mais aquecidos correspondem exatamente àqueles com ocupação mais densa. Durante a manhã, os pontos com maior índice de cobertura vegetal apresentam os maiores percentuais de umidade. À tarde, a umidade relativa diminui consideravelmente em todos os pontos.

Dia 21/01/07 – Dia de céu aberto claro, grande insolação diária.

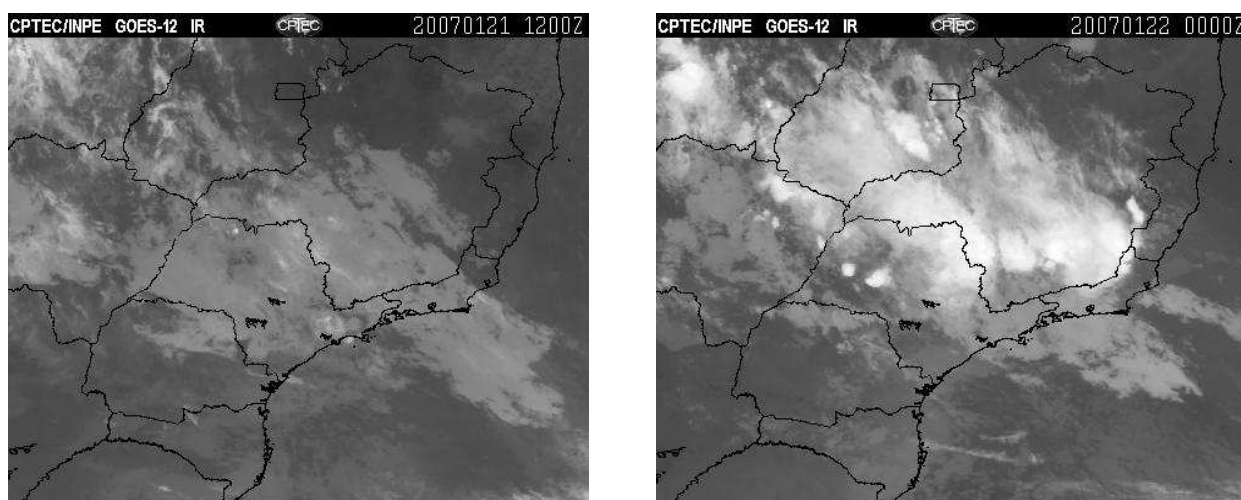
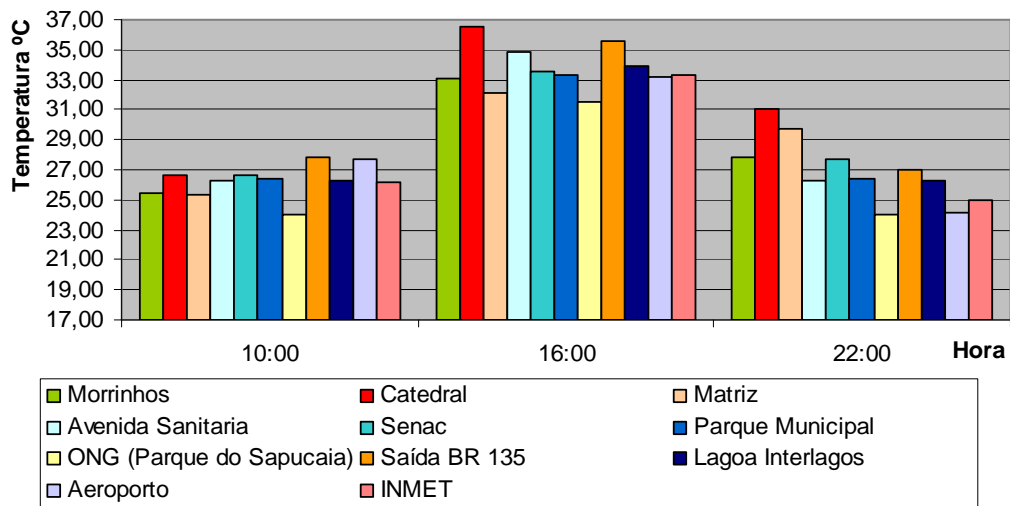
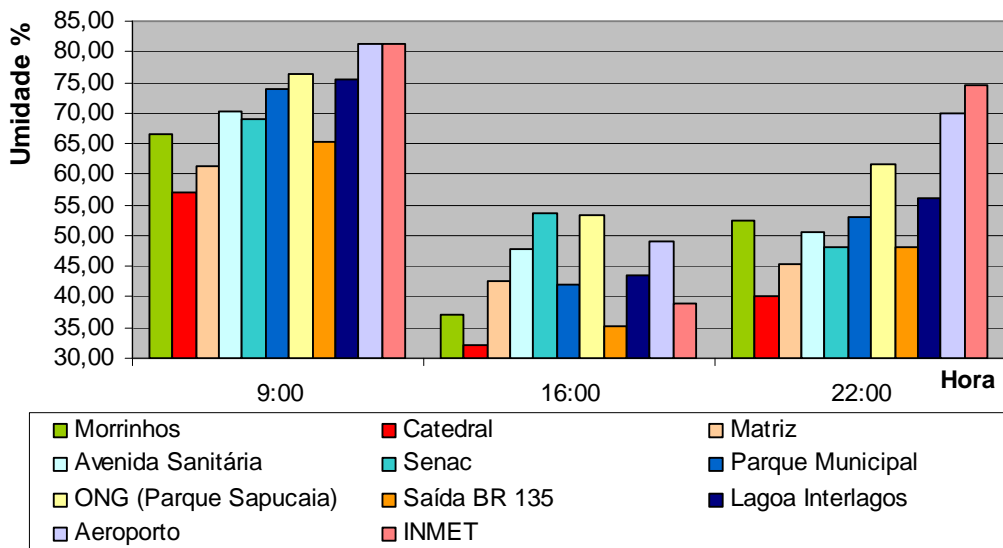


Figura 4 – Nebulosidade nos horários de 16 e 22 horas respectivamente dia 21/01/07.
 Fonte: INPE.



(a)



(b)

Figura 5 (a) e (b) - Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 21/01/07.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

Durante à tarde, os pontos centrais permanecem com temperaturas significativamente superiores em relação às áreas periféricas, com exceção da região da Lagoa Interlagos e da Saída BR 135. Os pontos da Avenida Sanitária e do Senac, mesmo situados relativamente próximos, apresentam uma diferença de temperatura que provavelmente, está associada ao fato de que na região do Senac o Córrego Vieiras constitui-se um *boulevard* arborizado e na Avenida Sanitária, o mesmo foi canalizado para a criação de vias marginais que tornam a área muito impermeabilizada (grande área asfaltada).

Em relação à umidade relativa, percebe-se que durante o período vespertino, os pontos localizados no núcleo central da cidade (Catedral e Matriz) aparecem com percentuais de umidade muito baixos para essa época do ano.

Dia 22/01/07 – Predomina o tempo estável, com temperaturas e umidade elevadas.

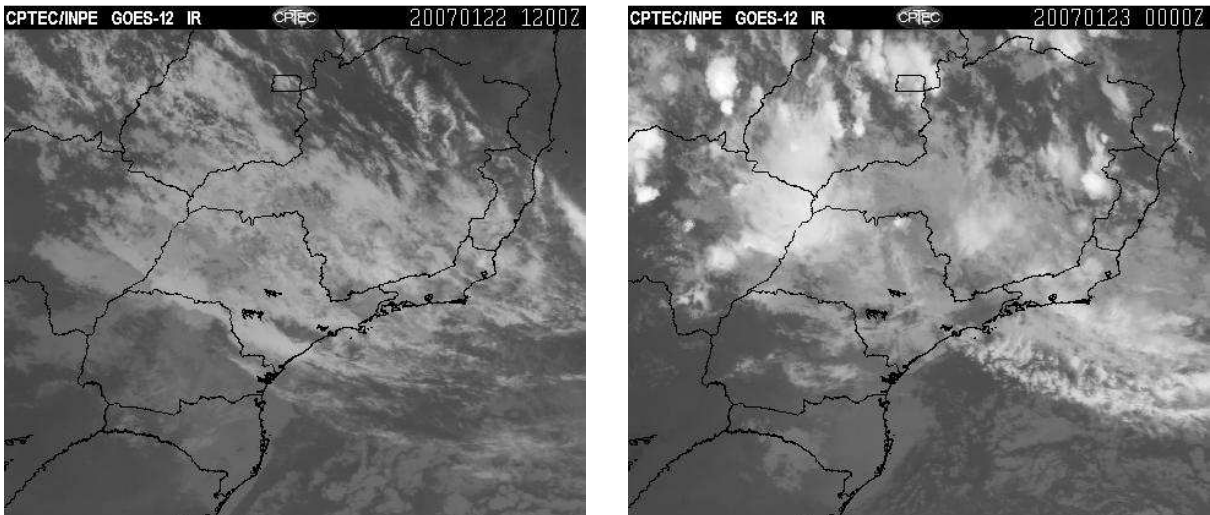
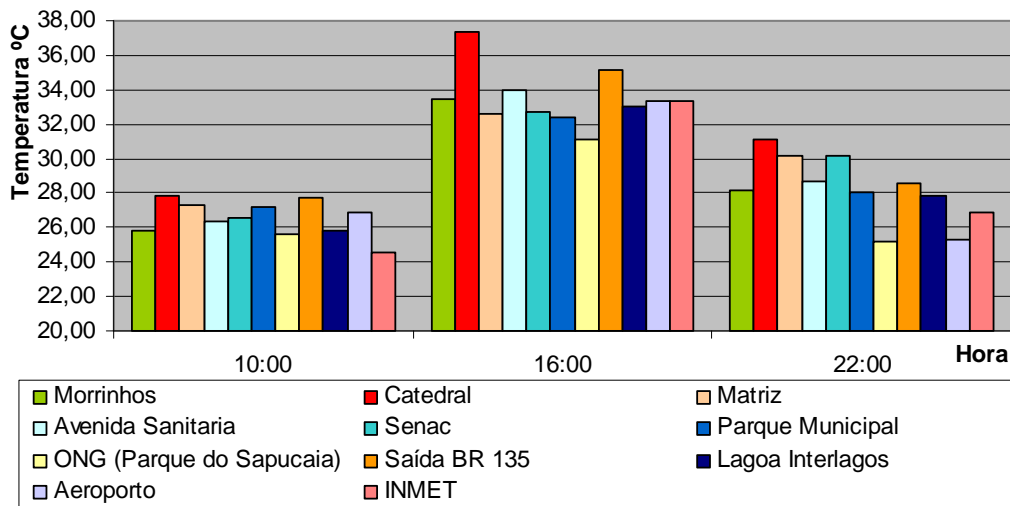
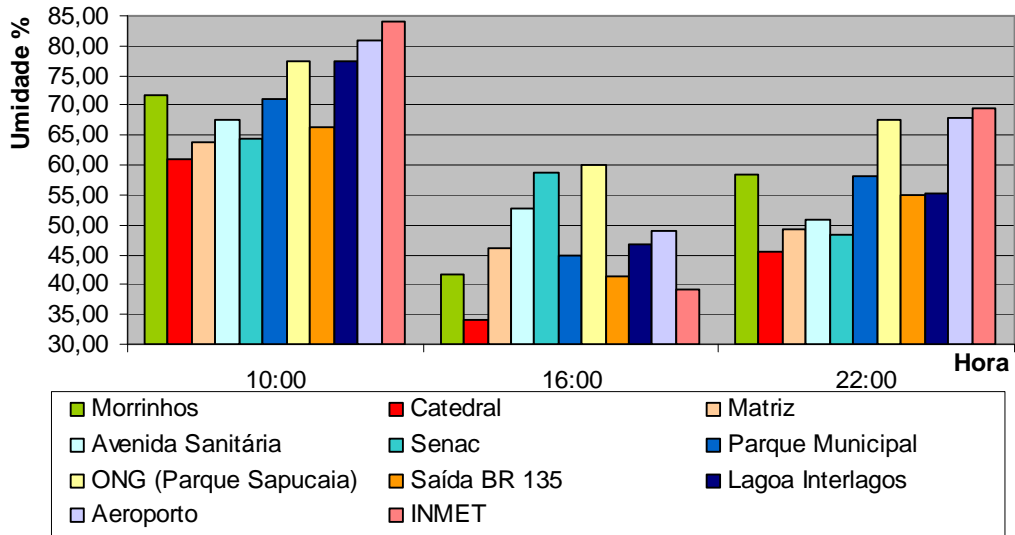


Figura 6 – Nebulosidade nos horários de 16 e 22 horas respectivamente dia 22/01/07. Fonte: INPE.



(b)

Continua ...



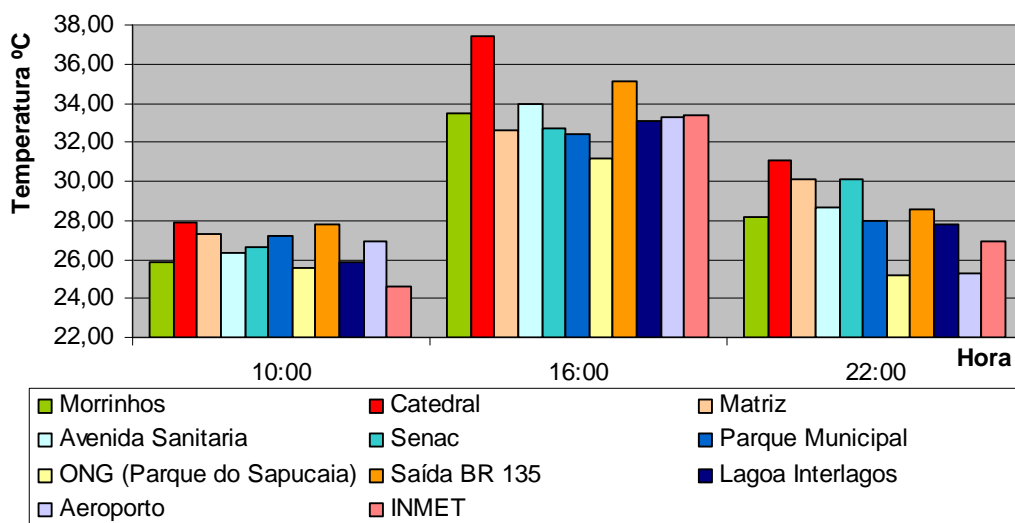
(b)

Figura 7 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 22/01/07.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

Notadamente, os pontos da região central apresentam temperatura mais elevada que pontos periféricos, especialmente os parques, essa diferença prolonga-se até o período noturno.

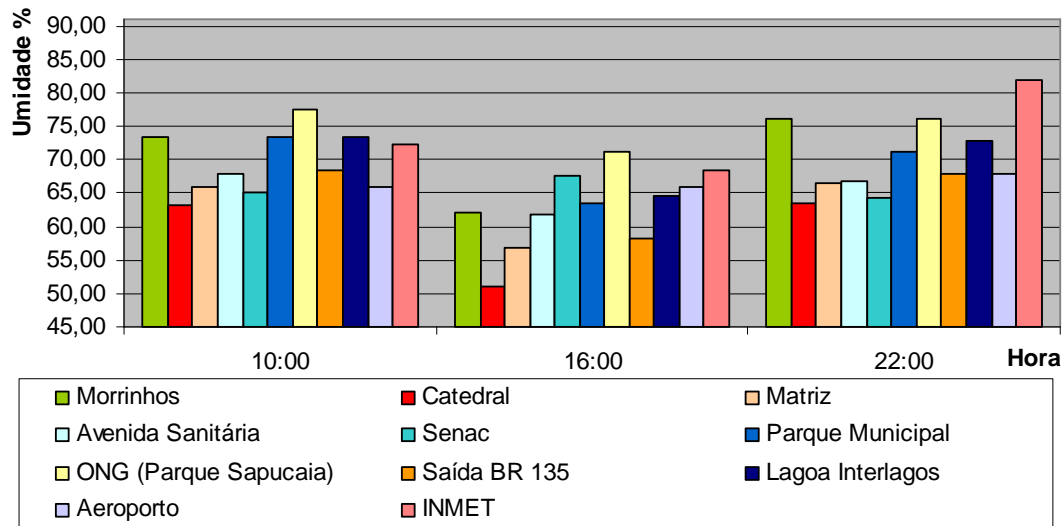
Durante a tarde, a umidade relativa declina consideravelmente, mas em certos locais como o Senac e a Avenida Sanitária, a ocorrência de temperatura e umidade elevadas ocasiona o desconforto térmico.

Dia 23/01/07 – Dia com céu encoberto e rajadas de vento durante a manhã.



(a)

Continua...

