

83/98
✓
nome

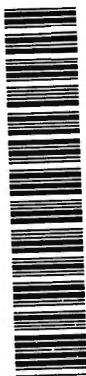
**ESTUDO DE VARIAÇÕES TERMO-HIGROMÉTRICAS DE CIDADE
EQUATORIAL DEVIDO AO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO:
O CASO DE BELÉM - PA.**

ANTONIO CARLOS LÔLA DA COSTA

Tese apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos, da Universidade de São
Paulo, como parte dos requisitos para
para obtenção do título de Doutor em
Ciências da Engenharia Ambiental.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Arthur Mattos

DEDALUS - Acervo - EESC



31100016574



SÃO CARLOS-SP
fevereiro / 1998

Class.	TGSC - GBSC
Curr.	1683 ✓
Tombo	T0083/98

3LL00016574

st 0949443

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP**

C837e Costa, Antonio Carlos Lôla da
Estudo de variações termo-higrométricas de
cidade equatorial devido ao processo de
urbanização : o caso de Belém - PA / Antonio
Carlos Lôla da Costa. -- São Carlos, 1998.

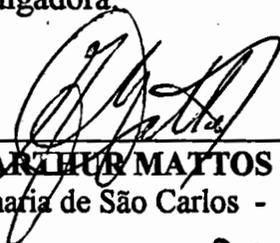
Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.
Área: Ciências da Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Arthur Mattos.

1. Clima urbano. 2. Ilha de calor urbano.
I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Bacharel **ANTONIO CARLOS LOLA DA COSTA**

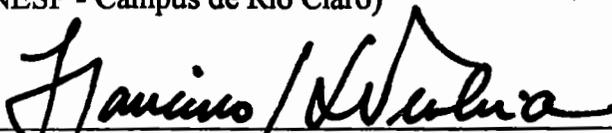
Tese defendida e aprovada em 02-03-1998
pela Comissão Julgadora:



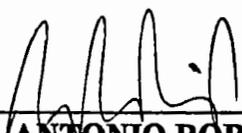
Prof. Associado **ARTHUR MATTOS (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



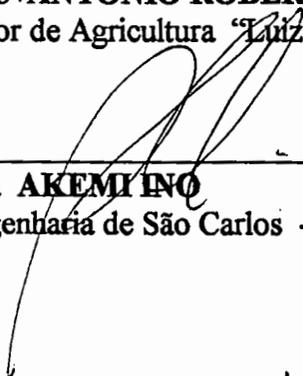
Prof. Doutor **ANTONIO CARLOS TAVARES**
(UNESP - Campus de Rio Claro)



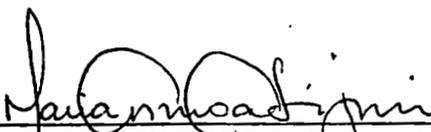
Prof. Doutor **FRANCISCO ARTHUR DA SILVA VECCHIA**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Associado **ANTONIO ROBERTO PEREIRA**
(Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo)



Profa. Doutora **AKEMI INO**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Profa. Doutora **MARIA DO CARMO CALLJURI**
Coordenadora da Área de Ciências da Engenharia Ambiental



JOSE CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

À minha esposa Teka e meus filhos Rafael e Cacá, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida.

Ao Professor Arthur Mattos pela orientação, amizade e lição de vida.

À Universidade Federal do Pará pela oportunidade concedida.

À CAPES pela ajuda financeira.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia e Serviço Regional de Proteção ao Vôo de Belém, pelo fornecimento de dados meteorológicos.

Aos colegas meteorologistas Euclisanor Gesta Reis, Eunice Léa da Costa e José Danilo da Costa Souza Filho, pela importante ajuda no tratamento dos dados.

Aos companheiros Alfredo Lopes, Sérgio Sonoda, Guilherme e José Américo, pela amizade e incentivo nesta jornada.

Aos colegas professores do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Pará, em especial ao Edson José Paulino da Rocha, João Batista Miranda Ribeiro e Maria do Carmo Felipe de Oliveira, pela ajuda prestada no decorrer das fases experimentais.

Ao Núcleo de Meio Ambiente da Universidade Federal do Pará, em especial ao amigo Pedro Rocha, pela motivação e incentivo no decorrer deste trabalho.

Aos alunos do curso de meteorologia, pela ativa participação na coleta de dados, sem os quais este trabalho não teria sido realizado.

A todos que participaram, direta ou indiretamente, da realização deste trabalho, pelo incentivo e confiança, indispensável para a sua conclusão.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xxiii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xxiv
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xxvi
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	04
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	10
3.2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA REGIÃO.....	10
3.2.1. SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES NA REGIÃO.....	10
3.2.2. TEMPERATURA DO AR.....	13
3.2.3. PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	13
3.2.4. UMIDADE RELATIVA DO AR.....	14
3.2.5. EVAPORAÇÃO.....	14
3.2.6. BRILHO SOLAR.....	14
3.2.7. NEBULOSIDADE.....	14
3.2.8. VENTOS.....	14
3.2.9. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA.....	15
3.3. DADOS UTILIZADOS.....	15
3.3.1. PRIMEIRA FASE EXPERIMENTAL - ESTAÇÃO MENOS CHUVOSA.....	15
3.3.2. SEGUNDA FASE EXPERIMENTAL - ESTAÇÃO CHUVOSA.....	16
3.3.3. TERCEIRA FASE EXPERIMENTAL - ESTAÇÃO MENOS CHUVOSA (Observações simultâneas).....	16
3.4. LOCAIS DE COLETA DE DADOS METEOROLÓGICOS.....	16
3.5. ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS PADRÕES.....	18

3.6. INSTRUMENTOS UTILIZADOS	19
3.6.1. ABRIGOS METEOROLÓGICOS	19
3.6.2. PSICRÔMETROS	20
3.7. METODOLOGIA DE COLETA DE DADOS.....	20
3.8. ELEMENTOS URBANOS	21
3.9. ANÁLISE DOS RESULTADOS	21
3.9.1. ELEMENTOS URBANOS	21
3.9.2. ELEMENTOS METEOROLÓGICOS	22
3.9.2.1. TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR.....	22
3.9.2.2. UMIDADE ESPECÍFICA E UMIDADE ABSOLUTA DO AR	22
3.9.2.3. NEBULOSIDADE.....	23
3.9.2.4. DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO.....	23
3.9.2.5. CONDIÇÕES SINÓTICAS	23
3.9.2.6. INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS.....	23
3.9.2.7. VARIAÇÕES TERMO - HIGROMÉTRICAS NOS ÚLTIMOS 20 ANOS	23
3.9.2.8. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DO AR E OS PRINCIPAIS ELEMENTOS URBANOS	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
4.1. ELEMENTOS URBANOS	25
4.2. ELEMENTOS METEOROLÓGICOS	44
4.2.1. PRIMEIRA FASE EXPERIMENTAL	44
4.2.1.1. TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA	
MÉDIA HORÁRIA DO AR	44
4.2.1.2. TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DO AR.....	54
4.2.1.3. TEMPERATURA MÁXIMA DIÁRIA DO AR.....	54
4.2.1.4. TEMPERATURA MÍNIMA DIÁRIA DO AR.....	54
4.2.1.5. AMPLITUDE TÉRMICA	54
4.2.1.6. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA DO AR.....	58
4.2.1.7. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA UMIDADE RELATIVA DO AR.....	64

4.2.1.8. DIFERENÇAS TERMO - HIGROMÉTRICAS ENTRE AMBIENTES URBANOS E RURAL.....	70
4.2.1.9. UMIDADE ESPECÍFICA E UMIDADE ABSOLUTA DO AR.....	89
4.2.1.10. NEBULOSIDADE.....	89
4.2.1.11. DIREÇÃO E VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO.....	89
4.2.1.12. CONDIÇÕES SINÓTICAS.....	90
4.2.2. SEGUNDA FASE EXPERIMENTAL.....	101
4.2.2.1. TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA MÉDIA HORÁRIA DO AR.....	101
4.2.2.2. TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DO AR.....	101
4.2.2.3. TEMPERATURA MÁXIMA DIÁRIA DO AR.....	109
4.2.2.4. TEMPERATURA MÍNIMA DIÁRIA DO AR.....	109
4.2.2.5. AMPLITUDE TÉRMICA.....	109
4.2.2.6. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA DO AR.....	112
4.2.2.7. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA UMIDADE RELATIVA DO AR.....	118
4.2.2.8. DIFERENÇAS TERMO - HIGROMÉTRICAS ENTRE AMBIENTES URBANOS E RURAL.....	123
4.2.2.9. UMIDADE ESPECÍFICA E UMIDADE ABSOLUTA DO AR.....	136
4.2.2.10. NEBULOSIDADE.....	136
4.2.2.11. DIREÇÃO E VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO.....	136
4.2.2.12. CONDIÇÕES SINÓTICAS.....	138
4.2.3. TERCEIRA FASE EXPERIMENTAL.....	148
4.2.3.1. TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA MÉDIA HORÁRIA DO AR.....	148
4.2.3.2. TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DO AR.....	148
4.2.3.3. TEMPERATURA MÁXIMA DIÁRIA DO AR.....	148
4.2.3.4. TEMPERATURA MÍNIMA DIÁRIA DO AR.....	156
4.2.3.5. AMPLITUDE TÉRMICA.....	156
4.2.3.6. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA DO AR.....	158
4.2.3.7. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA UMIDADE RELATIVA DO AR.....	161
4.2.3.8. DIFERENÇAS TERMO - HIGROMÉTRICAS ENTRE AMBIENTES URBANOS E RURAL.....	165
4.2.3.9. UMIDADE ESPECÍFICA E UMIDADE ABSOLUTA DO AR.....	175
4.2.3.10. NEBULOSIDADE.....	175
4.2.3.11. DIREÇÃO E VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO.....	175
4.2.3.12. CONDIÇÕES SINÓTICAS.....	177