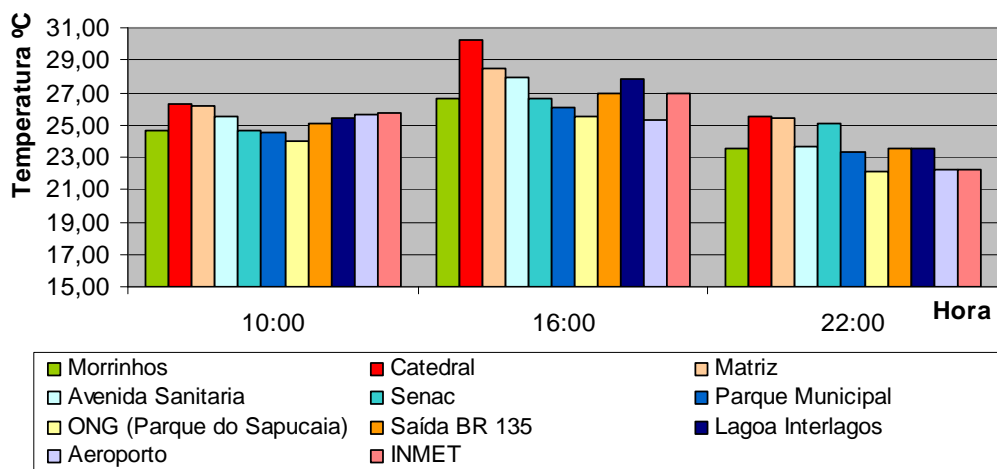


(b)

Figura 8 (a) e (b) - Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 23/01/07.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

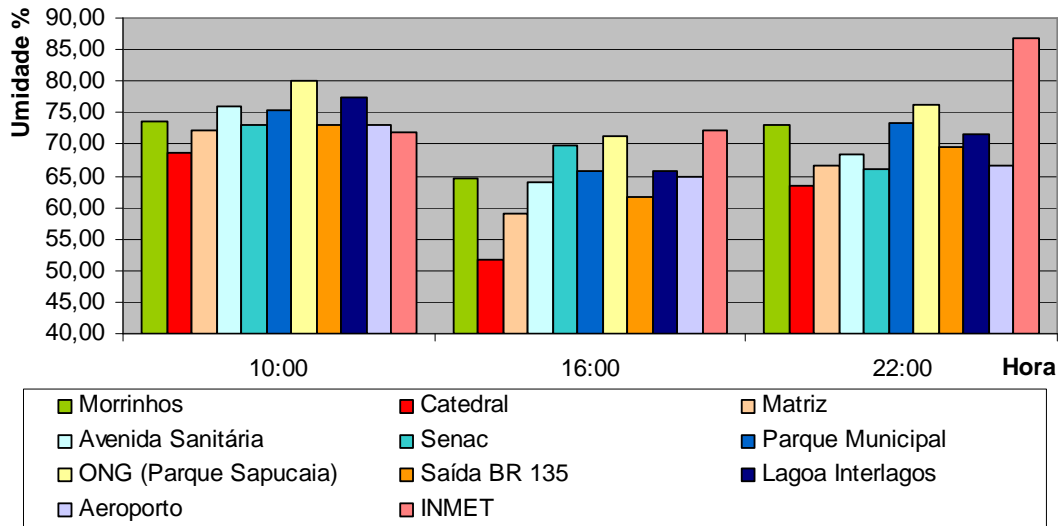
Como nos demais dias, as maiores diferenças de temperatura ocorrem no período vespertino. Em relação ao ponto dos Morrinhos, coloca-se que a condição topográfica, e a conseqüente exposição à incidência solar, pode justificar a temperatura elevada verificada no local. Em relação à umidade, o ponto dos Morrinhos apresenta um percentual de umidade relativa mais expressiva que os demais pontos da região central.

Dia 24/01/07 – O dia apresentou céu encoberto, com rajadas de vento no período da tarde.



(a)

Continua...



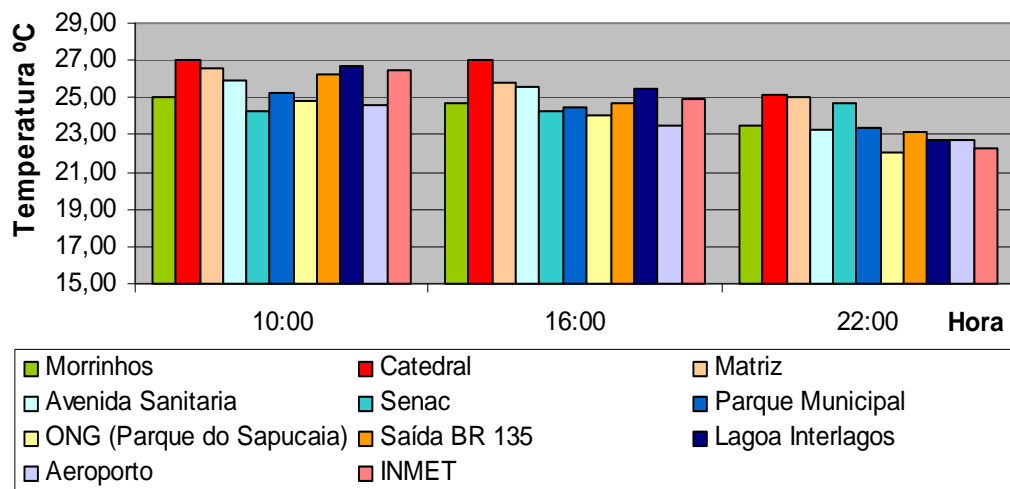
(b)

Figura 9 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 24/01/07.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

Observa-se a configuração de uma diferença horizontal de temperatura no período da tarde: os pontos do núcleo central (Catedral e Matriz) aparecem mais aquecidos, seguido dos pontos da Avenida Sanitária e do Senac, que circundam esse núcleo central, e por fim, aparecem os pontos do Parque Municipal e da ONG, mais afastados da área urbana central e com ocupação menos densa. Às 16 horas, a diferença térmica entre os pontos é de 5°C.

Essas informações podem ser confirmadas pelos dados de umidade relativa no período da tarde. A partir desse horário o índice de umidade na região torna-se maior.

Dia 25/01/07 – Segue a condição de céu encoberto, com temperaturas altas.



(a)

Continua...

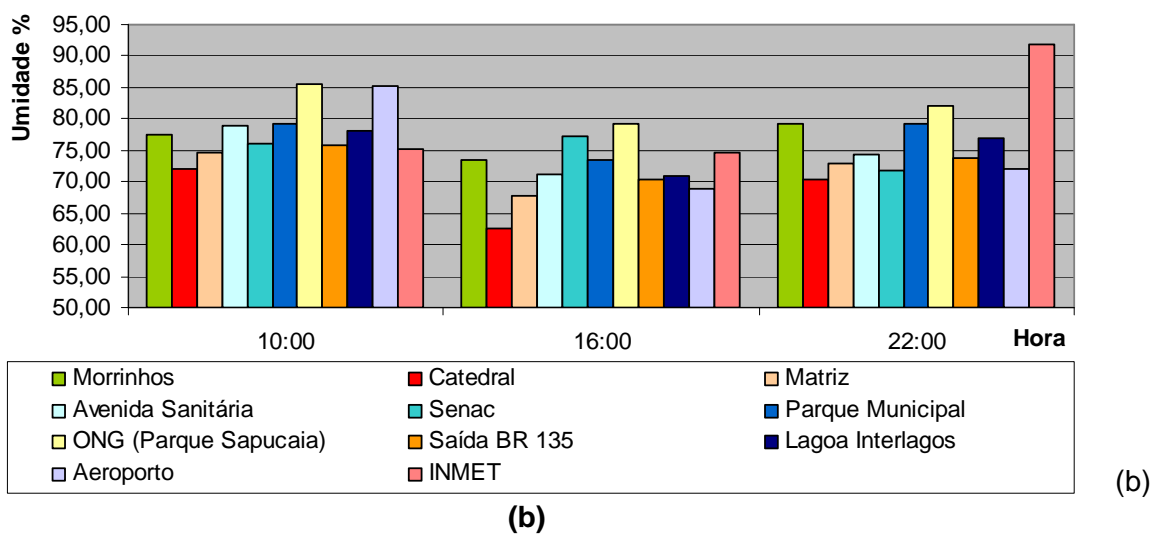


Figura 10 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 25/01/07.
 Fonte: arquivo pessoal da autora.

Nesse dia, as temperaturas medidas em cada ponto variaram pouco entre a manhã e a tarde. O decréscimo de temperatura registrado no Aeroporto pode ter sido causado pelos ventos na direção nordeste. Há um aumento significativo da umidade em relação aos dias anteriores.

Dia 26/01/07 – Predomina o céu aberto com temperaturas altas.

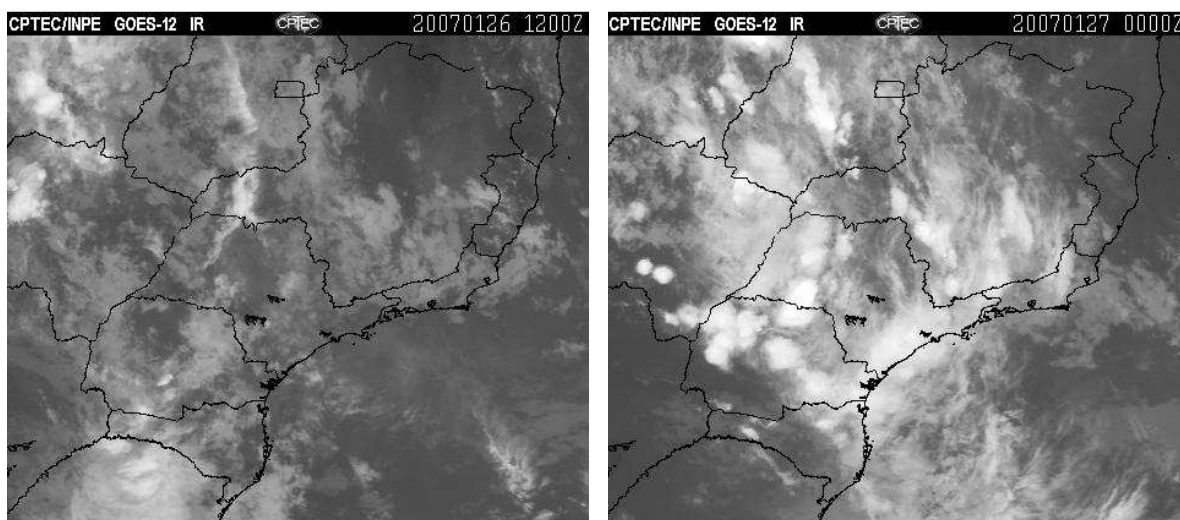
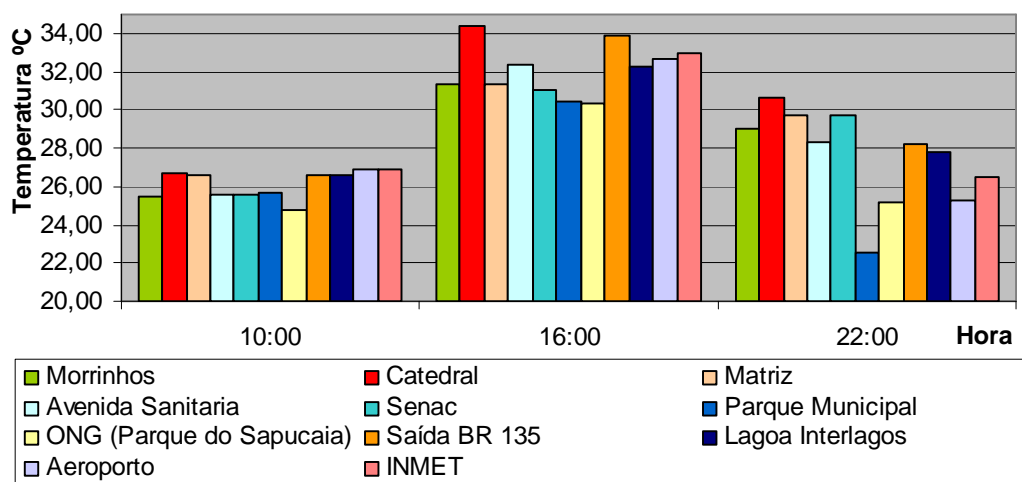
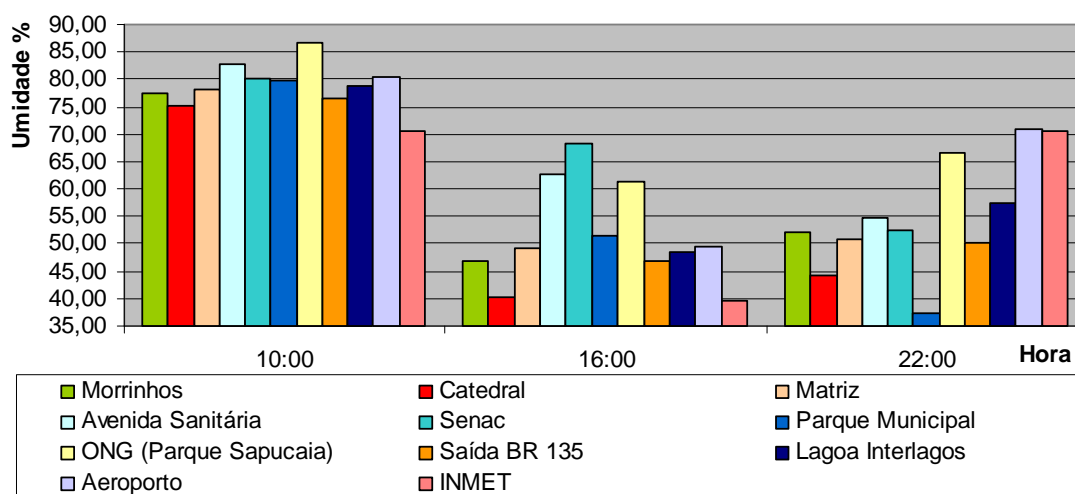


Figura 11 - Nebulosidade nos horários de 16 e 22 horas respectivamente dia 26/01/07.
 Fonte: INPE.



(a)



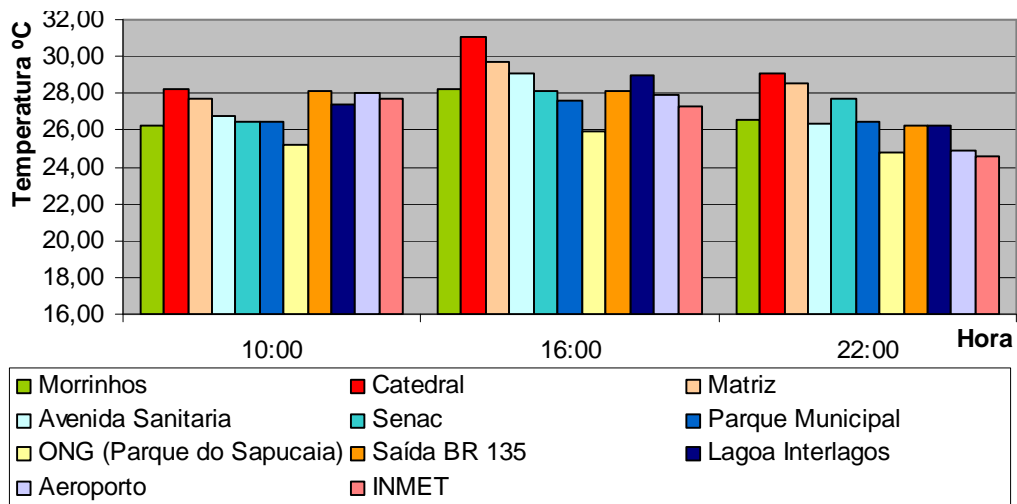
(b)

Figura 12 (a) e (b) - Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 26/01/07.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

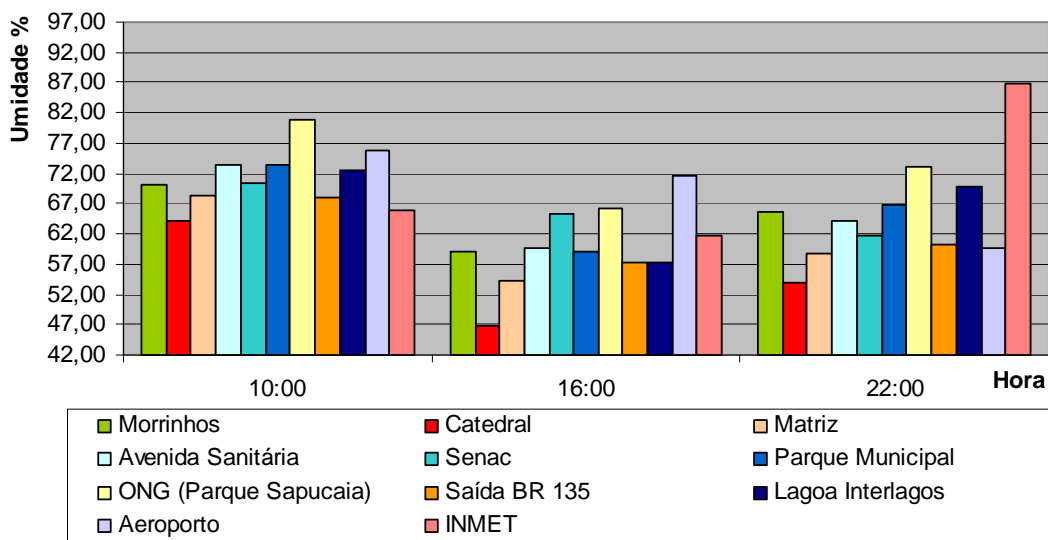
As temperaturas se elevam no período da tarde. Os dados registrados às 22 horas revelam a configuração de uma ilha de calor noturna sobre a cidade, coincidindo com os pontos mais adensados. Os pontos próximos aos parques (Municipal e ONG) seguem com temperaturas noturnas mais amenas.