4.2.3.13. INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS.....	183
4.2.3.14. VARIAÇÕES TERMO - HIGROMÉTRICAS NOS ÚLTIMOS 20 ANOS NA CIDADE DE BELÉM.....	189
4.2.3.15. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DO AR E OS PRINCIPAIS ELEMENTOS URBANOS	189
5. CONCLUSÕES	191
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	193
7. ANEXO	197

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Localização geográfica da área de estudo.....	11
FIGURA 02 - Distribuição dos locais de coleta de dados meteorológicos durante as três fases experimentais	17
FIGURA 03 - Vista aérea da estação meteorológica de superfície do INMET.....	18
FIGURA 04 - Abrigo meteorológico utilizado nas três fases experimentais.....	19
FIGURA 05 - Psicrômetro utilizado nas três fases experimentais	20
FIGURA 06 - Vista aérea do bairro de Batista Campos	27
FIGURA 07 - Local de observação meteorológica na praça Batista Campos, no bairro de Batista Campos.....	27
FIGURA 08 - Vista aérea do bairro da Campina.....	28
FIGURA 09 - Local de observação meteorológica na Travessa Padre Eutíquio com Rua Conselheiro João Alfredo, no bairro da Campina	28
FIGURA 10 - Vista aérea do bairro do Reduto.....	29
FIGURA 11 - Local de observação meteorológica na Avenida Doca de Souza Franco com Rua 28 de Setembro, no bairro do Reduto.....	29
FIGURA 12 - Vista aérea do bairro do Umarizal	30
FIGURA 13 - Local de observação meteorológica na praça Brazil, no bairro do Umarizal	30
FIGURA 14 - Vista aérea do bairro de Nazaré	31
FIGURA 15 - Local de observação meteorológica na Avenida Generalíssimo Deodoro com Avenida Governador José Malcher, no bairro de Nazaré.....	31
FIGURA 16 - Vista aérea do bairro do Guamá.....	32
FIGURA 17 - Local de observação meteorológica na Rua dos Mundurucus com Rua Guerra Passos, no bairro do Guamá.....	32
FIGURA 18 - Vista aérea do bairro da Condor.....	33

FIGURA 19 - Local de observação meteorológica na Avenida Alcindo Cacela com Travessa Padre Eutíquio, no bairro da Condor	33
FIGURA 20 - Vista aérea do bairro do Jurunas	34
FIGURA 21 - Local de observação meteorológica na Avenida Governador Fernando Guilhon com Rua Honório José dos Santos, no bairro do Jurunas.....	34
FIGURA 22 - Vista aérea do bairro do Telégrafo	35
FIGURA 23 - Local de observação meteorológica na Avenida Senador Lemos com Passagem das Flores, no bairro do Telégrafo.....	35
FIGURA 24 - Vista aérea do bairro da Sacramento	36
FIGURA 25 - Local de observação meteorológica na Avenida Senador Lemos com Avenida Doutor Freitas, no bairro da Sacramento	36
FIGURA 26 - Vista aérea do bairro da Cremação.....	37
FIGURA 27 - Local de observação meteorológica na Avenida Conselheiro Furtado com Avenida Alcindo Cacela, no bairro da Cremação.....	38
FIGURA 28 - Vista aérea do bairro de São Bráz.....	38
FIGURA 29 - Local de observação meteorológica na Avenida Almirante Barroso com Avenida José Bonifácio, no bairro de São Bráz.....	39
FIGURA 30 - Vista aérea do bairro do Marco.....	39
FIGURA 31 - Local de observação meteorológica na Avenida Almirante Barroso com Travessa Humaitá, no bairro do Marco.....	40
FIGURA 32 - Vista aérea do bairro da Pedreira.....	40
FIGURA 33 - Local de observação meteorológica na Avenida Pedro Miranda com Travessa Mauriti, no bairro da Pedreira.....	41
FIGURA 34 - Vista aérea do bairro do Souza	41
FIGURA 35 - Local de observação meteorológica na Avenida Pedro Álvares Cabral com Avenida Tavares Bastos, no bairro do Souza	42
FIGURA 36 - Vista aérea do bairro da Marambaia	42

FIGURA 37 - Local de observação meteorológica na Avenida Tavares Bastos com Rua da Marinha, no bairro da Marambaia.....	43
FIGURA 38 - Vista aérea do bairro da Terra Firma.....	43
FIGURA 39 - Local de observação meteorológica na Avenida Perimetral com Travessa Barão do Triunfo, no bairro da Terra Firme.....	44
FIGURA 40 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Condor).....	45
FIGURA 41 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Cremação).....	45
FIGURA 42 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Jurunas).....	46
FIGURA 43 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro de Batista Campos).....	46
FIGURA 44 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Campina).....	47
FIGURA 45 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Reduto).....	47
FIGURA 46 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Reduto).....	48
FIGURA 47 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Umarizal).....	48
FIGURA 48 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro de Nazaré).....	49
FIGURA 49 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro de São Brás).....	49
FIGURA 50 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Guamã).....	50
FIGURA 51 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Terra Firme).....	50
FIGURA 52 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Marco).....	51

FIGURA 53 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Pedreira)	51
FIGURA 54 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Telégrafo)	52
FIGURA 55 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Sacramento)	52
FIGURA 56 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Marco).....	53
FIGURA 57 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Marambaia).....	53
FIGURA 58 - Distribuição da temperatura média diária do ar - Fase I	55
FIGURA 59 - Distribuição da temperatura máxima diária do ar - Fase I.....	56
FIGURA 60 - Distribuição da temperatura mínima diária do ar - Fase I	57
FIGURA 61 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 01:00 às 03:00 horas, durante a primeira fase experimental.....	59
FIGURA 62 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 04:00 às 06:00 horas, durante a primeira fase experimental.....	60
FIGURA 63 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 07:00 às 09:00 horas, durante a primeira fase experimental.....	60
FIGURA 64 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 10:00 às 12:00 horas, durante a primeira fase experimental.....	62
FIGURA 65 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 13:00 às 15:00 horas, durante a primeira fase experimental.....	62
FIGURA 66 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 16:00 às 18:00 horas, durante a primeira fase experimental.....	63
FIGURA 67 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 19:00 às 21:00 horas, durante a primeira fase experimental.....	63
FIGURA 68 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 22:00 às 24:00 horas, durante a primeira fase experimental	64
FIGURA 69 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 01:00 às 03:00 horas, durante a primeira fase experimental	65

FIGURA 70 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 04:00 às 06:00 horas, durante a primeira fase experimental	66
FIGURA 71 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 07:00 às 09:00 horas, durante a primeira fase experimental	66
FIGURA 72 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 10:00 às 12:00 horas, durante a primeira fase experimental	68
FIGURA 73 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 13:00 às 15:00 horas, durante a primeira fase experimental	68
FIGURA 74 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 16:00 às 18:00 horas, durante a primeira fase experimental	69
FIGURA 75 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 19:00 às 21:00 horas, durante a primeira fase experimental	69
FIGURA 76 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 22:00 às 24:00 horas, durante a primeira fase experimental	70
FIGURA 77 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Condor)	71
FIGURA 78 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Condor)	71
FIGURA 79 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Cremação)	72
FIGURA 80 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Cremação)	72
FIGURA 81 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Jurunas)	73
FIGURA 82 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Jurunas)	73
FIGURA 83 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro de Batista Campos)	74
FIGURA 84 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro de Batista Campos)	74

FIGURA 85 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Campina)	75
FIGURA 86 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Campina).....	75
FIGURA 87 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Reduto)	76
FIGURA 88 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Reduto).....	76
FIGURA 89 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Reduto)	77
FIGURA 90 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Reduto).....	77
FIGURA 91 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Umarizal).....	78
FIGURA 92 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Umarizal)	78
FIGURA 93 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro de Nazaré).....	79
FIGURA 94 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro de Nazaré)	79
FIGURA 95 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro de São Brás).....	80
FIGURA 96 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro de São Brás)	80
FIGURA 97 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Guamá)	81
FIGURA 98 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Guamá).....	81
FIGURA 99 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Terra Firme)	82
FIGURA 100 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Terra Firme).....	82