A umidade declina significativamente no período da tarde.

Dia 27/01/07 – Dia com céu parcialmente encoberto.



(a)



(b)

Figura 13 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 27/01/07.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

Novamente, percebe-se uma configuração horizontal de diferença de temperatura, variando entre as áreas mais adensadas Catedral e Matriz (hipercentrais), Avenida Sanitária e Senac (centrais) e as periféricas (Parque Municipal e ONG).

A redução da temperatura vespertina dos Morrinhos pode estar associado à condição de céu encoberto, já que sua localização em topo de morro favorece uma maior exposição solar.

Foi registrado maior percentual de umidade na medição noturna do que na medição da tarde.

Dia 28/01/07 – Com a instabilidade do tempo ocorreu precipitação durante a madrugada e pela manhã.

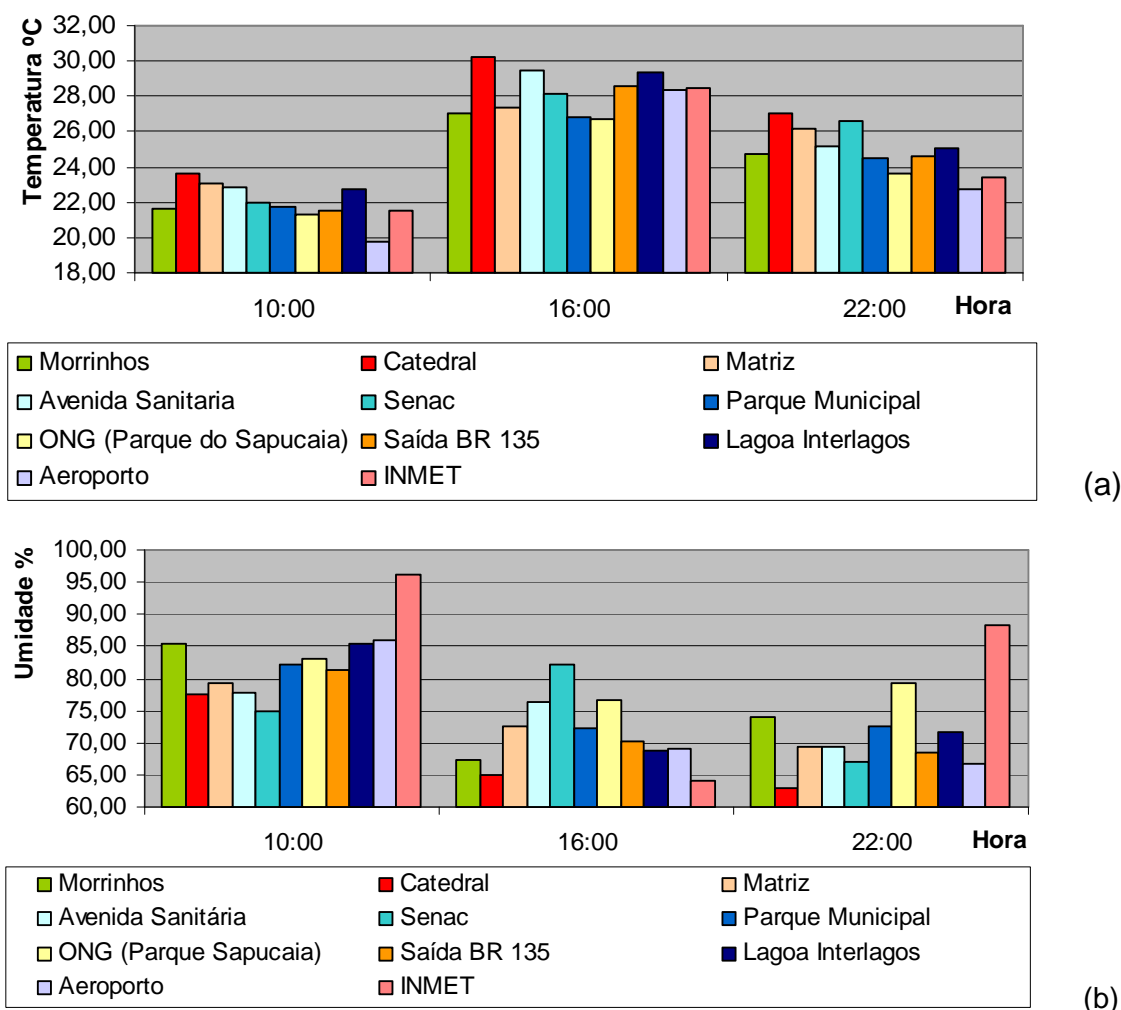


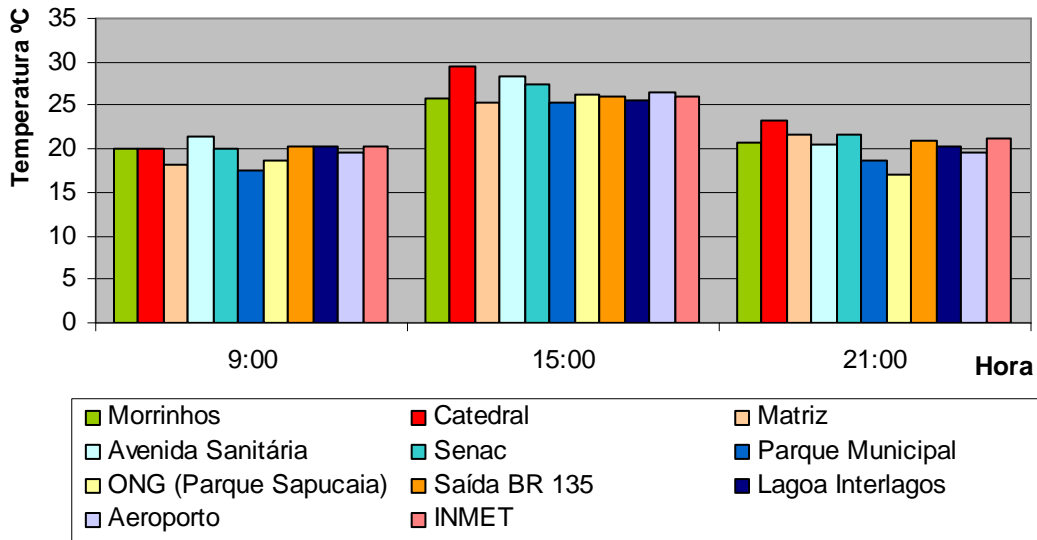
Figura 14 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 28/01/07. Fonte: arquivo pessoal da autora.

Os pontos localizados nas áreas mais impermeabilizadas (Catedral e Avenida Sanitária) alcançaram maior temperatura às 16 horas. A Matriz apresenta uma redução proporcional na temperatura, possivelmente pelo efeito da vegetação presente na praça.

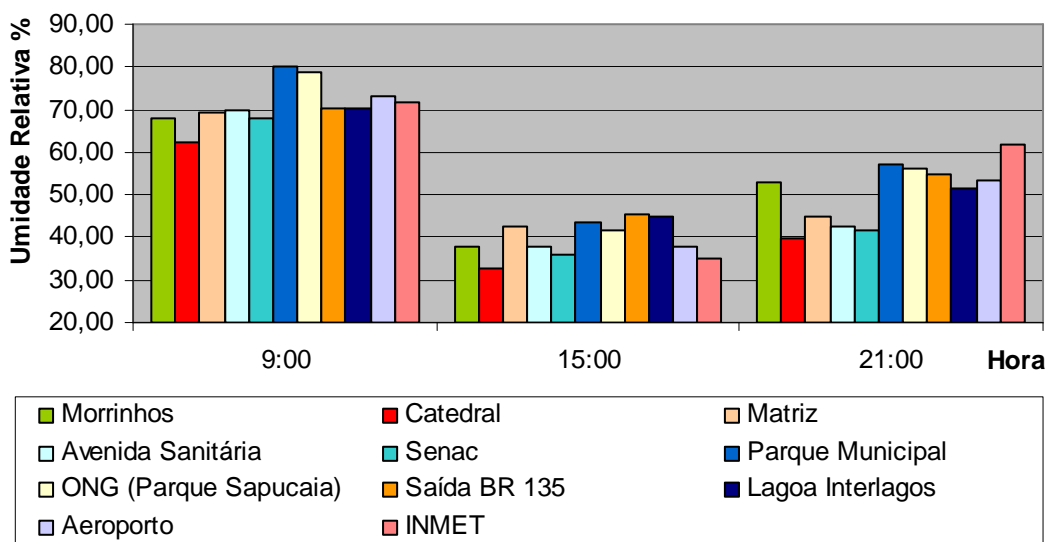
Às 22 horas, houve a configuração de uma típica ilha de calor noturna.

Resultados da Medição de junho e julho de 2007:

Dia 25/06/07 – Dia de céu aberto com poucas nuvens.



(a)



(b)

Figura 15 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 25/06/07.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

A temperatura é mais amena na parte da manhã e torna-se mais elevada no período da tarde, com pico entre 14 e 16 horas, ou seja, mais cedo do que na situação de verão. Os pontos com maior índice de impermeabilização do solo aparecem com as maiores temperaturas.

Em relação à umidade nota-se há uma redução brusca desta entre as primeiras horas da manhã e o período da tarde. Os picos de menor umidade ocorrem por volta das 16 horas.

Dia 26/06/07 – O dia registra as máximas temperaturas do período de medição.

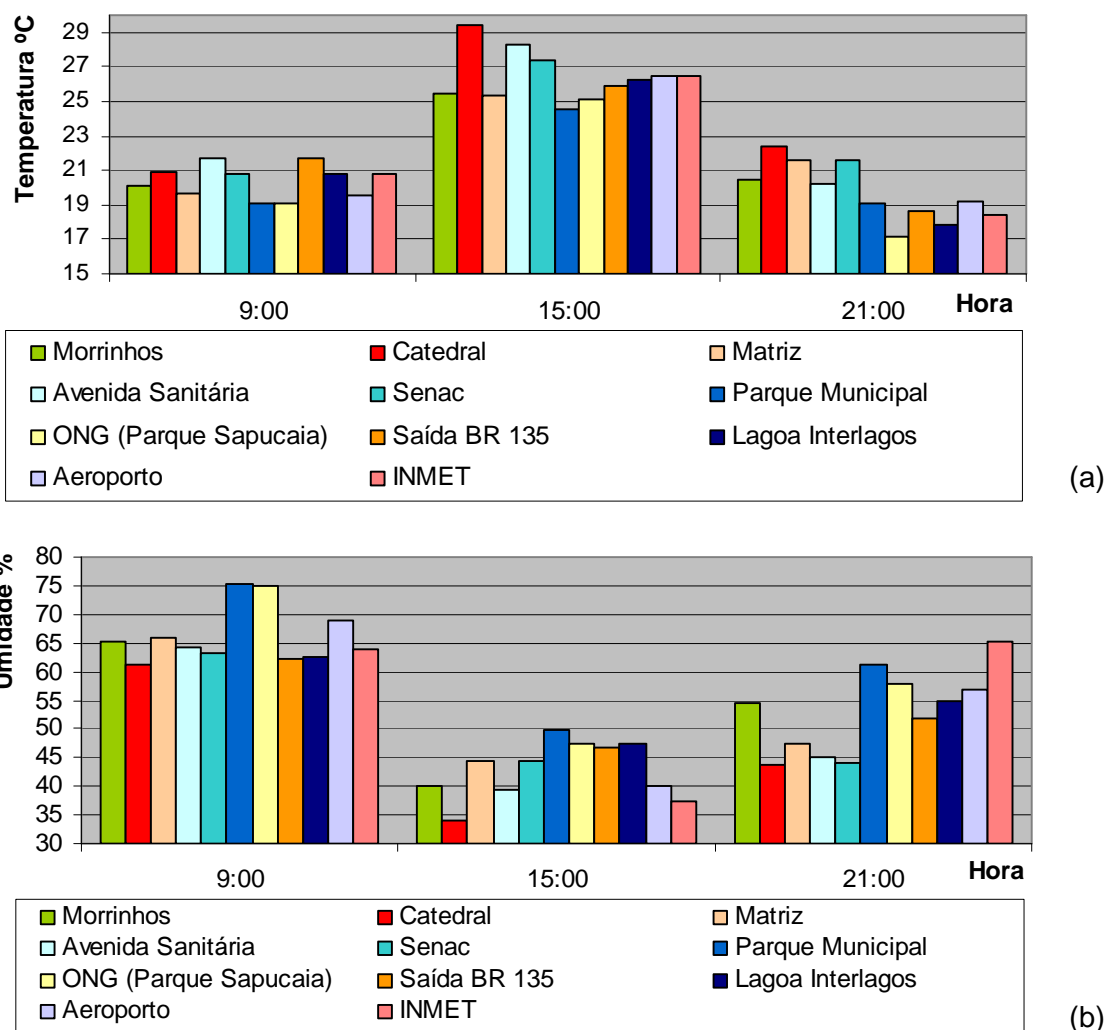


Figura 16 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 26/06/07. Fonte: arquivo pessoal da autora.

Os gráficos acima demonstram a significativa diferença de temperatura e umidade entre o período da manhã e da tarde. Os resultados revelam a ocorrência de uma ilha de calor na área central - Catedral, incluindo os pontos da Avenida Sanitária e do Senac que recebem um fluxo intenso de veículos e pessoas. Há um declínio brusco de temperatura nas áreas periféricas: Parque Municipal e proximidades do Parque da Sapucaia. Essa mesma distribuição horizontal de temperaturas do ar ocorre no período noturno.

Em relação ao ponto da Matriz ressalta-se que mesmo localizando-se na área central adensada, as temperaturas registradas foram proporcionalmente inferiores às proximidades e à situação de verão, as hipóteses para o fato são: o sombreamento dos edifícios vizinhos no abrigo da pesquisa, ou efeito de

amenização térmica da vegetação densa presente na praça. No período noturno, o comportamento térmico da área se assemelha a dos pontos mais centrais.

Da mesma forma, os resultados demonstram uma ilha de baixa umidade na área central.

Dia 27/06/07 – Céu com nuvens esparsas. As temperaturas decaem.

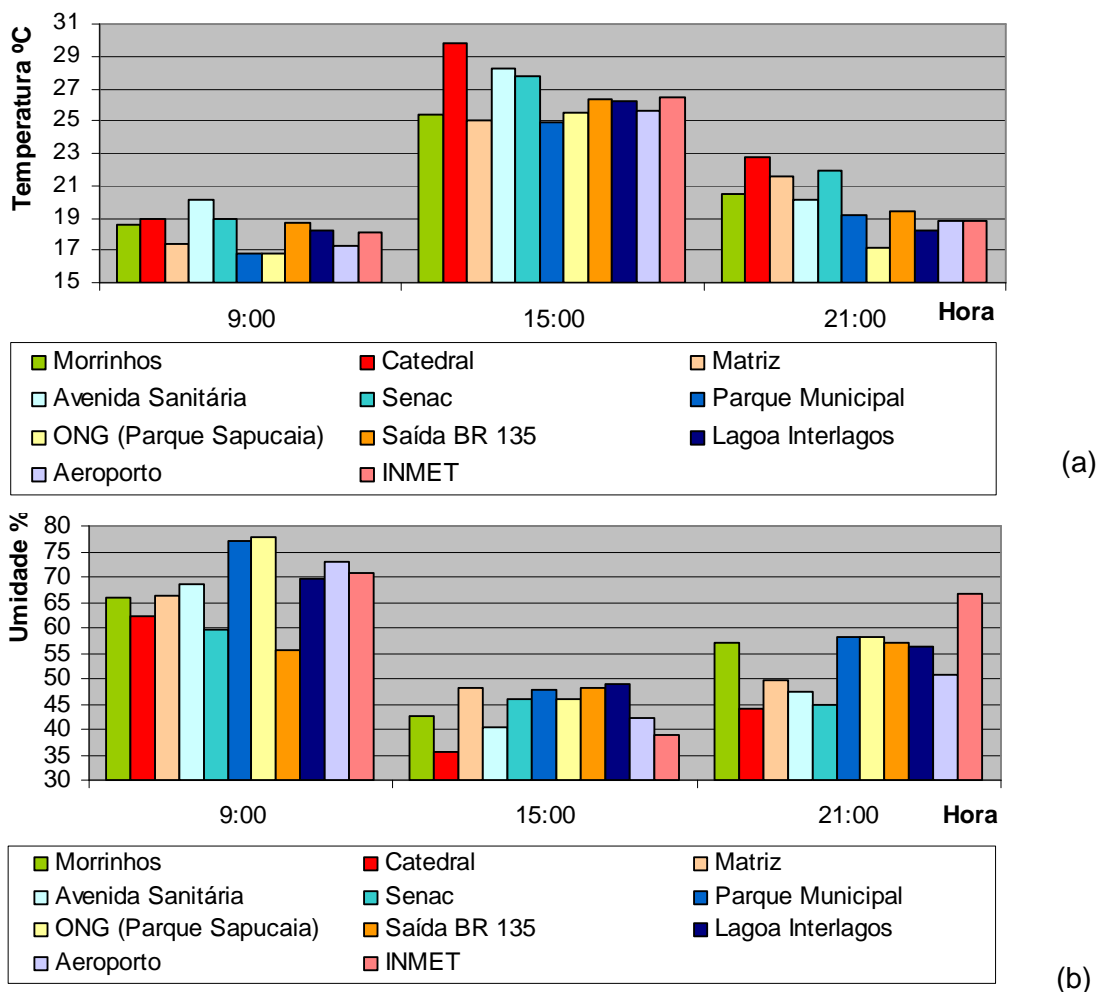


Figura 17 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 27/06/07. Fonte: arquivo pessoal da autora.

As temperaturas da manhã decaem consideravelmente em relação ao dia anterior. Novamente, percebe-se a configuração de diferenças de temperatura entre a área central e as áreas periféricas representadas pelos pontos na proximidade dos parques Municipal e Sapucaia (ponto ONG) a sudoeste, e a região da Lagoa Interlagos, INMET e o Aeroporto a norte/nordeste. O ponto fora do perímetro urbano (BR 135) apresenta diminuição da temperatura em relação à situação de verão. A

diferença higrômica entre as áreas centrais e periféricas permanece no período noturno.

Dia 28/06/07 – Dia com céu aberto entre nuvens.

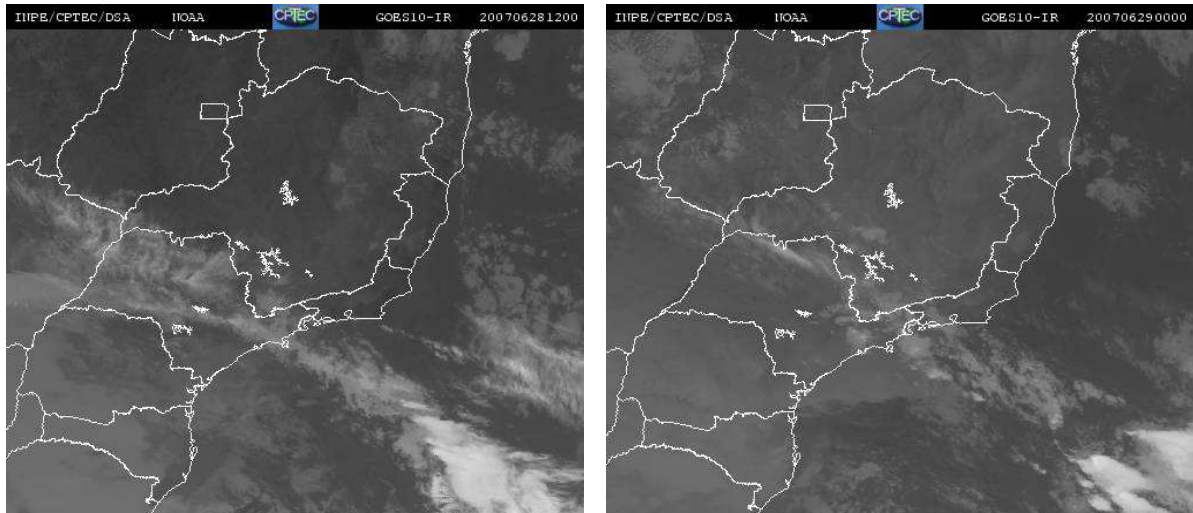
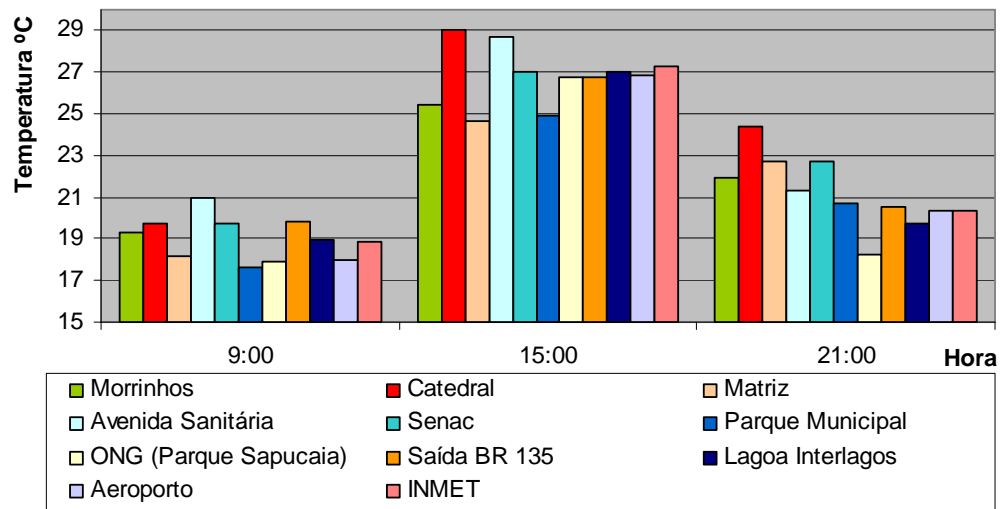
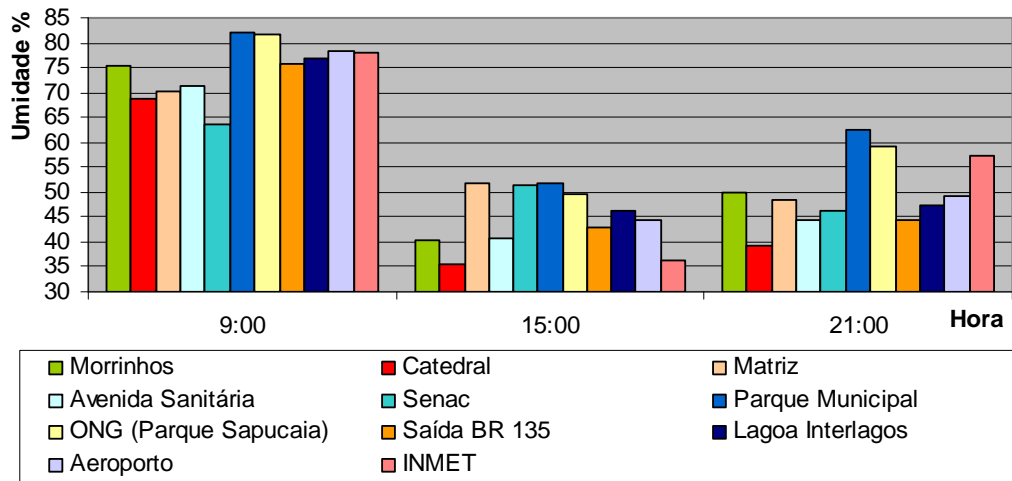


Figura 18 - Nebulosidade nos horários de 09 e 21 horas respectivamente dia 28/06/07. Fonte: INPE.



(a)



(b)

Figura 19 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 28/06/07. Fonte: arquivo pessoal da autora.

Os resultados demonstram a acentuada amplitude higrótérmica entre o período da manhã e da tarde.

Nesse período, as temperaturas vespertinas do ponto “Morrinhos” tornam-se relativamente mais amenas do que na situação de verão.

Dia 29/06/07 – Dia com céu aberto com poucas nuvens.

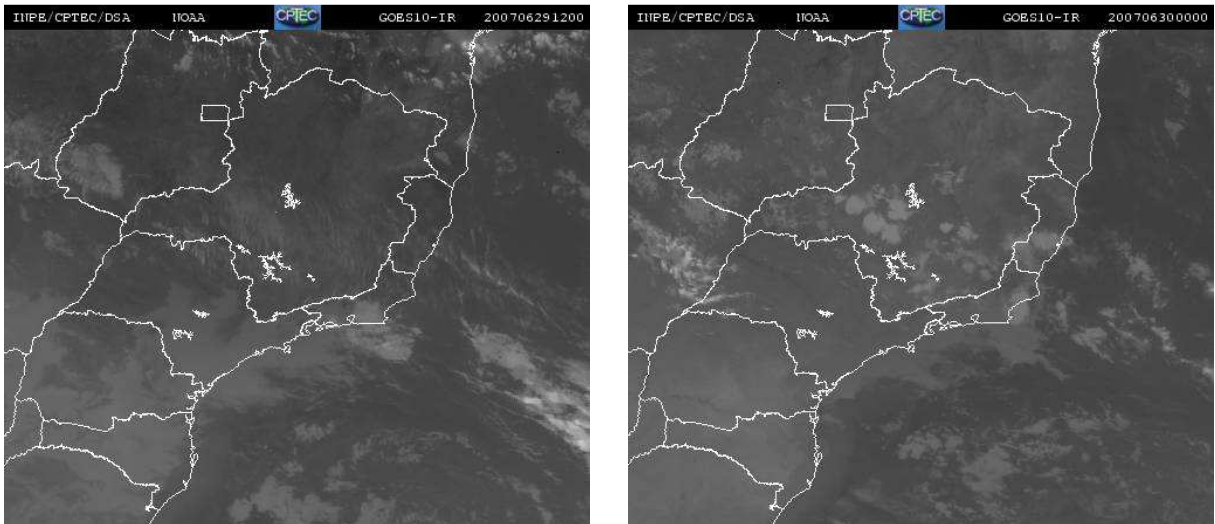
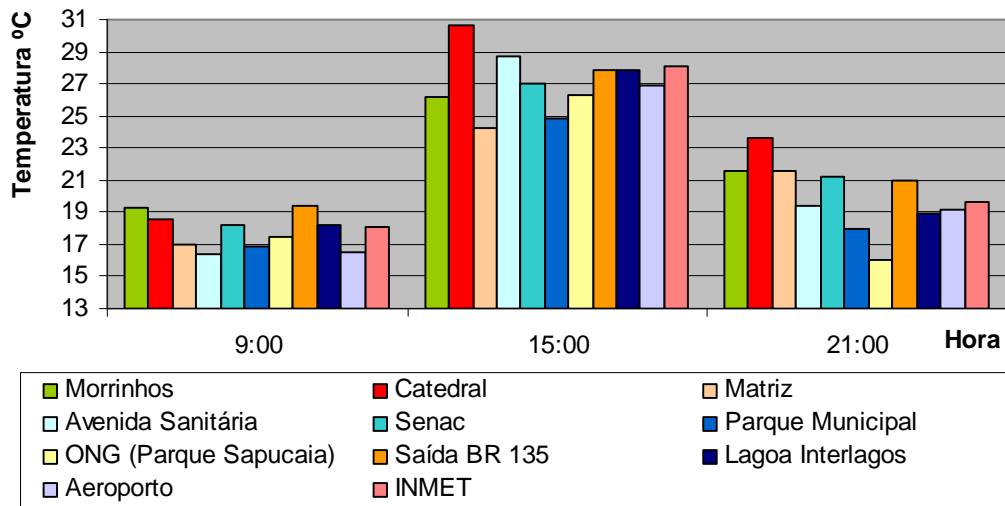


Figura 20 - Nebulosidade nos horários de 09 e 21 horas respectivamente dia 29/06/07. Fonte: INPE.



(a)

Continua...

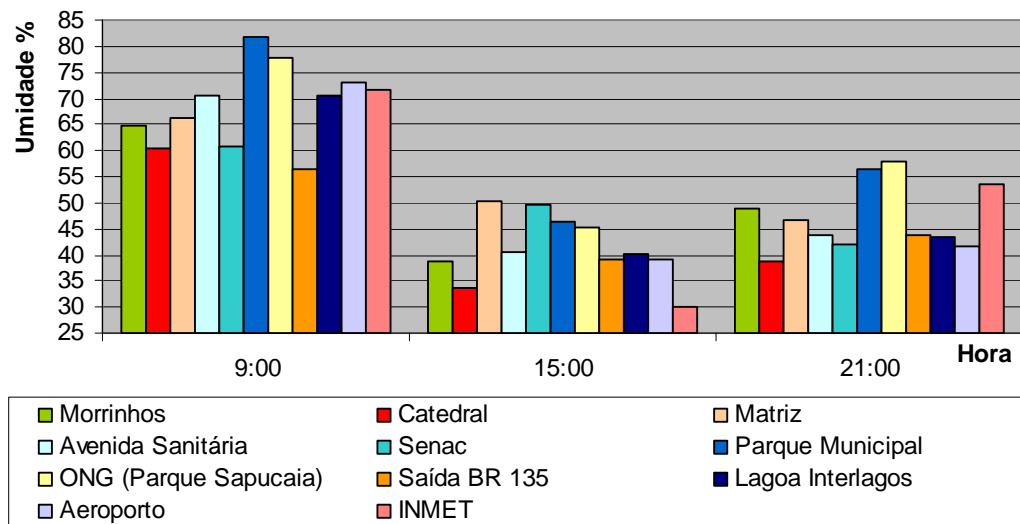


Figura 21 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) 29/06/07.
 Fonte: arquivo pessoal da autora.

Durante a tarde a baixa umidade relativa torna o tempo muito seco, essa condição é percebida inclusive nos pontos com maior índice de vegetação como a ONG, o Parque Municipal e o Aeroporto. Vale ressaltar que nessa época do ano, a vegetação passa por um período estacional.

Durante a noite, os pontos mais adensados permanecem com as temperaturas mais elevadas.

Os pontos do Senac e da Matriz mesmo situados em entornos adensados possuem umidade relativa elevada no período da tarde.

Dia 30/06/07 – Céu claro e aberto pela manhã e parcialmente nublado à tarde.

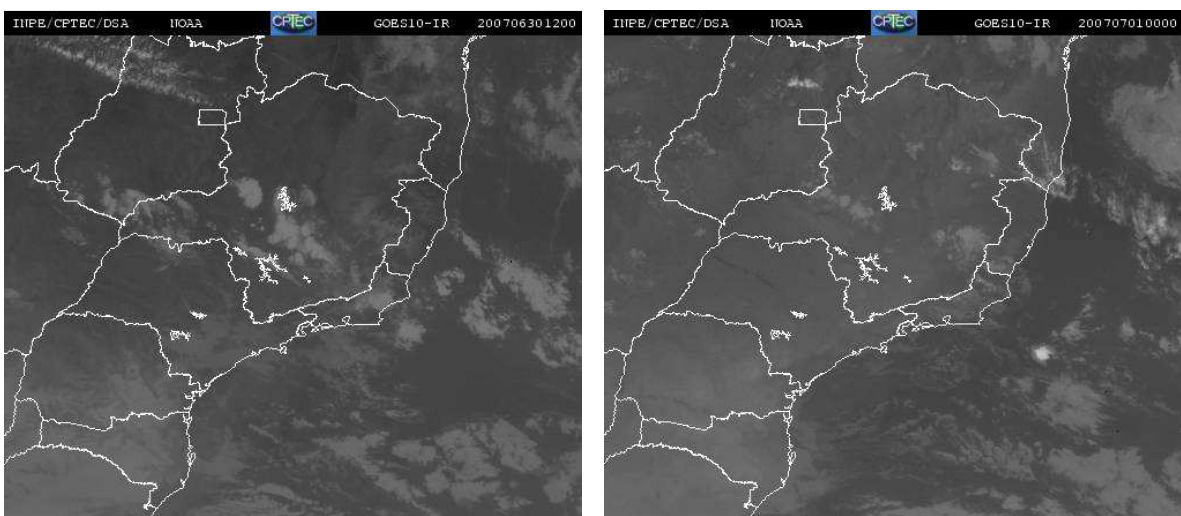
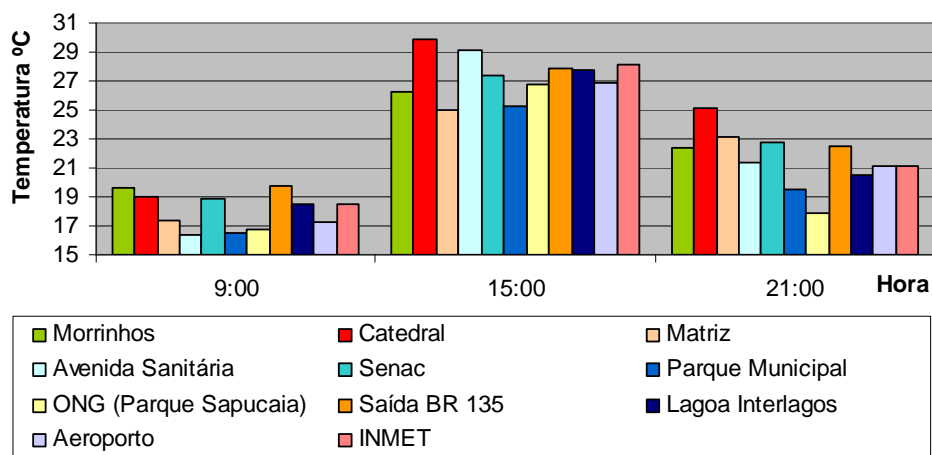
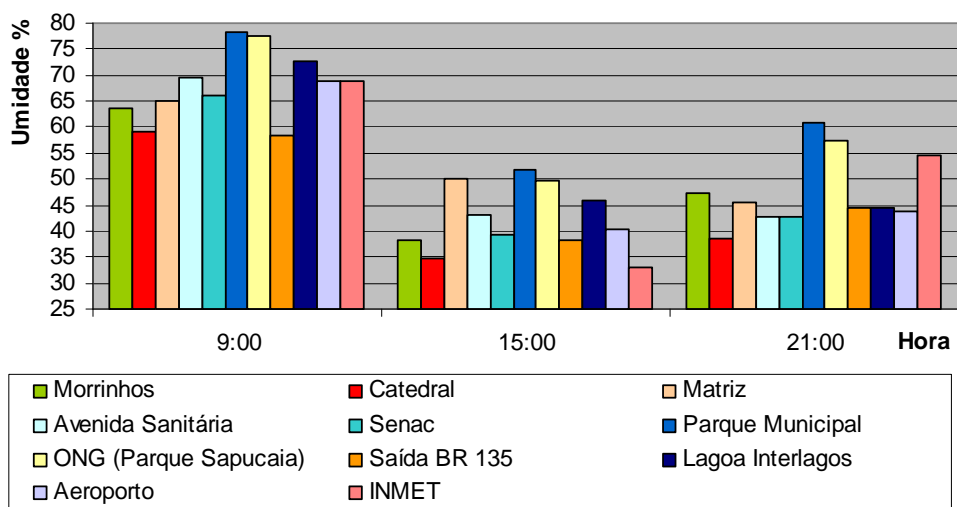


Figura 22 – Nebulosidade nos horários de 09 e 21 horas respectivamente dia 30/06/07.
 Fonte: INPE.