FIGURA 101 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Marco)	83
FIGURA 102 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Marco).....	83
FIGURA 103 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Pedreira).....	84
FIGURA 104 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Pedreira).....	84
FIGURA 105 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Telégrafo).....	85
FIGURA 106 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Telégrafo)	85
FIGURA 107 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Sacramento).....	86
FIGURA 108 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Sacramento).....	86
FIGURA 109 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Souza).....	87
FIGURA 110 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Souza).....	87
FIGURA 111 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Marambaia).....	88
FIGURA 112 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Marambaia)	88
FIGURA 113 - Distribuição média diária da direção e velocidade do vento durante a primeira fase experimental.....	91
FIGURA 114 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 23/10/1995 às 0900 UTC.....	92
FIGURA 115 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 23/10/1995 às 1800 UTC.....	92
FIGURA 116 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 24/10/1995 às 1200 UTC.....	94

FIGURA 117 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 24/10/1995 às 1800 UTC.....	94
FIGURA 118 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 25/10/1995 às 0900 UTC.....	95
FIGURA 119 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 25/10/1995 às 1800 UTC.....	95
FIGURA 120 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 26/10/1995 às 1200 UTC.....	96
FIGURA 121 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 26/10/1995 às 1800 UTC.....	96
FIGURA 122 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 27/10/1995 às 1200 UTC.....	98
FIGURA 123 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 28/10/1995 às 0900 UTC.....	98
FIGURA 124 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 28/10/1995 às 1800 UTC.....	99
FIGURA 125 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/10/1995 às 0900 UTC.....	99
FIGURA 126 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/10/1995 às 1200 UTC.....	100
FIGURA 127 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Condor).....	102
FIGURA 128 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Jurunas).....	102
FIGURA 129 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Campina).....	103
FIGURA 130 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Umarizal).....	103
FIGURA 131 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro de Nazaré).....	104
FIGURA 132 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro de São Brás).....	104

FIGURA 133 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Terra Firme).....	105
FIGURA 134 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Marco).....	105
FIGURA 135 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Pedreira).....	106
FIGURA 136 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Telégrafo).....	106
FIGURA 137 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Sacramento).....	107
FIGURA 138 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Souza).....	107
FIGURA 139 - Distribuição da temperatura média do ar - Fase II.....	108
FIGURA 140 - Distribuição da temperatura máxima diária do ar - Fase II.....	110
FIGURA 141 - Distribuição da temperatura mínima diária do ar - Fase II.....	111
FIGURA 142 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 01:00 às 03:00 horas, durante a segunda fase experimental.....	113
FIGURA 143 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 04:00 às 06:00 horas, durante a segunda fase experimental.....	113
FIGURA 144 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 07:00 às 09:00 horas, durante a segunda fase experimental.....	114
FIGURA 145 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 10:00 às 12:00 horas, durante a segunda fase experimental.....	115
FIGURA 146 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 13:00 às 15:00 horas, durante a segunda fase experimental.....	115
FIGURA 147 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 16:00 às 18:00 horas, durante a segunda fase experimental.....	116
FIGURA 148 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 19:00 às 21:00 horas, durante a segunda fase experimental.....	117
FIGURA 149 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 22:00 às 24:00 horas, durante a segunda fase experimental.....	117

FIGURA 150 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 01:00 às 03:00 horas, durante a segunda fase experimental	119
FIGURA 151 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 04:00 às 06:00 horas, durante a segunda fase experimental	119
FIGURA 152 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 07:00 às 09:00 horas, durante a segunda fase experimental	120
FIGURA 153 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 10:00 às 12:00 horas, durante a segunda fase experimental	120
FIGURA 154 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 13:00 às 15:00 horas, durante a segunda fase experimental	121
FIGURA 155 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 16:00 às 18:00 horas, durante a segunda fase experimental	122
FIGURA 156 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 19:00 às 21:00 horas, durante a segunda fase experimental	122
FIGURA 157 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 22:00 às 24:00 horas, durante a segunda fase experimental	123
FIGURA 158 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Condor)	124
FIGURA 159 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Condor)	124
FIGURA 160 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Jurunas)	125
FIGURA 161 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Jurunas)	125
FIGURA 162 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Campina)	126
FIGURA 163 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Campina)	126
FIGURA 164 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Umarizal)	127
FIGURA 165 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Umarizal)	127

FIGURA 166 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro de Nazaré).....	128
FIGURA 167 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro de Nazaré)	128
FIGURA 168 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro de São Brás).....	129
FIGURA 169 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro de São Brás)	129
FIGURA 170 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Terra Firme)	130
FIGURA 171 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Terra Firme).....	130
FIGURA 172 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Marco)	131
FIGURA 173 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Marco).....	131
FIGURA 174 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Pedreira).....	132
FIGURA 175 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Pedreira).....	132
FIGURA 176 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Telégrafo).....	133
FIGURA 177 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Telégrafo)	133
FIGURA 178 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Sacramento).....	134
FIGURA 179 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Sacramento).....	134
FIGURA 180 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Souza).....	135

FIGURA 181 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Souza).....	135
FIGURA 182 - Distribuição média diária da direção e velocidade do vento - Fase II.....	137
FIGURA 183 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 26/02/1996 às 0000 UTC.....	139
FIGURA 184 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 26/02/1996 às 1200 UTC.....	139
FIGURA 185 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 26/02/1996 às 2100 UTC.....	140
FIGURA 186 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 27/02/1996 às 0000 UTC.....	141
FIGURA 187 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 27/02/1996 às 0300 UTC.....	141
FIGURA 188- Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 27/02/1996 às 1500 UTC.....	142
FIGURA 189 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 27/02/1996 às 1800 UTC.....	142
FIGURA 190 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 28/02/1996 às 1200 UTC.....	143
FIGURA 191 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 28/02/1996 às 1800 UTC.....	144
FIGURA 192 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 28/02/1996 às 2100 UTC.....	144
FIGURA 193 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/02/1996 às 0900 UTC.....	145
FIGURA 194 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/02/1996 às 1200 UTC.....	145
FIGURA 195 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/02/1996 às 1500 UTC.....	146
FIGURA 196 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/02/1996 às 1800 UTC.....	147

FIGURA 197 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/02/1996 às 2100 UTC.....	147
FIGURA 198 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Condor)	149
FIGURA 199 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Campina).....	149
FIGURA 200 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Terra Firme).....	150
FIGURA 201 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Pedreira)	150
FIGURA 202 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Sacramento)	151
FIGURA 203 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Souza)	151
FIGURA 204 - Distribuição média horária de temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Jurunas)	152
FIGURA 205 - Diferenças médias horárias da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro de Nazaré)	152
FIGURA 206 - Diferenças médias horárias da temperatura e umidade relativa (Bairro do Marco).....	153
FIGURA 207 - Distribuição da temperatura média diária do ar - Fase III.....	154
FIGURA 208 - Distribuição da temperatura máxima diária do ar - Fase III.....	155
FIGURA 209 - Distribuição da temperatura mínima diária do ar - Fase III.....	157
FIGURA 210 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 07:00 às 09:00 horas, durante a terceira fase experimental.....	159
FIGURA 211 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 10:00 às 12:00 horas, durante a terceira fase experimental.....	159
FIGURA 212 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 13:00 às 15:00 horas, durante a terceira fase experimental.....	160

FIGURA 213 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 16:00 às 18:00 horas, durante a terceira fase experimental.....	160
FIGURA 214 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 19:00 às 22:00 horas, durante a terceira fase experimental.....	161
FIGURA 215 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo das 07:00 às 09:00 horas, durante a terceira fase experimental.....	162
FIGURA 216 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo das 10:00 às 12:00 horas, durante a terceira fase experimental.....	163
FIGURA 217 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo das 13:00 às 15:00 horas, durante a terceira fase experimental.....	163
FIGURA 218 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo das 16:00 às 18:00 horas, durante a terceira fase experimental.....	164
FIGURA 219 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo das 19:00 às 22:00 horas, durante a terceira fase experimental.....	165
FIGURA 220 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Condor).....	166
FIGURA 221 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Condor).....	166
FIGURA 222 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Campina).....	167
FIGURA 223 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Campina).....	167
FIGURA 224 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Terra Firme).....	168
FIGURA 225 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Terra Firme).....	168
FIGURA 226 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Pedreira).....	169
FIGURA 227 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Pedreira).....	169
FIGURA 228 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Sacramento).....	170