(a)



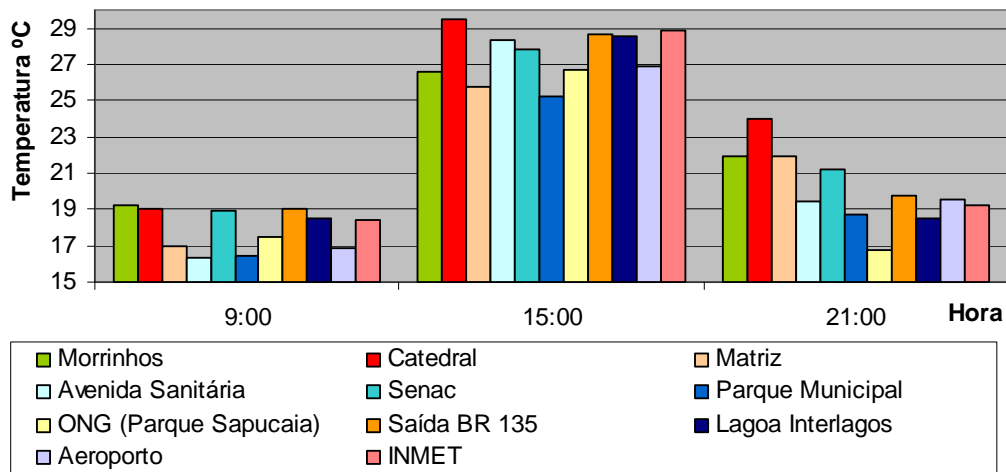
(b)

Figura 23 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 30/06/07.
 Fonte: arquivo pessoal da autora.

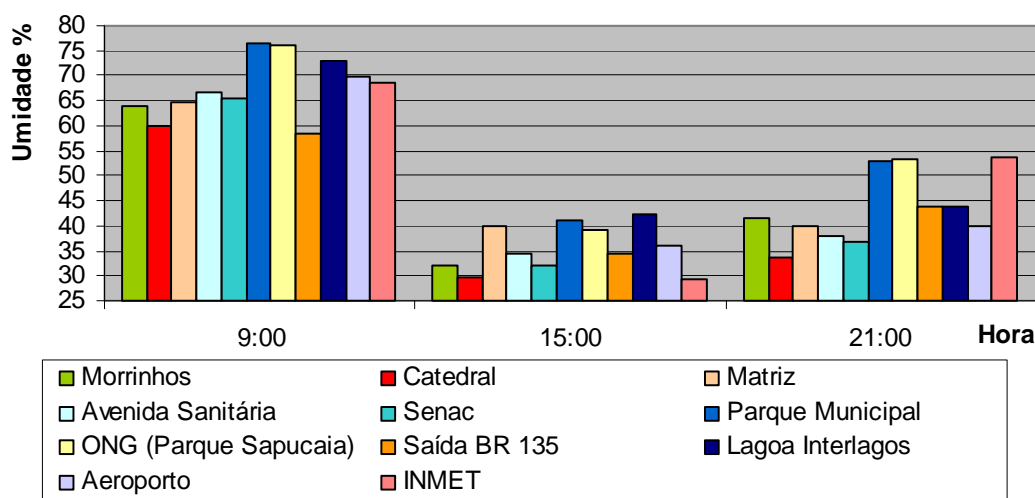
Nesse dia foi registrado uma amplitude térmica de até 10°C entre o período da manhã e a tarde. As temperaturas seguem mais elevadas nos pontos com maior percentual de impermeabilização do solo. A temperatura na região da Matriz parece novamente indicar uma ilha de frescor na região central da cidade.

Durante a tarde, os pontos próximos aos parques: Municipal e ONG (próxima ao Parque Sapucaia) possuem maior umidade. Dentre os pontos localizados na porção norte/ nordeste da cidade a Lagoa Interlagos aparece com maior umidade.

Dia 01/07/07 – Céu entre nuvens.



(a)



(b)

Figura 24 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 01/07/07.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

Os pontos com cobertura vegetal significativa: Parque Municipal, ONG e Aeroporto aparecem com as menores temperaturas no período da tarde. À noite, houve uma diferença de até 7°C entre os pontos mais centrais, especialmente a Catedral, e os pontos periféricos.

A temperatura cai consideravelmente no período da tarde.

Dia 02/07/07 – Dia de céu aberto com poucas nuvens.

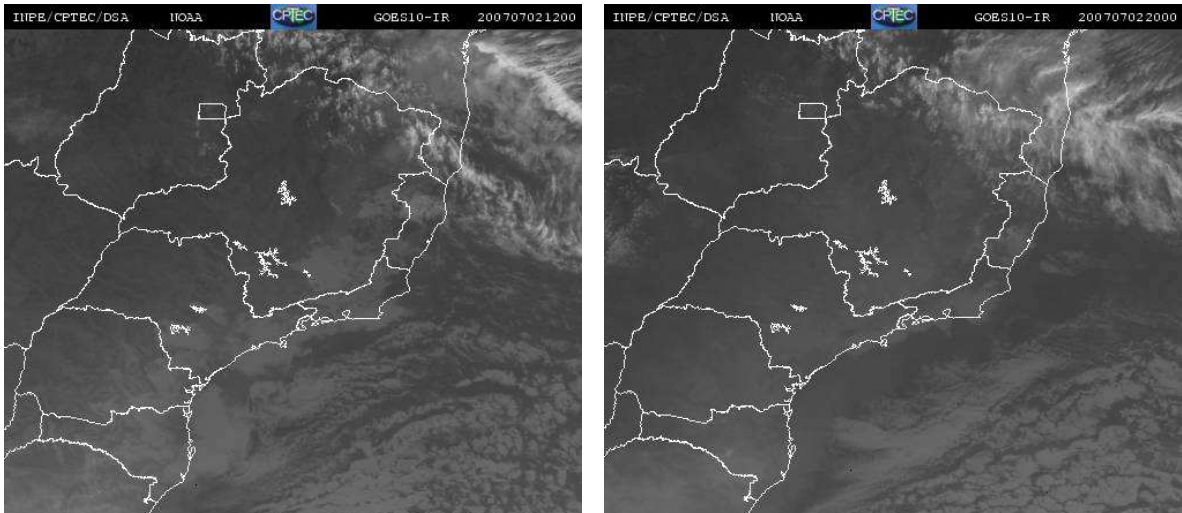
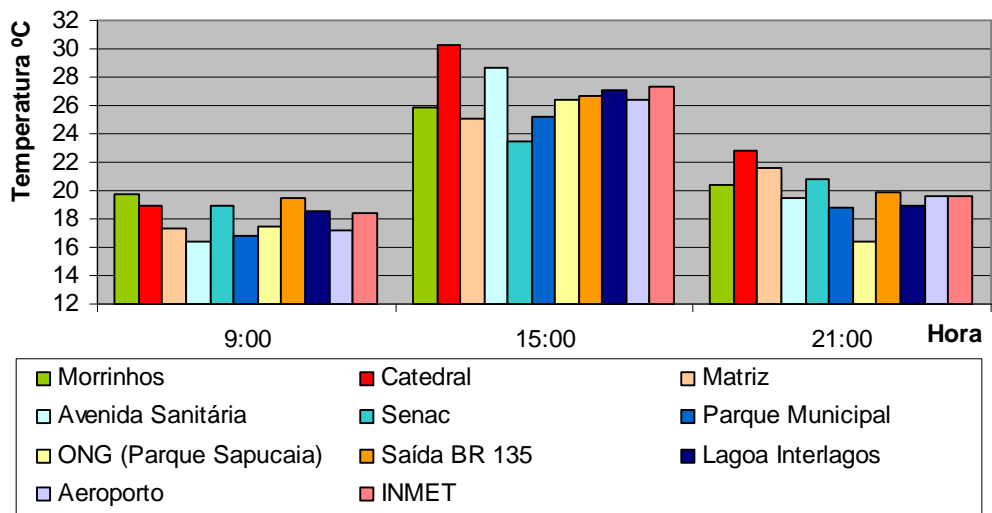
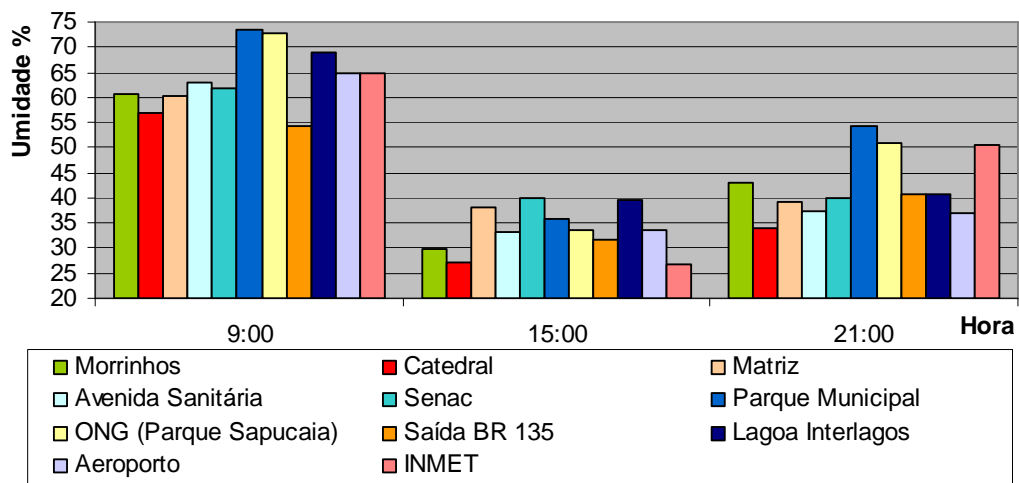


Figura 25 – Nebulosidade nos horários de 09 e 21 horas respectivamente dia 02/07/07.
Fonte: INPE.



(a)



(b)

Figura 26 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 02/07/07.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

Nesse dia, houve pequena variação de temperatura no horário das 16 horas nos pontos periféricos. Já os pontos da área central: Morrinhos, Catedral, Matriz, Avenida Sanitária e Senac, variaram consideravelmente, refletindo as peculiaridades microclimáticas de cada um, como já comentado. Novamente, às 21 horas, os mesmos pontos centrais aparecem com maiores temperaturas.

A amplitude da umidade é bastante significativa entre o período da manhã e a da tarde, chegando a percentuais bastante baixos, especialmente nas áreas com maior modificação do ambiente natural “artificialização”.

Dia 03/07/07 – Dia com temperatura elevada pela manhã e amena durante a tarde.

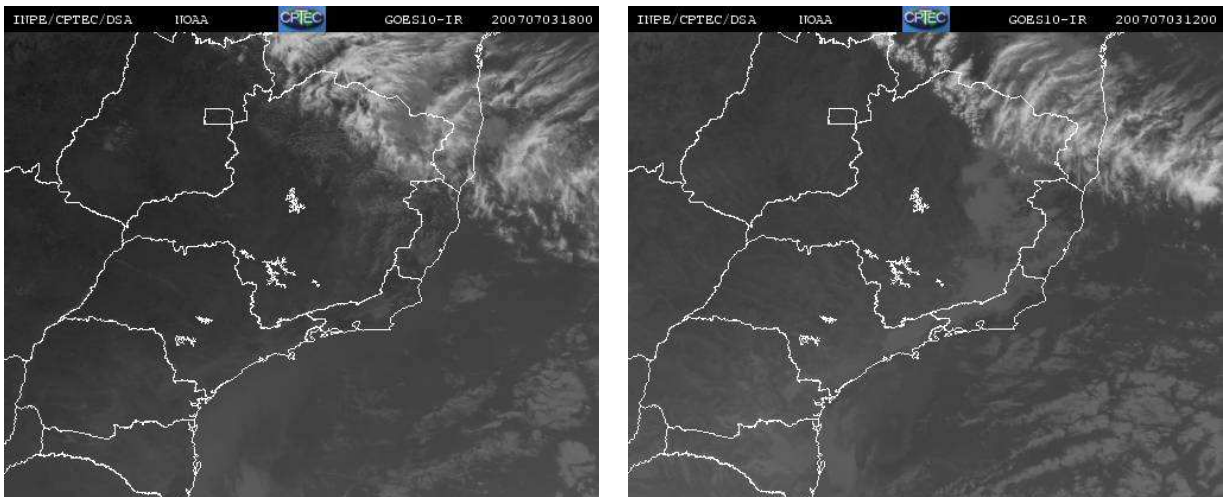
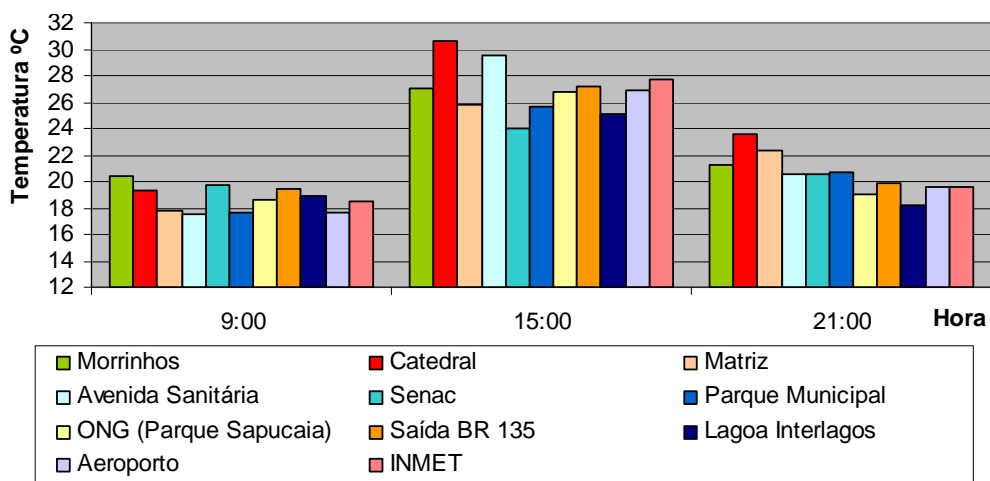
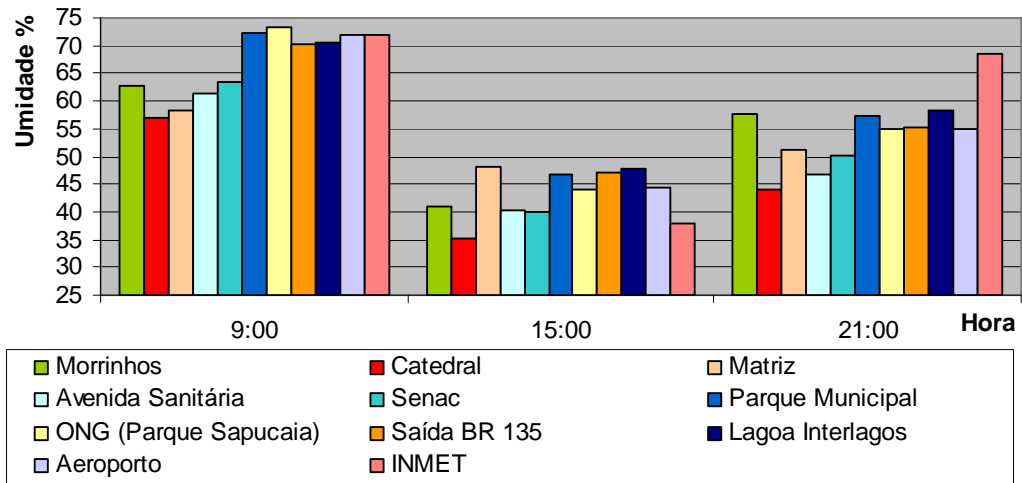


Figura 27 – Nebulosidade nos horários de 09 e 15 horas respectivamente dia 03/07/07. Fonte: INPE.