FIGURA 229 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro da Sacramento).....	170
FIGURA 230 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Souza).....	171
FIGURA 231 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Souza).....	171
FIGURA 232 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Jurunas).....	172
FIGURA 233 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Jurunas).....	172
FIGURA 234 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro de Nazaré).....	173
FIGURA 235 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro de Nazaré).....	173
FIGURA 236 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Marco).....	174
FIGURA 237 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural (Bairro do Marco).....	174
FIGURA 238 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e vento - Fase III.....	176
FIGURA 239 - Imagem do satélite meteorológico GOES, no dia 27/10/1996 às 0900 UTC.....	178
FIGURA 240 - Imagem do satélite meteorológico GOES, no dia 27/10/1996 às 1200 UTC.....	178
FIGURA 241 - Imagem do satélite meteorológico GOES, no dia 28/10/1996 às 0900 UTC.....	179
FIGURA 242 - Imagem do satélite meteorológico GOES, no dia 28/10/1996 às 1200 UTC.....	179
FIGURA 243 - Imagem do satélite meteorológico GOES, no dia 29/10/1996 às 0900 UTC.....	180

FIGURA 244 - Imagem do satélite meteorológico GOES, no dia 29/10/1996 às 1500 UTC.....	180
FIGURA 245 - Imagem do satélite meteorológico GOES, no dia 29/10/1996 às 1800 UTC.....	181
FIGURA 246 - Imagem do satélite meteorológico GOES, no dia 29/10/1996 às 2100 UTC.....	181
FIGURA 247 - Imagem do satélite meteorológico GOES, no dia 30/10/1996 às 0000 UTC.....	182
FIGURA 248 - Imagem do satélite meteorológico GOES, no dia 30/10/1996 às 1200 UTC.....	183
FIGURA 249 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro da Condor).....	184
FIGURA 250 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro da Campina).....	185
FIGURA 251 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro da Terra Firme).....	185
FIGURA 252 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro da Pedreira).....	186
FIGURA 253 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro da Sacramenta).....	186
FIGURA 254 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro do Souza).....	187
FIGURA 255 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro do Jurunas).....	187
FIGURA 256 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro de Nazaré).....	188
FIGURA 257 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Marco).....	188

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Distribuição dos principais elementos urbanos nas proximidades dos locais de observações meteorológicas.....	25
TABELA 02 - Distribuição de calçamento, edificações e vegetação nas proximidades dos locais de observações meteorológicas.....	26
TABELA 03 - Valores médios diários da temperatura do ar - Fase I.....	58
TABELA 04 - Valores médios diários da temperatura do ar - Fase II.....	112
TABELA 05 - Valores médios diários da temperatura do ar - Fase III.....	156

LISTA DE ABREVIATURAS

CODEM - Companhia de Desenvolvimento da Área Metropolitana do Município de Belém

GOES - Geoestacionary Operational Environmental Satelity

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDESP - Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Estado do Pará

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

MPEG - Museu Paraense Emílio Goeldi

OMM - Organização Meteorológica Mundial

SRPV - BE - Serviço Regional de Proteção ao Vôo de Belém

UFPA - Universidade Federal do Pará

UTC - Universal Time Cordinate

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

RESUMO

O clima de uma região apresenta grande influência sobre as atividades humanas. Por outro lado, o ser humano pode também contribuir para provocar alterações no meio ambiente, que em muitos casos, podem ser irreversíveis e prejudiciais. Uma das mais acentuadas modificações meteorológicas provocadas pela urbanização, é o aumento da temperatura do ar em relação ao seu entorno rural adjacente. Este fenômeno é conhecido como "ilha de calor urbana". Com o objetivo de estudar a influência da estrutura urbana sobre o comportamento termo-higrométrico na cidade de Belém - Pará, inclusive o comportamento do fenômeno da ilha de calor urbana, é que se propôs a execução desta pesquisa, que foi desenvolvida em duas épocas distintas do ano, e cujos resultados indicam a existência de grandes alterações meteorológicas decorrentes do processo de urbanização nesta cidade.

Durante a época menos chuvosa a intensidade da ilha de calor urbana atingiu valores de até 4,5°C, em bairros deficientes de arborização e com intensa atividade urbana, principalmente no horário das 18:00 às 22:00 horas, e em condições de céu claro e vento fraco. Na época chuvosa estes valores foram de apenas 1,5°C, nas mesmas condições anteriores, mostrando a grande influência das precipitações pluviométricas no sentido de minimizar os contrastes térmicos existentes entre os diferentes ambientes urbanos estudados. As maiores temperaturas foram observadas nos bairros carentes de vegetação e com predominância de edificações horizontais, como nos bairros do Guamá, Jurunas e Sacramento, ao passo que as menores sempre ocorreram nos bairros bem arborizados e com grande porcentagem de edificações verticais, como no caso de Batista Campos e Nazaré. A umidade relativa do ar apresentou os menores valores nos bairros com arborização deficiente e de grande atividade urbana, como é o caso dos bairros da Campina e do Reduto, enquanto que os maiores valores sempre ocorreram às proximidades de grandes áreas arborizadas. A vegetação foi um dos elementos urbanos que melhor se correlacionou com as variações térmicas na cidade de Belém, contribuindo de maneira marcante no sentido de proporcionar a ocorrência de menores temperaturas do ar.

ABSTRACT

The climate of an area presents great influence on the human activities. On the other hand, the man can also contribute to provoke alterations in the environment, that in many cases, they can be irreversible and harmful. One of the more accentuated meteorological modifications provoked by the urbanization process is the increase of the temperature of the air in relation to yours I spill rural adjacent. This phenomenon is known as urban island of heat. With the objective of studying the influence of the urban structure on the behavior term-higrométrico in the city of Belém - Pará, besides the behavior of the phenomenon of the urban island of heat, is that intended the execution of this research, that it was developed in two times of the year, and whose results indicate the existence of great current meteorological alterations of the urbanization process in that city. During the less rainy time the intensity of the urban island of heat reached values of up to 4,5 °C, in faulty neighborhoods of vegetation and with intense urban activity, mainly in the schedule of 18:00 to 22:00 hours, and in conditions of clear sky and weak wind. At that time rainy those values were of just 1,5°C, in the same previous conditions, showing the great influence of the precipitations in the sense of minimizing the existent thermal contrasts among the different studied urban atmospheres. The largest temperatures were observed in the lacking neighborhoods of vegetation and with prevalence of horizontal constructions, as in the neighborhoods of Guamá, Jurunas and Sacramento, to the step that the smallest temperatures always happened in the very arboreous neighborhoods and with great percentage of vertical constructions, as in the case of the neighborhoods of Nazaré and Batista Campos. The relative humidity of the air presented the smallest values in the faulty neighborhoods of vegetation and of great urban activity, as it is the case of the neighborhoods of Campina and Reduto, while the largest values had always happened in the proximities of great green areas. The vegetation was one of the urban that better elements it was correlated with the thermal variations in the city of Belém, contributing in way accentuated in the sense of providing the occurrence of smaller temperatures of the air.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O rápido e desordenado crescimento das cidades, em especial em países não desenvolvidos, tem tornado difícil proporcionar condições ideais de vida a seus habitantes. Dentre as diversas atividades humanas potencialmente capazes de provocar alterações meteorológicas de pequena e de meso - escala, a urbanização apresenta-se como uma das que mais contribuem para tais alterações (MAITELLI, 1991; GOLDREICH, 1992; JÁUREGUI, 1992).

O aumento da temperatura do ar nas cidades, em relação ao seu ambiente vizinho, gerado por alterações das características térmicas das superfícies, decorrentes da substituição, pelo homem, de áreas verdes por edificações e pavimentação, além de alterações hidrológicas e aerodinâmicas, é conhecido na literatura como o efeito da "ilha de calor urbana". Deste modo, a ilha de calor urbana é uma das mais acentuadas modificações atmosféricas atribuídas ao processo de urbanização (LOWRY, 1967).

O termo "ilha de calor urbana" apareceu pela primeira vez na literatura de linguagem meteorológica inglesa em um trabalho de GORDON MANLEY (1958), no *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, porém, existe a possibilidade de seu emprego anteriormente em algum outro trabalho (LANDSBERG, 1981).

A ilha de calor é o reflexo de mudanças microclimáticas em consequência de alterações da superfície urbana feita pelo homem. Tais mudanças estão relacionadas com as alterações do balanço de energia e de radiação que ocorrem na zona urbana como consequência da substituição de superfícies naturais por superfícies pavimentadas e construções, que armazenam parte da energia recebida durante o dia, liberando-o para o ambiente após o por do sol. Deste modo, a energia que seria utilizada para evaporar a umidade presente na superfície, é diretamente absorvida pela superfície urbana, aquecendo-a mais que o seu entorno rural. O calor de origem antrópico, assim como, a poluição atmosférica, também são fatores fundamentais nessas alterações (LANDSBERG, 1981).

A ilha de calor urbana é um fenômeno característico de todas as cidades e metrópoles, entretanto, a sua distribuição e intensidade é proporcional ao crescimento da cidade e de sua população, sendo mais intensa durante os dias da semana, quando as atividades urbanas são máximas, e mínima no final da semana. Diferenças de temperatura urbano - rural são mais acentuadas durante as estações quentes, quando as maiores amplitudes térmicas são verificadas na área rural. Ela varia também com o tipo de uso e ocupação do solo, com a situação geográfica, além da hora do dia e da estação do ano, sendo mais expressiva em condições de céu claro

da hora do dia e da estação do ano, sendo mais expressiva em condições de céu claro e vento calmo (LANDSBERG, 1981).

Sabe-se que a "ilha de calor urbana" não resulta da ação de um simples fator, e sim, da interação de muitas características da atmosfera urbana. Incluídos dentre essas características que são possíveis causas do clima urbano, temos: A alta capacidade calorífica dos materiais de construção; a redução da área de superfícies de evapotranspiração; a retenção de radiação de ondas longas devido ao aumento da poluição atmosférica, dentre outras (OKE, 1975).

Nas última décadas, grandes alterações tem ocorrido nas investigações dos balanços de radiação e energia nas áreas urbanas, embora os estudos observacionais de vários elementos meteorológicos sejam todos de grande interesse, principalmente, em cidades da Região Tropical e Equatorial (OKE, 1982). Além da caracterização e descrição do fenômeno da ilha de calor urbana, estudos mais recentes tem correlacionado seus efeitos com o crescimento das cidades, através de observações meteorológicas de longos períodos (YAMASHITA, 1990; VIDAL, 1992).

A identificação e dimensionamento do fenômeno da ilha de calor urbana, bem como a sua correlação com outros fatores característicos de regiões urbanas, podem proporcionar importantes subsídios ao estudo do planejamento urbano, de maneira a possibilitar a melhoria da qualidade ambiental.

A cidade de Belém (latitude $01^{\circ} 23'S$, longitude $48^{\circ} 29'W$ e altitude de 13 metros, apesar de se localizar em uma Região Brasileira relativamente pouco desenvolvida, nas últimas décadas vem apresentando um grande crescimento urbano, até certo ponto carente de um planejamento adequado, caracterizando-se pela verticalização e expansão horizontal indiscriminada, onde as superfícies naturais são bruscamente substituídas por construções e outros tipos de superfícies artificiais. Tendo em vista que tal crescimento urbano é um dos principais fatores contribuintes para alterações no clima urbano de uma cidade, e considerando-se a pequena quantidade de pesquisas desenvolvidas sobre esse tema, não só na cidade de Belém, como também na Região Equatorial, torna-se evidente a importância do desenvolvimento da presente pesquisa, com a finalidade de proporcionar o melhor entendimento do comportamento do clima urbano de Belém, dando subsídios à projetos de urbanização que visem otimizar o espaço físico sem grandes agressões ao meio ambiente.

O objetivo principal deste projeto é estudar o comportamento termo-higrométrico na cidade de Belém - PA., relacionado ao processo de urbanização, para definir subsídios às ações dos profissionais interessados em estudos de melhoria da qualidade ambiental em cidades da Região Equatorial, inclusive analisando o comportamento da ilha de calor urbana.

Como objetivos específicos podemos citar:

- O estudo do comportamento médio horário da temperatura e umidade relativa do ar para a cidade de Belém - PA, com base em dados dos últimos 20 anos;
- A quantificação da intensidade da ilha de calor urbana para a cidade de Belém - PA, levando-se em consideração as variações sazonais (épocas chuvosa e menos chuvosa) daquela Região;

- O estudo do comportamento médio horário da temperatura e umidade relativa do ar na zona urbana da cidade de Belém - PA., relacionado-os com as atividades urbanas durante os vários dias da semana;

- A análise do comportamento termo - higrométrico na zona urbana na cidade de Belém - PA. levando-se em consideração as variações sazonais daquela Região.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Vários estudos sobre o clima urbano vem sendo realizados, principalmente em países desenvolvidos, desde o estudo pioneiro de LUKE HOWARD (1818) sobre o clima de Londres, o qual publicou dados indicando uma maior temperatura do ar no centro da cidade, em relação ao seu entorno rural (MITCHELL, 1969). A partir desse estudo pioneiro, e com adicionais conhecimentos proporcionados por pesquisas realizadas posteriormente, ficou constatado que o fenômeno da ilha de calor urbana é proporcional ao crescimento das cidades e de suas populações, sendo mais intensa durante os dias da semana, quando as atividades urbanas são máximas, e mínima no final da semana, quando a "máquina urbana" apresenta-se praticamente inerte. Diferenças de temperatura entre o meio urbano e o meio rural são mais acentuadas durante as estações quentes, quando as maiores amplitudes térmicas são verificadas na área rural.

DUCKWORT & SANDBERG (1954) estudaram o comportamento da temperatura do ar em três cidades de diferentes tamanhos na Califórnia (Palo Alto, San Jose e San Francisco), utilizando para isto o método de medidas móveis e sondagens com balão cativo. Em todas as cidades estudadas, a temperatura horizontal do ar apresentou aumento no sentido da periferia para o centro, numa proporção direta com a densidade de sua estrutura. No que se refere ao comportamento vertical da temperatura do ar, tanto sobre a região urbana como sobre a região rural, os valores de 40 a 90 metros foram considerados como sendo o limite onde os efeitos do aquecimento da superfície são sentidos, embora, de uma maneira geral, este limite seja de aproximadamente 3 vezes o valor das alturas médias das construções.

SEKIGUTI (1968) em Tóquio encontrou a altura da ilha de calor variando entre 3 a 5 vezes a altura média das construções nas grandes cidades, sendo que em cidades de porte médio, em regiões rurais, esta altura não ultrapassou os 40 metros. Ainda segundo o mesmo autor, o comportamento do vento nas cidades não apresentaram um perfil logarítmico, estando os valores máximos por volta da altura mencionada acima. Para o caso de Tóquio, a ilha de calor urbana estudada persistiu até cerca de 100-150 metros de altura acima da superfície, estando a velocidade máxima do vento por volta de 50 a 120 metros de altura da superfície.

CHANDLER (1962) estudando o comportamento da temperatura e umidade relativa do ar, através de medidas móveis em transectos na cidade de Londres, também encontrou resultados semelhantes, estando a ilha de calor mais intensa localizada no centro da cidade, tendendo a diminuir em direção à periferia. Quanto aos valores de umidade relativa, estes foram mínimos no centro da cidade, tendendo a máximos em áreas abertas e com baixa densidade de construções.

Estudos realizados por HUTCHEON et al. (1967) sobre observações de ilha de calor urbana em uma pequena cidade em Oregon - EUA, com população de

21.000 habitantes, encontraram o mais intenso núcleo de temperaturas elevadas no centro comercial da cidade, próximo das 22:00 horas local e em condições de céu claro e vento calmo.

BORNSTEIN (1968), estudando as diferenças no campo da temperatura do ar na baixa atmosfera sobre a cidade de New York, observou que a intensidade média da ilha de calor urbana é máxima próximo à superfície, desaparecendo por volta de 300 metros de altura. A altura média da base da camada de inversão urbana foi quase idêntico ao nível médio no qual as diferenças de temperatura rural - urbana torna-se zero.

A intensidade média da ilha de calor, medida pela magnitude das diferenças de temperatura entre os sítios rural e urbano, foi máxima (1.6°C) abaixo de 25 metros, e decresceu até 0°C por volta de 300 metros. As inversões de temperatura sobre a área urbana são menos intensas e menos frequentes que aquelas verificadas sobre regiões rurais.

A ilha de calor urbana em Hamilton - Canadá (latitude de 43°N 79°W) foi estudada por OKE & HANNEL (1968), sob diferentes condições de tempo atmosférico. A forma da ilha de calor urbana encontrada, apesar de bem definida durante o período estudado, apresentou-se bastante complexa, sendo tal complexidade atribuída a fatores relacionados à topografia, à proximidade de grandes corpos d'água e a morfologia urbana.

Investigações realizadas por JÁUREGUI (1973) sobre o efeito da ilha de calor urbana na cidade do México, utilizando o método de medidas móveis, constataram que as mais intensas ilhas de calor estavam associadas com as condições de fortes inversões térmicas na estação seca, quando as maiores taxas da poluição atmosférica foram registradas.

OKE & MAXWEL (1975) estudando o papel de superfícies rural e urbana no que se refere ao crescimento e decaimento da ilha de calor urbana em Montreal, Quebec e Vancouver, no Canadá, verificaram que a máxima intensidade da ilha de calor urbana ocorreu 3 a 5 horas após o por do sol, em todas as cidades, tanto no verão como no inverno.