(a)

Continua...



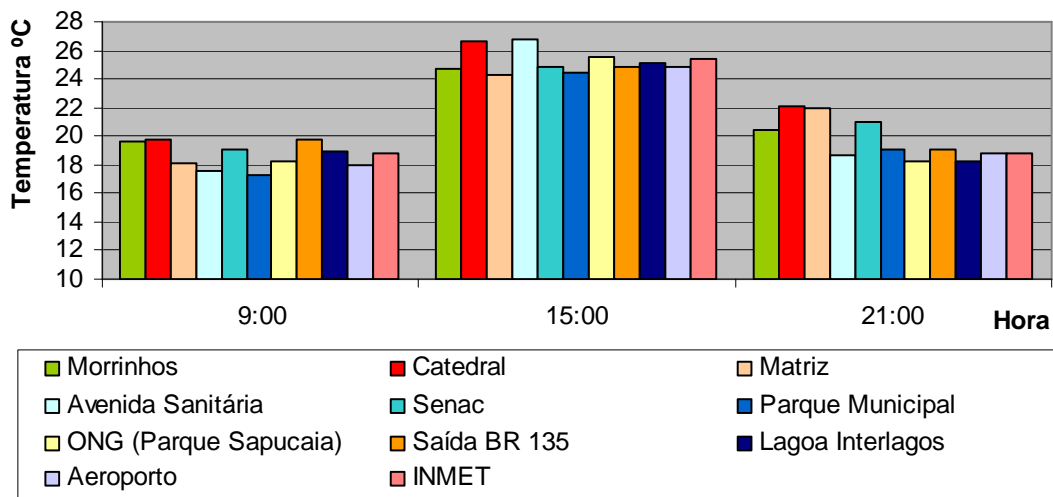
(b)

Figura 28 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 03/07/07.
 Fonte: arquivo pessoal da autora.

Os pontos situados na Catedral e na Avenida Sanitária apresentam temperaturas mais elevadas.

A umidade no período da tarde declina consideravelmente em todos os pontos.

Dia 04/07/07 – As temperaturas diminuíram devido à entrada de uma frente fria. A amplitude térmica diária é menor.



(a)

Continua...

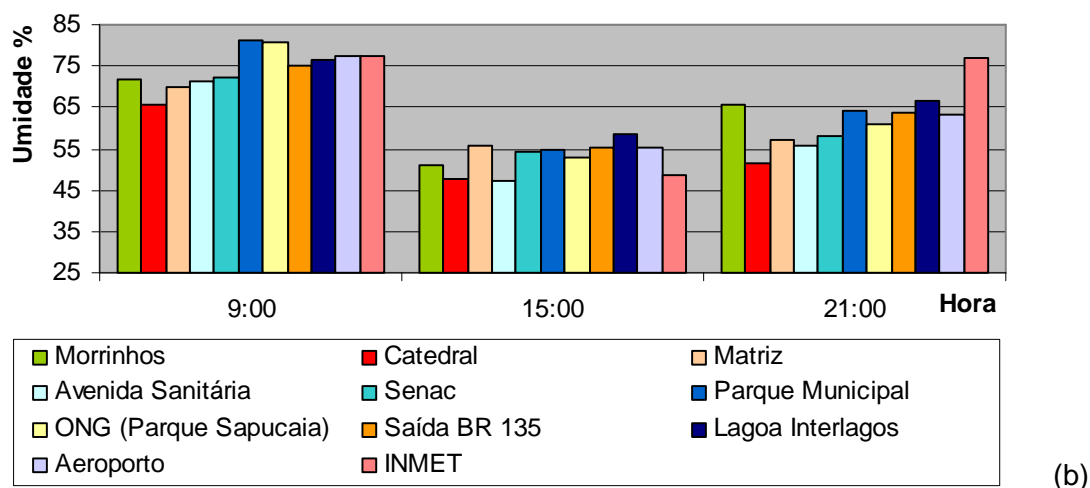


Figura 29 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 04/07/07. Fonte: arquivo pessoal da autora.

A partir dos resultados, percebe-se que durante o dia, a diferença de temperatura entre os pontos foi pouco significativa, isso ocorreu, possivelmente em virtude da frente fria que atuou na região. As máximas às 16 horas não passaram dos 27°C.

As temperaturas noturnas permanecem maiores nos pontos mais centrais (Matriz e Catedral).

O dia registrou um maior percentual de umidade relativa.

Resultados da medição de setembro.

Dia 20/09/07 – Dia de céu claro e aberto com baixa umidade.

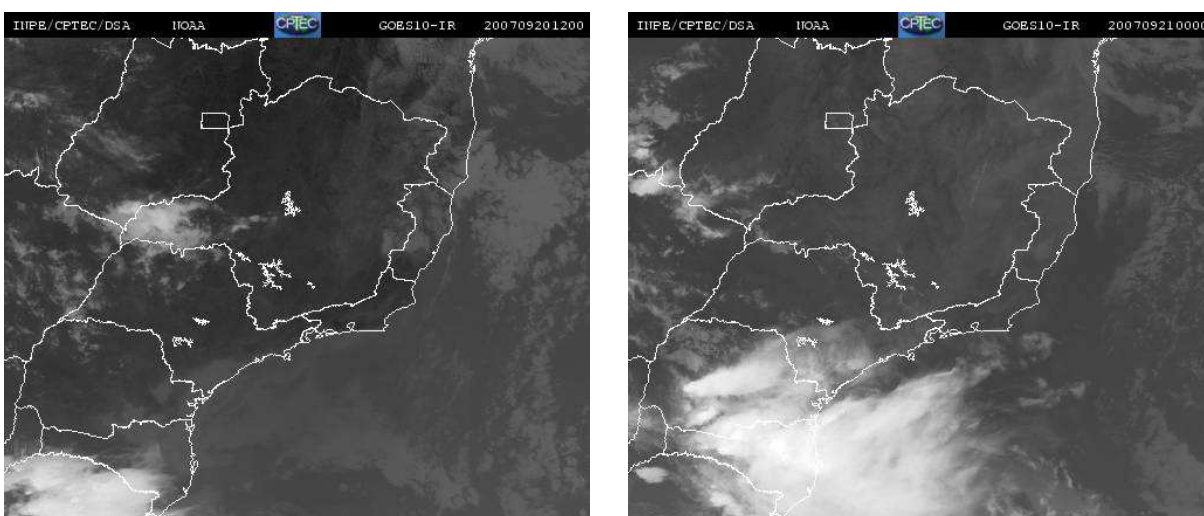
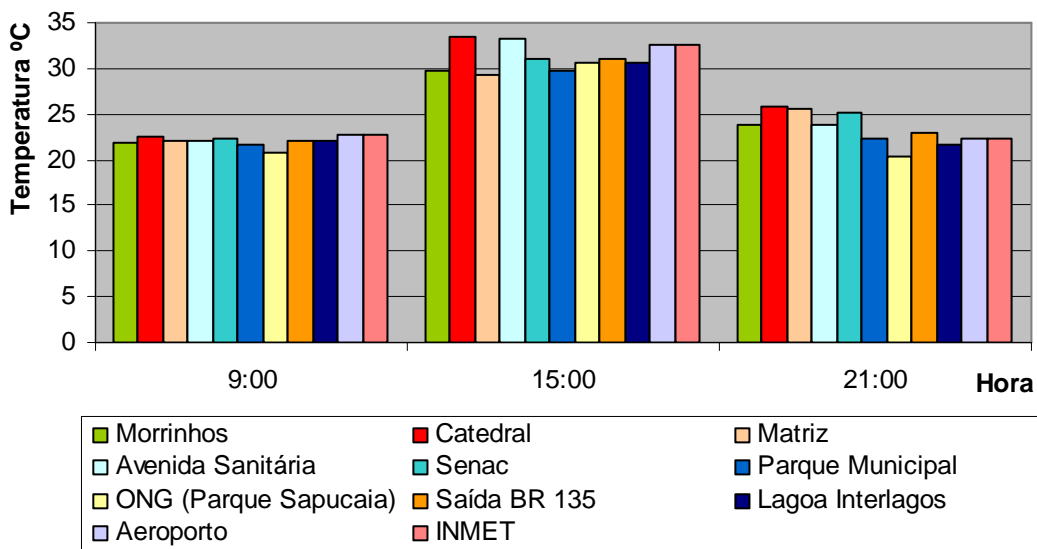
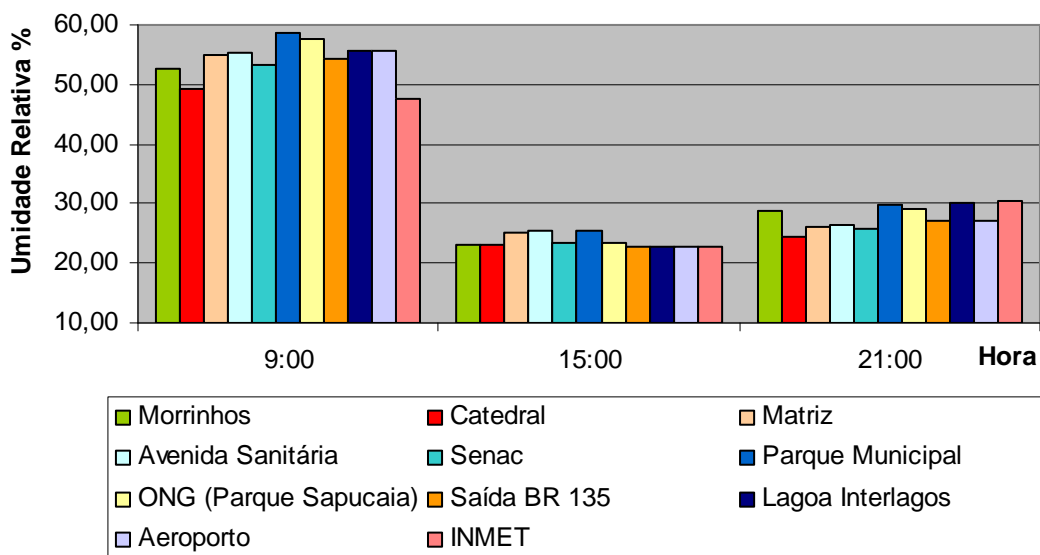


Figura 30 - Nebulosidade nos horários de 09 e 15 horas respectivamente dia 20/09/07. Fonte: INPE.



(a)



(b)

Figura 31 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 20/09/07.
 Fonte: arquivo pessoal da autora.

No período da tarde houve pouca variação de temperatura entre os pontos.

Notadamente, a umidade relativa chega a percentuais muito baixos no período da tarde.

Dia 21/09/07 – Dia de céu aberto e claro.

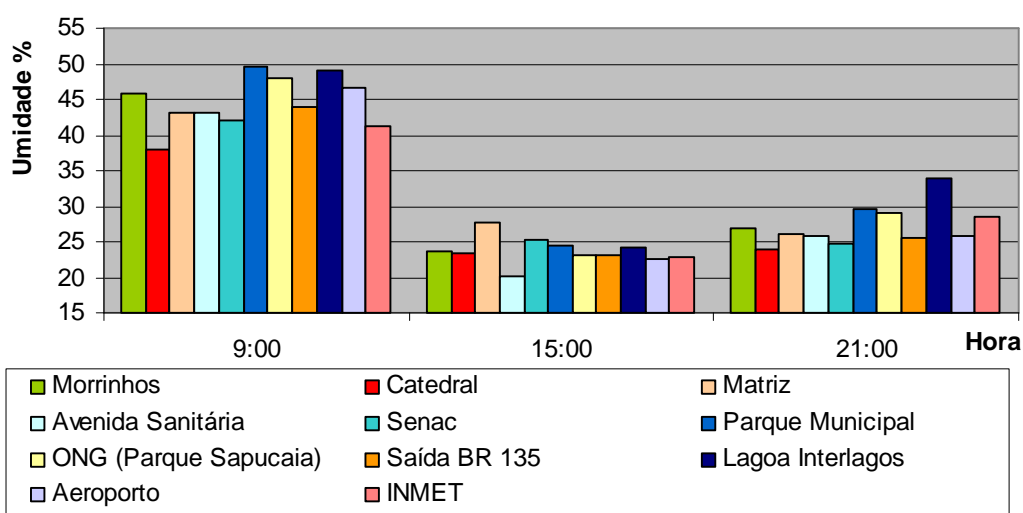
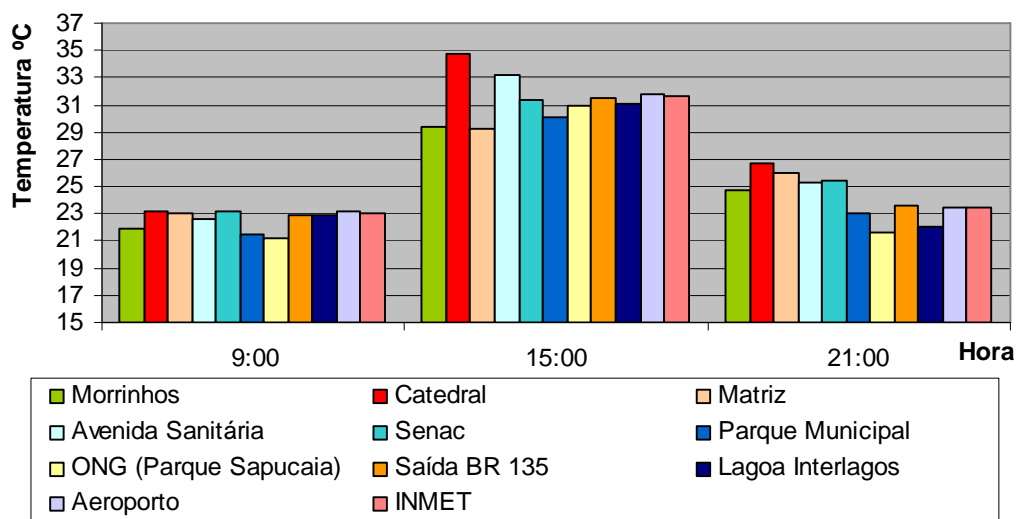
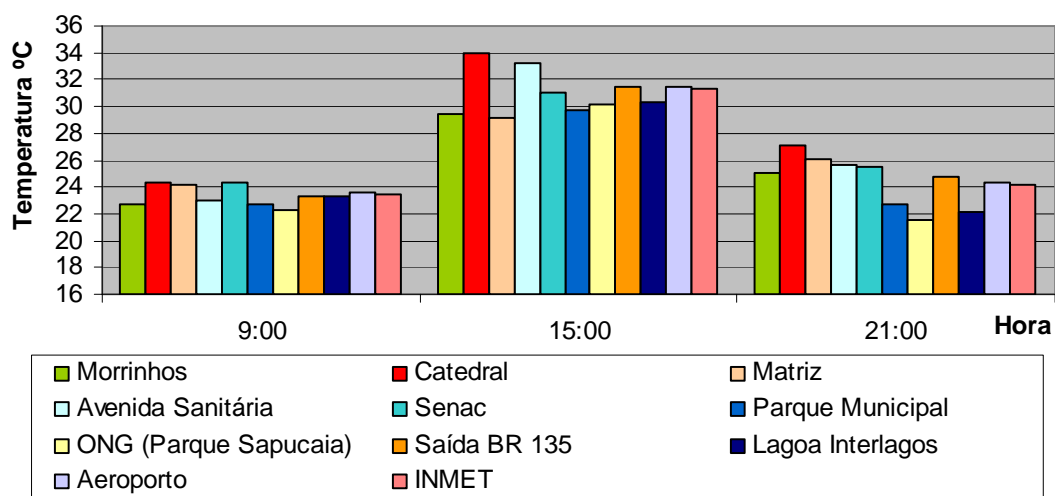


Figura 32 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 21/09/07.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

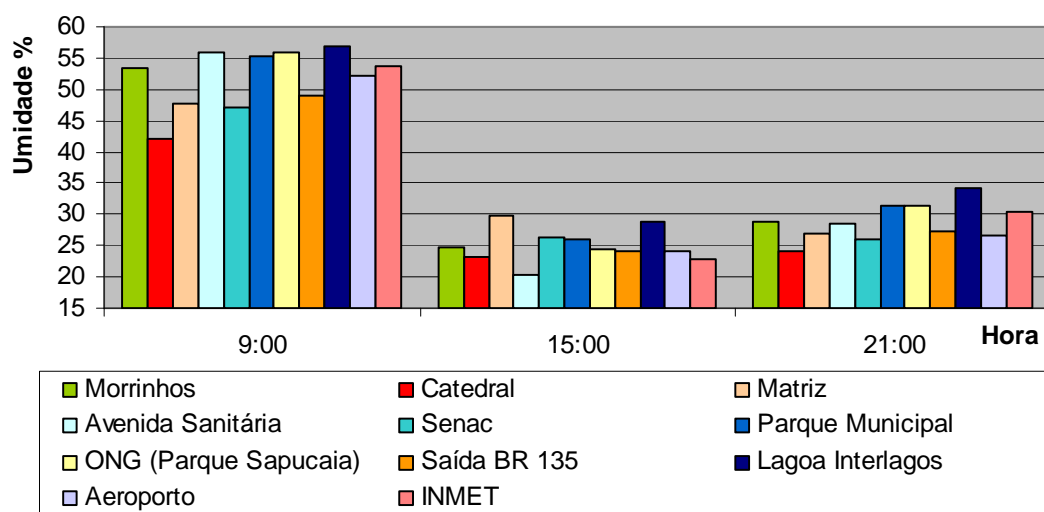
Analisando as figuras 32 (a) e (b) é possível verificar que as diferenças térmicas entre os pontos são maiores no período da tarde. As áreas mais impermeabilizadas e com grande movimentação de veículos e pessoas aparecem com as maiores temperaturas às 15 horas.