Contrastes térmicos entre cidade e campo também foram estudados em Toluca-México, através de medidas móveis por JÁUREGUI (1979). Os resultados apresentaram contrastes da ordem de 5.0°C , sendo inferiores aos valores encontrados pelo mesmo autor para a cidade do México, o que mostra uma relação com o tamanho do sítio urbano. Esta ilha de calor mostra também uma variação estacional, sendo mais acentuada na época seca, diminuindo de intensidade com a época chuvosa, quando a umidade ambiente é aumentada e os contrastes térmicos entre a cidade e a área rural circundante são reduzidos. A umidade relativa foi mínima no centro da ilha de calor, aumentando gradualmente em direção à periferia. A crescente contaminação atmosférica também facilita a intensificação dos contrastes térmicos cidade/campo. Após o por do sol, o ambiente rural experimentou um resfriamento muito mais intenso que em áreas urbanas, onde o resfriamento permaneceu relativamente fraco e constante.

Os resultados destas análises mostraram que em condições de céu claro e vento calmo, o resfriamento noturno na área rural pode ser expresso como uma função da raiz quadrada do tempo, porém, o resfriamento urbano apresenta uma dependência linear do tempo.

Estudos anuais e sazonais realizadas durante 20 anos por ADEBAYO (1987), sobre as características de temperatura do ar em Ibadan-Nigéria (latitude de 7° 23'N e longitude de 3° 54'E), sugeriram a existência de um importante papel das variações sazonais dos parâmetros meteorológicos no controle da magnitude da ilha de calor urbana nas cidades tropicais. Os efeitos da ilha de calor urbana foram claramente refletidos nas magnitudes das temperaturas mínimas e médias noturnas, sendo mais notáveis no final da estação seca e na parte inicial da estação chuvosa. Neste estudo, a ilha de calor urbano foi de 1°C durante a estação seca e 0.5°C durante a estação chuvosa.

WANG et al. (1990), estudando o comportamento da temperatura do ar durante um período de 40 anos (1954-1983) em 42 cidades chinesas com população variando entre 1.700.000 e 150.000 habitantes, encontraram grande variabilidade regional e sazonal nas ilhas de calor, sendo os valores médios deste fenômeno da ordem de 0.23°C, com os maiores valores ocorrendo na última década, o que sugeriu um aumento deste fenômeno da ordem de 0.1°C, embora este aumento não tenha sido constante com o tempo.

Estudos sobre o comportamento das temperaturas máximas e mínimas do ar realizados por NASRALLAH et al.(1990), durante um período de 23 anos em três estações meteorológicas no Kuwait, constataram a presença de uma fraca ilha de calor na área metropolitana da cidade, sendo bem inferiores às observadas em outras cidades semelhantes da América do Norte. A justificativa para tal comportamento foi a grande influência exercida pela proximidade de grandes corpos d'água no padrão da temperatura do ar na superfície.

* A vegetação exerce uma influência positiva tanto sobre o clima como sobre a qualidade do ar. As áreas verdes proporcionam a redução da temperatura nos centros urbanos, pois parte da energia solar que seria disponível para o aquecimento das estruturas urbanas, é utilizada no processo de evaporação da água liberada ao ambiente através da transpiração. Estudos realizados por STULPNAGEL et al.(1990) sobre a influência da vegetação no comportamento da temperatura do ar em Berlim, mostraram que a temperatura média anual do ar apresentou consideráveis variações, sendo os maiores valores (12°C) encontrados no centro da cidade, enquanto os menores valores (7,5°C) ocorreram em áreas vegetadas na periferia da cidade. Tais diferenças foram atribuídas à tipologia de uso e ocupação do solo.

Com a finalidade de investigar os efeitos do uso do solo e produção de calor antrópico sobre a temperatura do ar na área metropolitana de Tóquio, KIMURA & TAKAHASHI (1991) desenvolveram um experimento numérico sob condições sinóticas típicas de verão. Os resultados obtidos através de simulações concordaram com as variações diurnas da temperatura do ar observadas na superfície. A intensidade da ilha de calor no centro de Tóquio foi estimada em 1°C durante o dia, sendo de 2 a 3°C durante a noite. Esta intensidade foi atribuída, segundo estes pesquisadores, em grande parte, ao fornecimento de calor antrópico

Os efeitos do rápido crescimento da população, da industrialização e do consumo de energia sobre o clima urbano de Shanghai, maior cidade industrial e comercial da China, foram investigados por CHAO (1991). Os resultados mostraram que os principais elementos responsáveis pela formação da ilha de calor urbana naquela cidade foram as condições meteorológicas predominantes, a natureza da superfície e a produção de calor antrópico. As estações de outono e inverno, com noites claras e estabilidade atmosférica sem ventos, foram as condições ideais para a formação das ilhas de calor, as quais chegaram a valores de 4,5°C.

ZURITA et al.(1991) analisaram o relacionamento da temperatura do ar com o crescimento da cidade de Madri, utilizando três estações rurais e uma urbana. Os resultados encontrados, calculados com base nas variações sazonais, mostraram que os menores valores da ilha de calor urbana ocorreram na primavera, enquanto que os máximos foram verificados no verão, e estavam associados com situações de tempo anticiclônico, com céu claro e vento fraco.

A magnitude do efeito da urbanização sobre a temperatura do ar na cidade tropical de Guadalajara foi examinado durante 40 anos (1931-1970) por JÁUREGUI (1992). Os resultados mostraram que a temperatura do ar apresentou uma tendência de aumento da ordem de 0.03°C por ano, embora de maneira irregular. Quando a população apresentou um aumento da ordem de 90%, na década de 40, o correspondente aumento da temperatura do ar foi de 0.4°C. Entretanto, a maior taxa de aumento (0.7°C) ocorreu na década de 60, quando a população cresceu apenas 70%. Estes resultados sugerem que outros fatores tenham influenciado em tal fato. A ilha de calor é intensificada durante a estação seca, diminuindo durante a estação chuvosa, quando os contrastes térmicos cidade/campo são mínimos. A influência da vegetação no comportamento da temperatura do ar em Guadalajara também foi observada, tendo um parque no subúrbio apresentado valores da ordem de 3°C mais frio que o sítio urbano vizinho, sugerindo o efeito "oásis".

GOLDREICH (1992) sumariza os resultados de três décadas de estudos sobre o clima urbano de Johannesburg-África do Sul, situada sobre uma cadeia de montanhas e com altitude de 1.700 metros. Dentre os resultados encontrados na primeira fase dos estudos, destacou-se a presença de uma forte ilha de calor urbana no centro do distrito industrial, durante a estação seca e com forte inversão térmica noturna, sendo a diferença espacial média em relação a área rural adjacente superior a 11°C.

GALLO et al. (1993) utilizaram índice de vegetação e temperatura radiativa da superfície derivado do satélite NOAA-11, com a finalidade de avaliar os efeitos da ilha de calor urbana em Seattle - WA. Os resultados obtidos pelo satélite sobre as regiões rural e urbana foram linearmente relacionados com os dados de temperaturas mínimas do ar observados na superfície, mostrando grande potencial de aplicação no estudo do clima urbano.

Estudos realizados por LEE (1993) na Coreia do Sul, em cidades com mais de 300.000 habitantes, correlacionaram dados derivados dos satélites NOAA-9 e NOAA-10 com dados de temperatura do ar obtidos através de estações meteorológicas de superfície, com a finalidade de examinar a aplicabilidade desta técnica em estudos sobre ilhas de calor urbana. Os resultados desta correlação

mostraram-se bastante satisfatórios, sendo esta técnica considerada uma ferramenta adequada para tais estudos.

Em termos de estudos urbanos no Brasil, estes são relativamente recentes, merecendo citação os realizados por CAMARGO & TAVARES (1985); LOMBARDO (1985); MAITELLI et al. (1991); HASENACK & BECKE (1991); ASSIS (1991); VIDAL (1992); SOUZA (1996) e MARTINS (1996).

Estudos realizados por CAMARGO & TAVARES (1985) sobre a formação da ilha de calor urbana em Rio Claro-SP, constataram a existência de uma tendência das temperaturas mais elevadas ocorrerem no centro da cidade, diminuindo em direção à periferia e área rural. Este fato foi atribuído ao efeito da urbanização. Quanto à umidade absoluta, esta é, freqüentemente, mais ou, pelo menos equivalente aos valores encontrados nos outros locais, muito embora a umidade relativa do ar seja menor no centro da cidade quando comparado com os outros locais estudados.

LOMBARDO (1985), estudando o fenômeno da ilha de calor urbana na cidade de São Paulo, utilizando técnicas de sensoramento remoto, verificou grandes diferenças horizontais na temperatura do ar entre o centro da cidade e a área rural adjacente, sendo que em condições de céu claro e vento calmo, tais diferenças superaram 10°C. A maior intensidade deste fenômeno ocorreu a partir das 15:00 horas, estendendo-se até as 21:00 horas. No período da madrugada, quando as atividades urbanas são reduzidas e o balanço de radiação chega a um equilíbrio, o fenômeno da ilha de calor apresentou uma diminuição considerável.

YAMASHITA et al. (1988) estudando o comportamento da ilha de calor urbana em duas cidades localizadas na região árida e semi-árida do Nordeste Brasileiro, observaram que estas apresentaram as formas típicas de ilhas de calor encontradas em Regiões Tropicais, isto é, localizadas no centro urbano, embora fossem bem mais definidas durante as horas do dia. A ilha seca apareceu usualmente de acordo com a ilha de calor, porém ela não foi sempre bem definida nas duas cidades. Durante o dia não foram encontradas diferenças significativas na umidade relativa do ar entre as áreas rural e urbana, embora as ilhas de calor fossem bem definidas.

MAITELLI et al. (1991) estudando a localização de ilhas de calor e distribuição horizontal de umidade relativa do ar em Cuiabá - MT, bem como a relação entre esses elementos meteorológicos e o uso do solo urbano, constataram que a configuração da ilha de calor urbana de Cuiabá identificou-se com o modelo clássico, onde as maiores temperaturas e menores valores de umidade relativa do ar ocorrem no centro comercial da cidade. As áreas centrais são mais quentes e relacionam-se ao uso do solo urbano. A tendência de diminuição de áreas verdes na cidade, assim como, o aumento da verticalização das construções no centro da cidade contribuem para o aumento da temperatura do ar.

HASENACK & BECKE (1991), estudando distribuição da temperatura do ar no ambiente urbano de Porto Alegre, através do método de medidas móveis, encontraram melhor correlação da intensidade da ilha de calor com a distribuição da vegetação e densidade de edificações. Embora tenham encontrado vários núcleos de temperaturas elevadas na cidade, a ilha de calor mais definida foi observada na área

central da cidade, em todas as noites, variando em forma e intensidade, mesmo em condições de tempo semelhante. Em áreas com maior concentração de vegetação arbórea no interior da área urbana, foram observadas a formação de ilhas frias, também conhecida como efeito "Oásis", por apresentarem temperaturas inferiores às das áreas construídas, merecendo destaque a dimensão das áreas verdes e o porte da vegetação.

Estudos realizados por ASSIS (1991) sobre o comportamento da ilha de calor urbana em Belo Horizonte, encontraram resultados, considerados como tendências, que também mostraram as variações das temperaturas do ar relacionadas com a tipologia de uso e ocupação do solo.

VIDAL (1992) estudou as relações entre a morfologia urbana e a distribuição espacial da temperatura do ar em Natal - RN. Os resultados mostraram que os elementos mais significativos na determinação das características da temperatura do ar foram à proximidade com o oceano, a topografia, as características do tecido urbano e a presença de áreas vegetadas. Durante o dia as temperaturas mais elevadas foram registradas nos espaços abertos, sem sombreamento e/ou arborização, onde os efeitos da radiação solar direta eram mais intensos. O setor mais verticalizado, devido à sua localização e formação de sombras, apresentou temperaturas mais amenas, assim como, as ruas largas com canteiros centrais arborizados e áreas com intensa vegetação. Durante a noite as maiores temperaturas ocorreram nas áreas onde os ventos eram fracos ou quase inexistentes.

SOUZA (1996) estudando a influência da geometria urbana sobre a temperatura do ar na cidade de São Carlos - SP, verificou apenas fraca influência desse elemento, sugerindo a possibilidade de maior adensamento urbano sem conseqüências danosas no ponto de vista térmico.

MARTINS (1996) constatou em Juiz de Fora - MG, que as áreas mais verticalizadas, devido ao maior acúmulo de energia solar durante o dia, proporcionaram menores resfriamentos noturnos, além de antecipar o resfriamento diurno no centro da cidade devido ao efeito do sombreamento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Belém é composto por uma área terrestre, que corresponde à região continental de Belém e Icoaraci, e compreende uma área de 173,2 Km², e uma área insular, composta por 39 ilhas, as quais totalizam uma área de 343,2 Km². Deste modo, a área urbana da cidade de Belém é formada pelo agrupamento de 20 bairros, os quais cobrem uma área de, aproximadamente, 150 Km², e abriga uma população residente de 828.529 habitantes (SEGEP, 1995).

A presente pesquisa foi desenvolvida na área urbana da cidade de Belém - Pa, cujas coordenadas geográficas são 01° 23'S e 48° 29'W, estando situada às margens do Rio Guamá e Baía do Guajará (FIGURA 01).

Quanto às características de relevo, Belém apresenta uma topografia praticamente plana, sendo que aproximadamente 60% de suas terras encontram-se abaixo da cota de 4,0 metros acima do nível do mar. Na parte de terra firme, predomina o latossolo amarelo, com algumas manchas de podzois hidromórficos, areias e concrecionário laterítico. Certamente, na área urbana tais características originais encontram-se, atualmente, bastante modificadas pelo processo ocupacional urbano. Até meados dos anos sessenta, o crescimento da cidade, de um modo geral, se restringiu à área Sudoeste de seu espaço físico territorial, caracterizado por terras firmes.

3.2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA REGIÃO

3.2.1. SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES NA REGIÃO

O crescente interesse pelo estudo do tempo e do clima de diversas regiões do globo terrestre, tem mostrado a necessidade de se prever e/ou minimizar os impactos provocados por condições ambientais adversas, em muitos casos catastróficas para o homem. O conhecimento da influência dos fatores estáticos ou geográficos que atuam sobre o clima de uma região, por mais completo que seja, não basta para a compreensão de seu clima. Este depende fundamentalmente dos mecanismos de circulação atmosférica, objeto do estudo da meteorologia sinótica e dinâmica.

Deste modo, é evidente a grande importância de se estudar o comportamento médio dos principais elementos meteorológicos, visando o aproveitamento racional dos recursos ambientais.

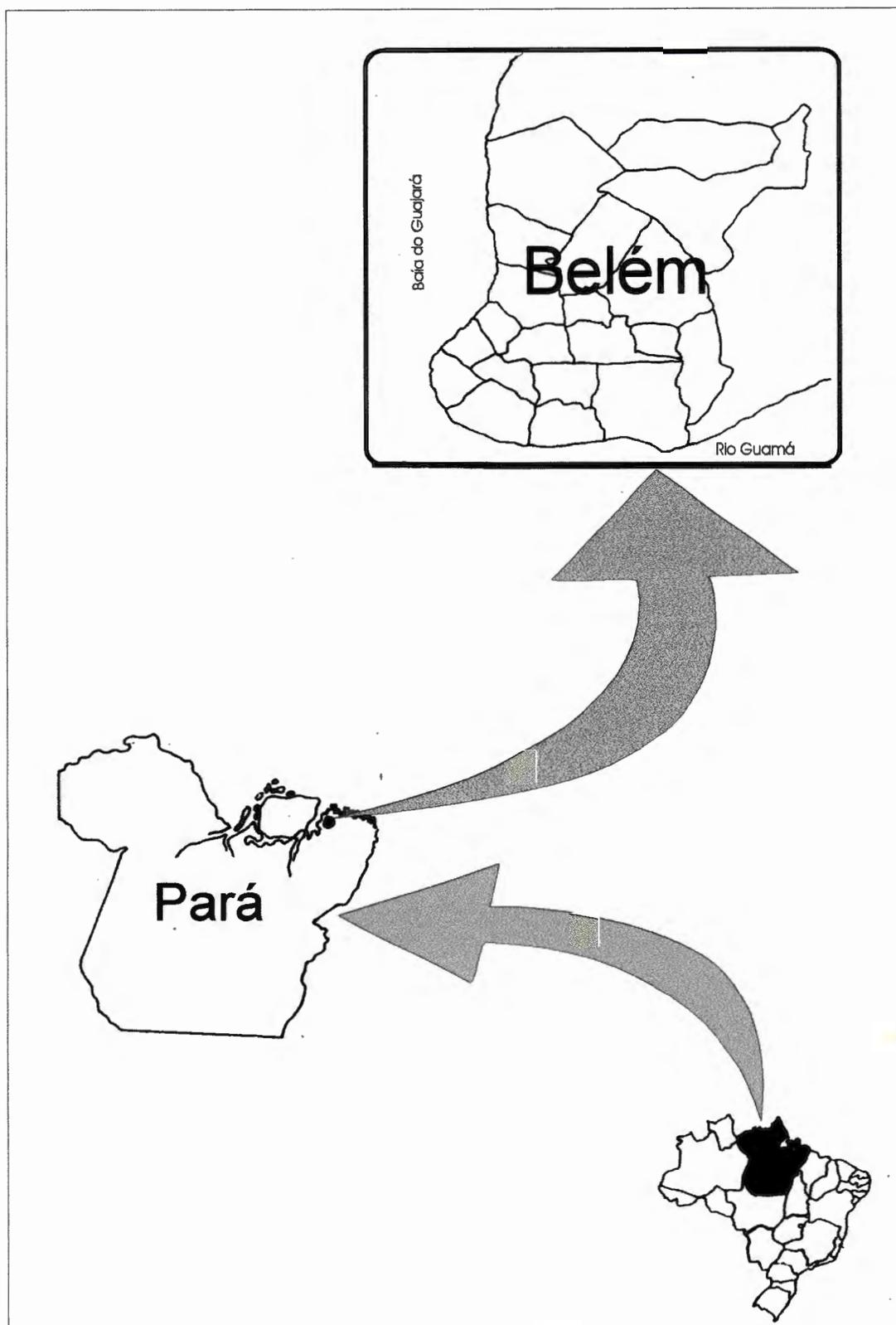


FIGURA 01 - Localização geográfica da área de estudo

A Região Norte é caracterizada por apresentar valores médios anuais elevados de temperatura e umidade relativa do ar, além de elevado índice pluviométrico anual, embora com grandes variações nos totais mensais. Os principais mecanismos que explicam estas características, são a combinação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), das brisas marítimas, da penetração de sistemas frontais oriundos do Sul do continente Sul - Americano, da grande fonte de vapor d'água atmosférico, representada pela Bacia Amazônica e das linhas de instabilidade (NIMER, 1979).