A medição das 21 horas revela uma nítida diferença higo-térmica entre as áreas mais densamente ocupadas: Morrinhos, Catedral, Matriz, Avenida Sanitária e Senac, e as menos adensadas: Parque Municipal, ONG, Saída BR 135, Lagoa Interlagos, Aeroporto e INMET.

Dia 22/09/07 – Céu aberto e claro. A amplitude térmica diária é menor.



(a)



(b)

Figura 33 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 22/09/07.
Fonte: arquivo pessoal.

Como nas demais medições, as diferenças térmicas se estabelecem, sobretudo no período da tarde, quando o entorno da Catedral e da Avenida Sanitária alcançam as maiores temperaturas. A Matriz, possivelmente pela influência da arborização densa, se comporta como uma ilha de frescor no centro.

Novamente à noite, a diferença térmica segue o limite entre as áreas com ocupação mais adensada ou rala.

A umidade relativa segue com percentuais bastante baixos.

Dia 23/09/07 – Céu claro e aberto, as temperaturas seguem elevadas com a umidade baixa, sobretudo no período da tarde.

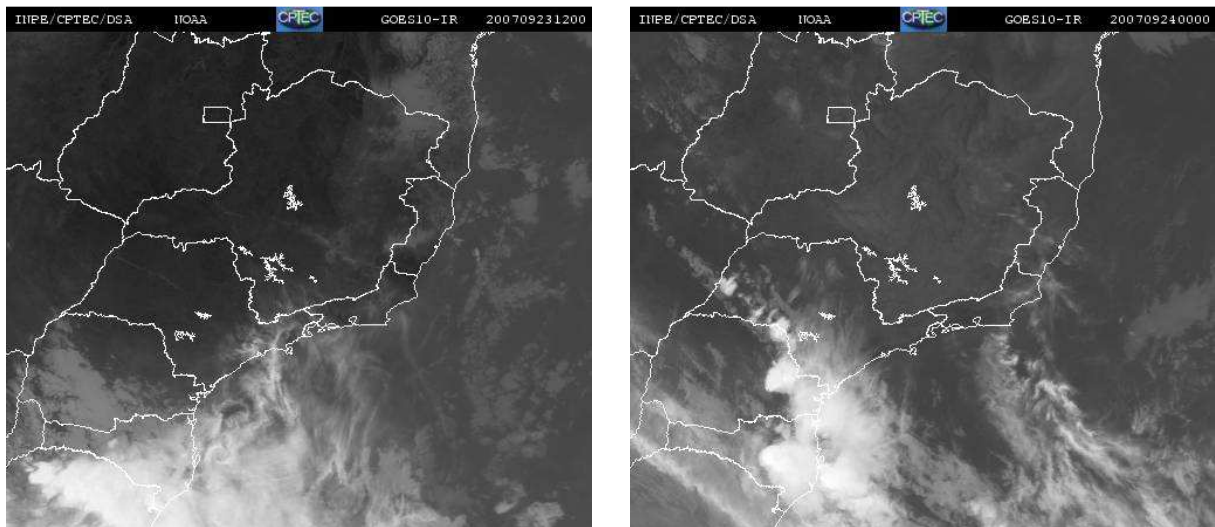
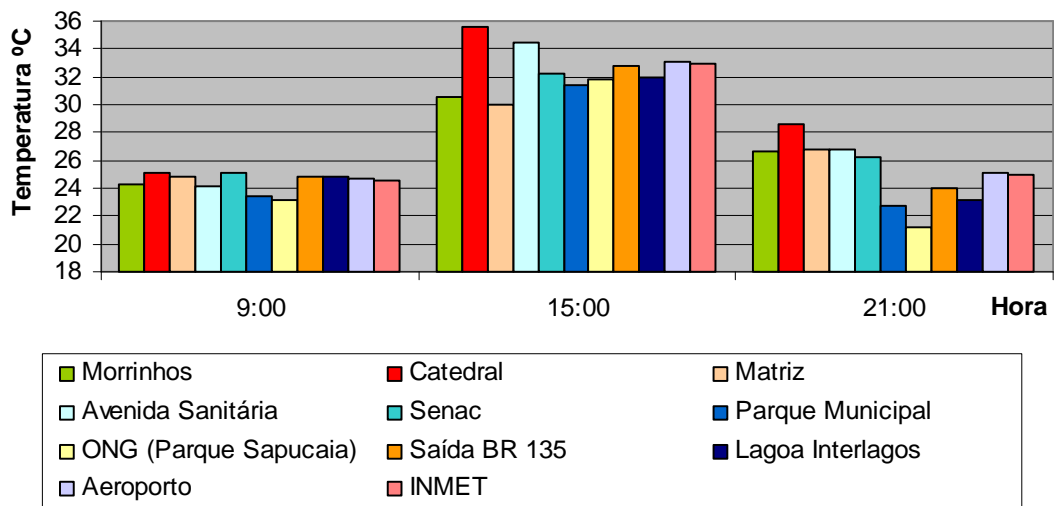
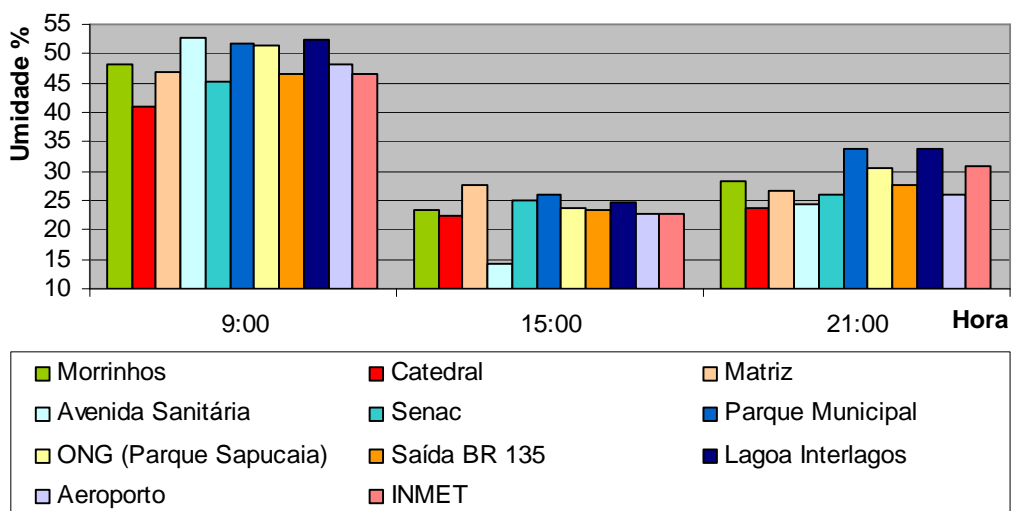


Figura 34 - Nebulosidade nos horários de 09 e 15 horas respectivamente dia 23/09/07.
Fonte: INPE.



(a)

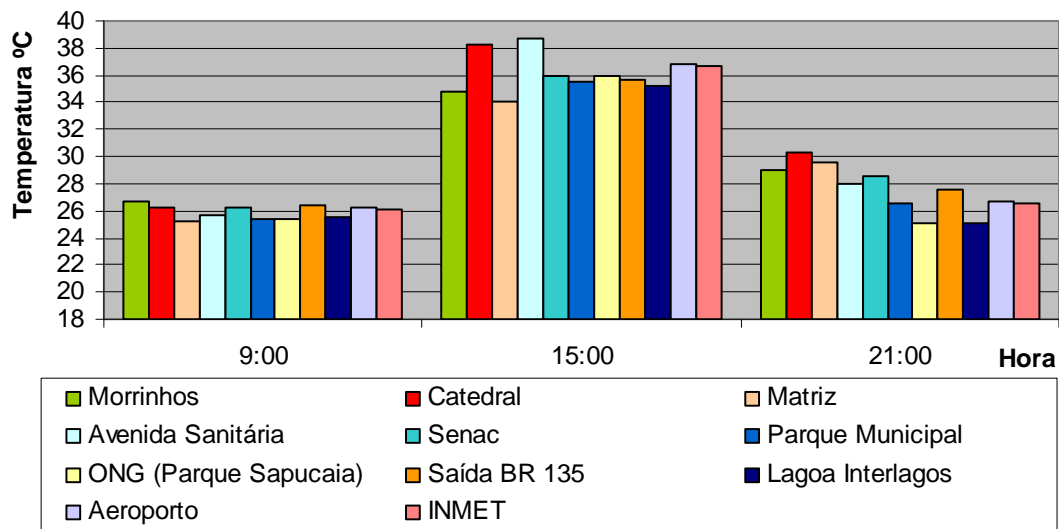


(b)

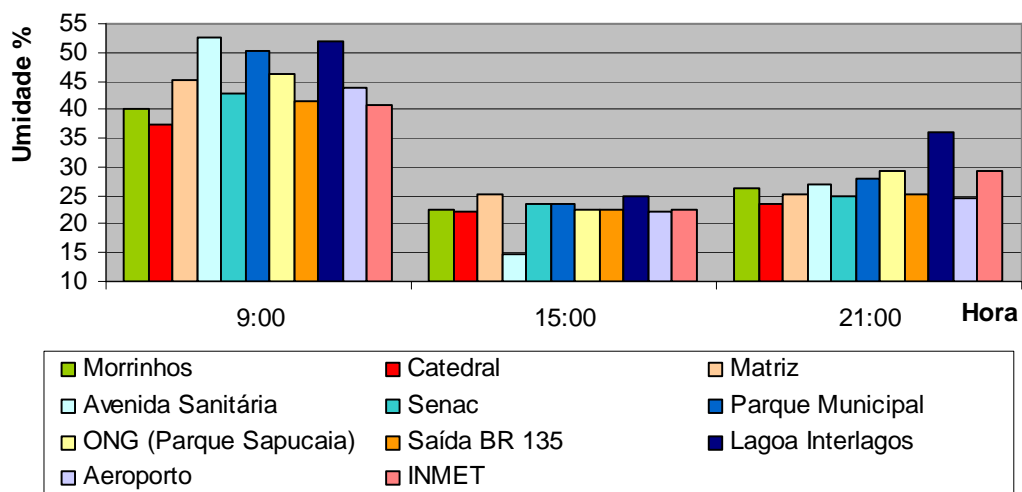
Figura 35 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 23/09/07.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

Pelos gráficos percebe-se que a temperatura e umidade na Matriz resultam em condições microclimáticas mais favoráveis do que nos demais pontos, o que pode estar relacionado às características da arborização local, com espécies de copa mais densa e perene (na maioria exóticas), enquanto que nas regiões do Aeroporto, Parque Municipal e ONG, a vegetação é de mata seca, que, nessa época do ano (período estacional), encontra-se desfolhadas reduzindo muito o desempenho amenizador higro-térmico. Na medição das 21 horas, segue a ocorrência de uma ilha de calor localizada na área central adensada.

Dia 24/09/07 – Dia ensolarado, céu claro com poucas nuvens.



(a)



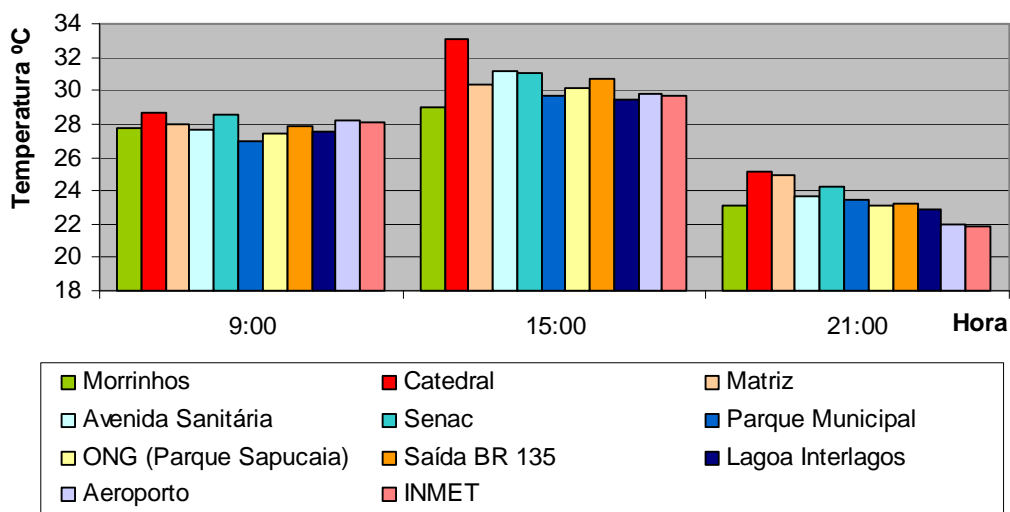
(b)

Figura 36 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 24/09/07. Fonte: arquivo pessoal da autora.

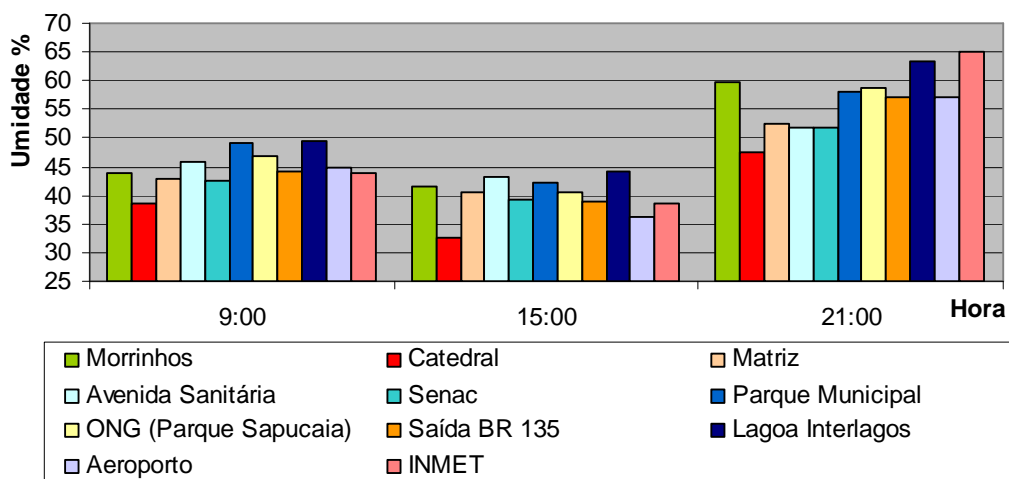
O dia apresentou temperatura de quase 39°C no período da tarde, e umidade de 15% a 20%, resultando em situações críticas de desconforto térmico.

Durante a manhã, a variação de temperatura entre os pontos é pouco expressiva. No período da tarde, todos os pontos analisados chegam a valores de temperatura e umidade desconfortáveis, no entanto, a condição com temperatura elevada e baixa umidade na região da Avenida Sanitária e da Catedral, associado ao fluxo de veículos e pessoas, e a falta de sombreamento, criam a sensação térmica, e mesmo visual, de aridez, tornando a permanência nesses locais uma tarefa penosa. As temperaturas às 21 horas chegam aos 30°C nos pontos centrais.

Dia 25/09/07 – Dia ensolarado, céu entre nuvens.



(a)



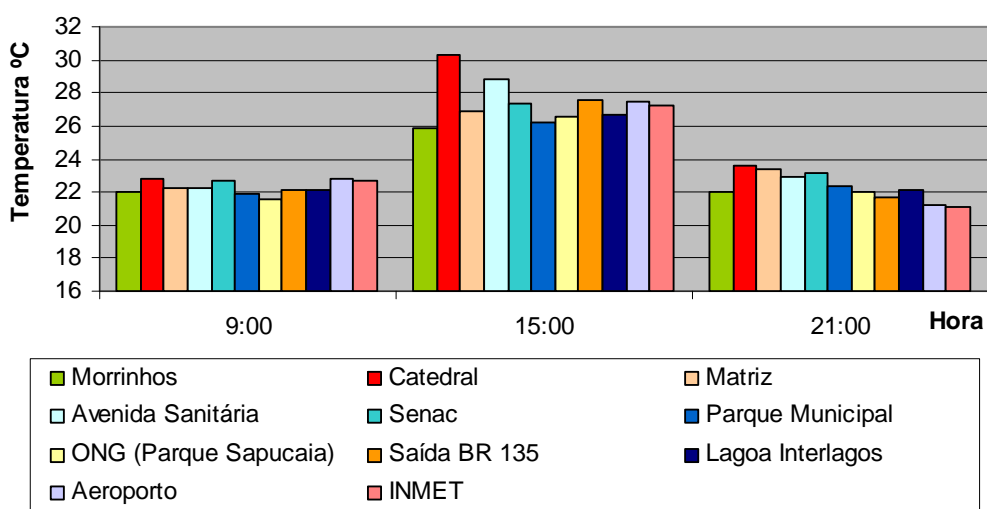
(b)

Figura 37 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 25/09/07. Fonte: arquivo pessoal da autora.

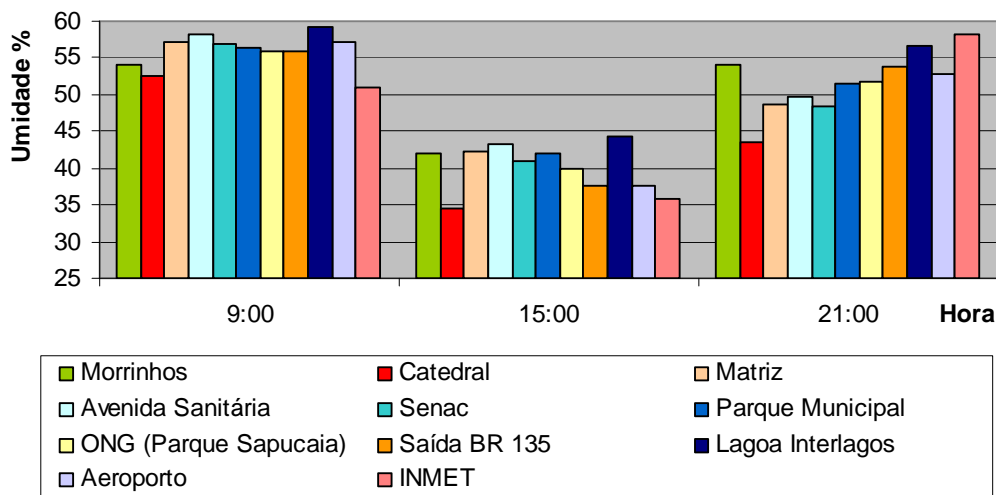
A temperatura declina um pouco, mas continua elevada, a umidade relativa às 15 horas torna-se menos crítica em relação ao dia anterior.

Perceber que, na medição das 9 horas, a diferença térmica entre os locais analisados é pouco expressiva. Durante a tarde, as diferenças se estabelecem novamente configurando uma ilha de calor no centro mais adensado e desprovido de vegetação (entorno da Catedral) e na Avenida Sanitária: muito impermeabilizada e com tráfego intenso. Novamente, o ponto da Matriz aparece com um microclima mais favorável em meio ao centro da cidade. Durante a noite, os pontos da Catedral e Matriz apresentam as temperaturas mais elevadas.

Dia 26/09/07 – Céu claro e aberto.



(a)



(b)

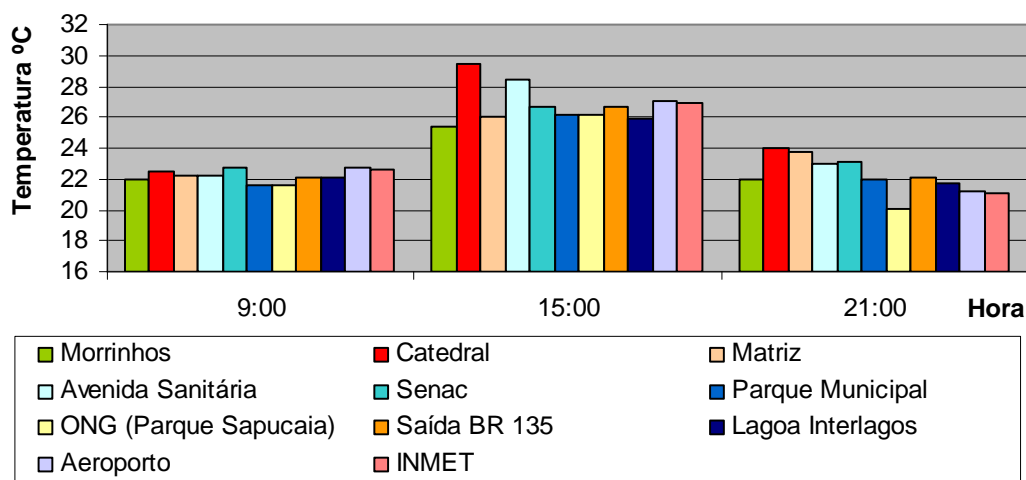
Figura 38 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 26/09/07. Fonte: arquivo pessoal da autora.

A diferença térmica é pouco significativa nos pontos periféricos. Nos pontos com maior adensamento de edificações, verifica-se novamente que as temperaturas do ar se estabelecem também por influência da vegetação: Senac e Matriz com temperaturas menores supostamente em função da arborização; e Catedral e

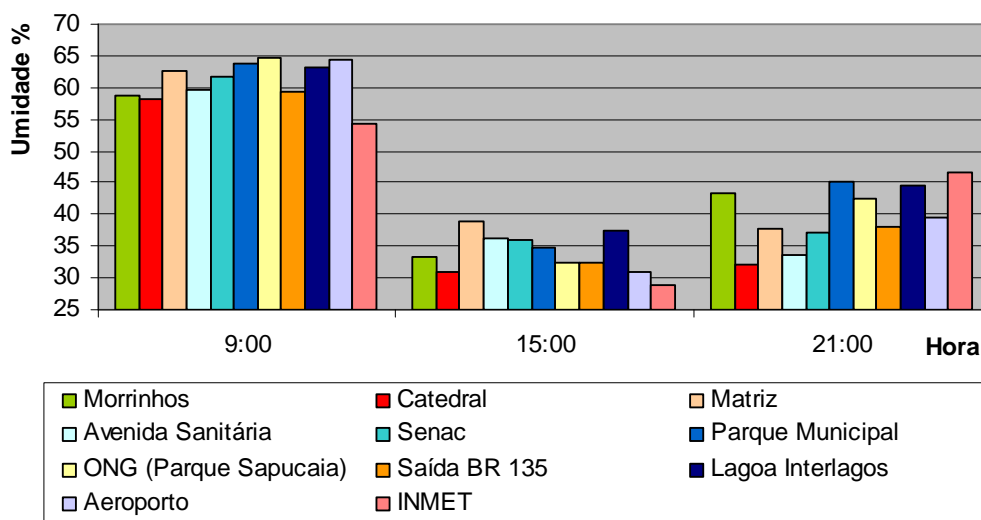
Avenida Sanitária, com temperaturas mais elevadas em virtude da escassez de sombreamento e superfícies permeáveis.

Nessa época, o espelho d'água da Lagoa Interlagos reduziu significativamente, mas pelos dados nota-se que o ponto aparece com o maior percentual de umidade relativa durante essa medição, atestando para a influência localizada da mesma como amenizador da umidade no período crítico.

Dia 27/09/07 – Tempo aberto e claro.



(a)



(b)

Figura 39 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 27/09/07.
Fonte: arquivo pessoal da autora.

As temperaturas seguem mais amenas, com menores diferenças térmicas entre os pontos, ressaltando-se apenas as situações específicas da Catedral e da Avenida Sanitária. A redução proporcional da temperatura nos Morrinhos, possivelmente está

associada à condição topográfica. Às 21 horas percebe-se a ocorrência de uma ilha de calor noturna sobre os pontos centrais mais adensados.

Dia 28/09/07 – Céu claro e aberto.

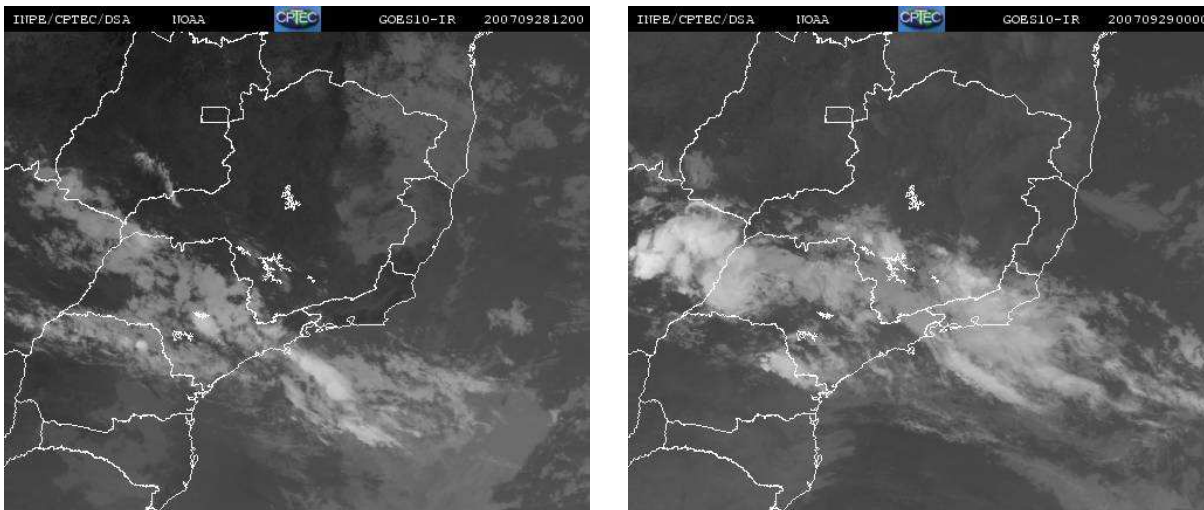
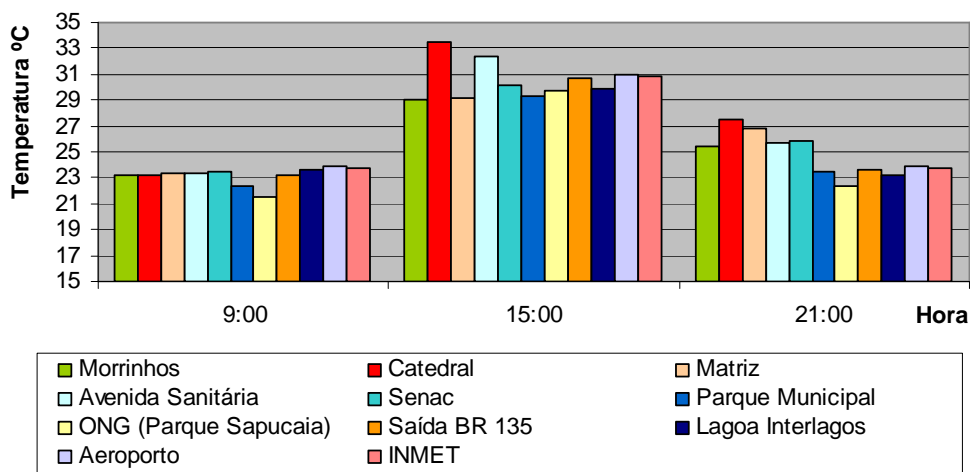


Figura 40 - Nebulosidade nos horários de 09 e 15 horas respectivamente dia 28/09/07.
Fonte: INPE.



(a)

Continua...

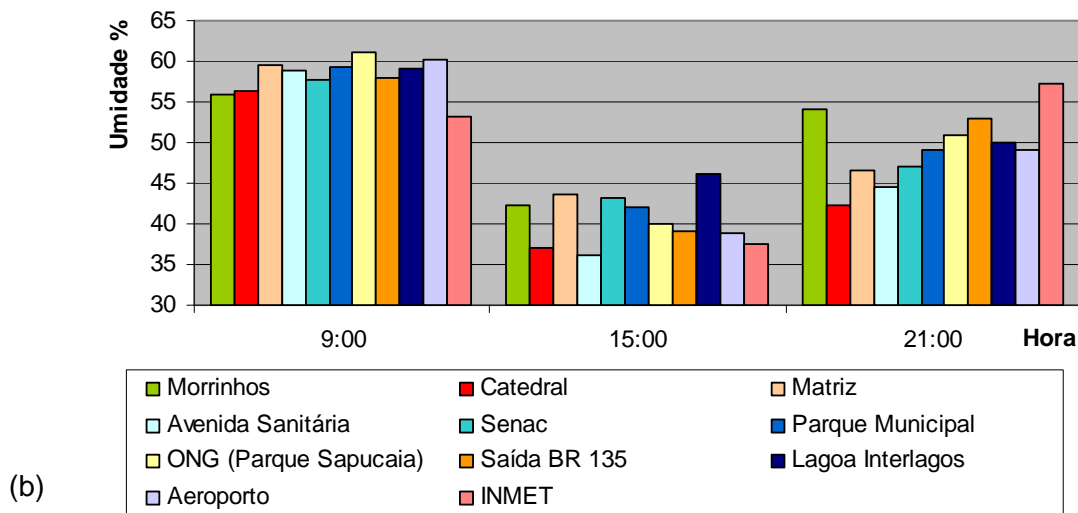
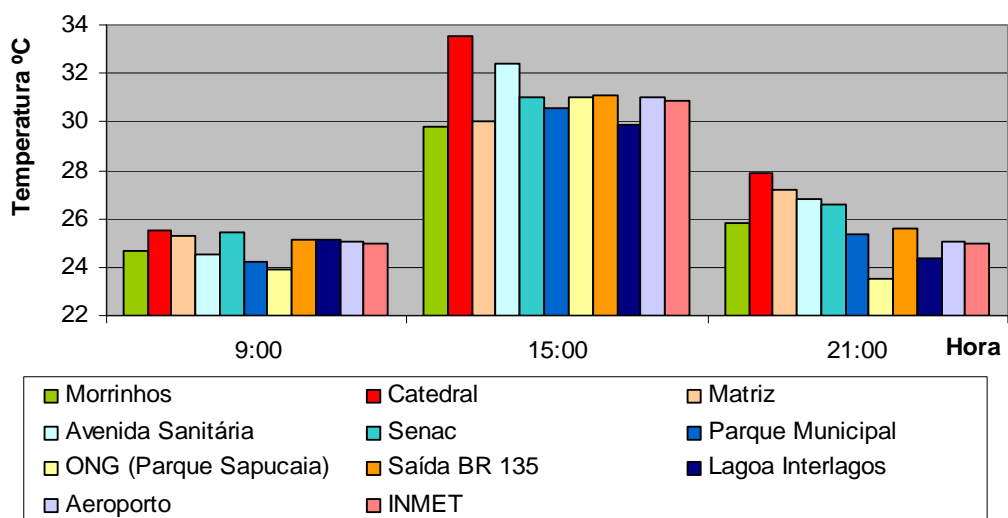


Figura 41 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 28/09/07.
 Fonte: arquivo pessoal da autora.

A medição das 9 horas mostra a pequena diferença de temperatura encontrada entre os pontos, nesse contexto, percebe-se que os pontos situados no Parque Municipal e na ONG apresentam o microclima mais ameno. À tarde, as diferenças de temperaturas se estabelecem nas áreas com ocupação mais densa e impermeabilizada. À noite, a diferença térmica segue o limite dos pontos mais adensados.

A umidade relativa decai novamente, resultando na sensação de aridez nas áreas desprovidas de vegetação.

Dia 29/09/07 – Dia com céu claro e aberto.



(a)

Continua...

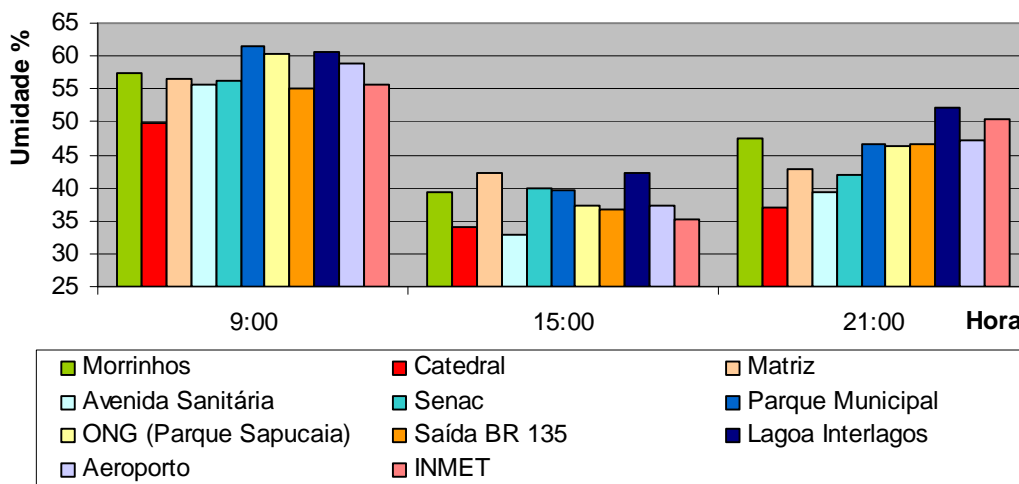


Figura 42 (a) e (b) – Temperatura do ar (a) e Umidade Relativa (b) para 29/09/07.
 Fonte: arquivo pessoal da autora.

Os resultados dessa seqüência de medição demonstram que durante todo o período, as temperaturas elevadas prevaleceram nas áreas com maior adensamento de edificações, circulação de pessoas e veículos e menor índice de permeabilização do solo e cobertura vegetal.

Da mesma forma, verificou-se que o aquecimento noturno das áreas centrais, muito relacionado com o adensamento de edificações, mostrou-se uma ocorrência que perdurou durante todo o período de medições nas três situações anuais analisadas.