Com base neste fato, é de fundamental importância a análise dos principais sistemas de circulação atmosférica que pela sua atuação direta, exerce um papel fundamental no comportamento climatológico da Região Amazônica.

Através do setor Oriental da Região Norte sopram, periodicamente, ventos de Nordeste (NE) e de Este (E), proveniente dos anticiclones subtropicais semipermanentes do Atlântico Sul e do Atlântico Norte.

Geralmente associadas às ondulações frontais, formam-se pequenas depressões barométricas, ao longo das quais formações cumuliformes se desenvolvem e se deslocam, podendo resultar em precipitações intensas e localizadas, são as chamadas Linhas de Instabilidade (LI). No interior do continente Sul - Americano, estas LI ocorrem no seio da massa equatorial continental. O forte aquecimento diurno apresenta um papel fundamental em sua formação. Essas formações ocorrem principalmente no verão, durante o dia, em consequência da intensa radiação solar incidente sobre a Região Tropical. Inicia-se pelo surgimento de nuvens cumulus, que após o seu desenvolvimento pode atingir o estágio de cumulonimbus pela parte da tarde, quando a convecção atinge a sua máxima intensidade.

Geralmente estes sistemas provocam precipitações fortes e localizadas, associadas a rajadas, granizo, descargas elétricas e trovoadas. O deslocamento destas LI, no Brasil, ocorre no sentido de Oeste para Leste, e desempenham um importante papel no regime de precipitação da Região Norte. Na Amazônia, o mais importante local de origem das LI é o setor Ocidental, onde, após formadas, elas se deslocam para o Sudeste (SE), até a Amazônia Central.

Outro sistema de circulação atmosférica de grande importância na região é a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, formada pela confluência dos ventos alísios dos anticiclones semipermanentes do Atlântico Sul e do Atlântico Norte. A ZCIT é caracterizada por um cinturão de Nuvens cumuliformes que oscila latitudinalmente ao longo do ano, porém as suas posições extremas não são simétricas em relação ao Equador terrestre. Esta diferença é devido às diferentes distribuições entre os oceanos e os continentes em ambos os hemisférios. Em janeiro a ZCIT localiza-se entre 5°S e 8°N. No mês de julho a sua variação é entre 2°N e 17°N. Deste modo, a sua posição média em janeiro é de 4°S, ao passo que em julho é de 13°N RIEHL (1964). A ZCIT é uma das principais responsáveis pelo regime pluviométrico da Região Norte, uma vez que, geralmente a época mais chuvosa da região está associada com a sua passagem ou permanência sobre o local.

Finalmente, durante o inverno do Hemisfério Sul, um outro sistema de circulação atmosférico pode causar alterações climáticas na Região Norte: São as frentes polares (FP). A fonte destes anticiclones é a Região Polar de superfície gelada, constituída pelo continente Antártico. As frentes polares que penetram no continente sul - americano e se deslocam em direção às baixas latitudes, apresentam,

freqüentemente, ventos de Sul (S) e Sudeste (SE). No seu deslocamento de sua origem até as baixas latitudes, os anticiclones polares sofrem profundas modificações em relação a sua temperatura e conteúdo de umidade. Na sua origem eles são secos, frios e estáveis, porém, em sua trajetória eles absorvem calor e umidade colhidos na superfície do mar, aumentando a medida que se desloca para a Região Equatorial, de maneira que, o ar polar marítimo se torna instável. Ao penetrar no Norte do Brasil, a superfície frontal apresenta orientação Noroeste (NW) - Sudeste (SE), com ventos do quadrante sul, provocando chuvas frontais acompanhados de queda de temperatura. Tais sistemas atingem esta região no inverno do Hemisfério Sul.

3.2.2. TEMPERATURA DO AR

A variação diária da temperatura do ar está diretamente relacionada com a absorção da radiação solar pela superfície. Dentre os fatores responsáveis pelas variações térmicas de um local, merecem destaque, dentre outros: o tipo de superfície, a cor, o conteúdo de umidade, a inclinação, a latitude, o dia do ano e a hora do dia.

Por estar localizado na Região Equatorial, a área de estudo apresenta uma pequena variabilidade anual na sua temperatura média, sendo que o máximo valor ocorre no mês de outubro e o mínimo no mês de março, com 27,9°C e 25,7°C, respectivamente. Como observa-se, a amplitude térmica média anual é de apenas 2,2°C. Em termo de valor médio anual, o seu valor é de 26,5°C (INMET,1992)

As menores temperaturas médias são verificadas nos meses de fevereiro, março e abril, que correspondem aos meses de maior nebulosidade e precipitação pluviométrica, o que contribui para o menor aquecimento da superfície.

3.2.3. PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Pela sua localização Equatorial, onde existe grande disponibilidade de umidade e energia durante todo o ano, o total de precipitação pluviométrica anual é bastante elevado, com um valor médio da ordem de 2.893 mm.

Devido à pequena variabilidade anual da temperatura média do ar, as variações sazonais nessa Região são classificadas em função da variabilidade anual das precipitações pluviométricas. Sendo assim, costuma-se dividir o ano em duas estações distintas: uma chuvosa, que estende-se de dezembro até maio, e outra estação menos chuvosa, que vai de junho a novembro. Os meses mais chuvosos e menos chuvosos são março e novembro, com uma precipitação pluviométrica média de 436 mm e 112 mm, respectivamente.

Quanto à distribuição diária das precipitações pluviométricas, esta não apresenta um padrão bem definido, embora exista uma certa tendência de, na época menos chuvosa, estas ocorrerem no período das 16:00 horas às 06:00 horas.

3.2.4. UMIDADE RELATIVA DO AR

Por se encontrar em uma faixa de baixas pressões atmosféricas, onde predominam os movimentos ascendentes das massas de ar atmosféricas, esta região apresenta um valor médio anual elevado de umidade relativa do ar, estando esta distribuição diretamente relacionada com a oscilação latitudinal da ZCIT, onde os maiores valores coincidem com a passagem deste sistema sobre a Região. Os maiores valores ocorrem nos meses de fevereiro, março e abril, com uma média de 91%, diminuindo em seguida até atingir os valores mínimos, da ordem de 83%, nos meses de outubro e novembro. A oscilação média anual é relativamente pequena, estando em torno de 8 %, enquanto que o valor médio anual é de aproximadamente 84%.

3.2.5. EVAPORAÇÃO

Devido a grande disponibilidade de energia, proporcionado pela pequena variação anual da inclinação dos raios solares na Região, a evaporação média anual é elevada e da ordem de 771 mm. Entretanto, a oscilação média mensal é bem acentuada, com os menores valores ocorrendo no mês de fevereiro, com média de 38,5mm, quando predomina grande nebulosidade, inibindo o aquecimento da superfície, até um máximo de 83mm, no mês de novembro, onde a pequena porcentagem de cobertura do céu proporciona a ocorrência de elevadas temperaturas

3.2.6. BRILHO SOLAR

A exemplo da evaporação total, o brilho solar também sofre grandes variações médias mensais nessa Região, oscilando entre um mínimo de 99 horas para o mês de fevereiro, quando predomina grande nebulosidade, até um valor máximo de 256 horas, para o mês de agosto. Os meses de fevereiro, março e abril contribuem com apenas 14 % do total de brilho solar anual. Essa grande variação anual está associada diretamente com a variação média anual da nebulosidade, provocada, principalmente, pelo deslocamento anual da ZCIT.

3.2.7. NEBULOSIDADE

Devido às características de elevada umidade do ar associada com a grande disponibilidade de energia solar anual, a nebulosidade média mensal é elevada durante grande parte do ano, sendo que em nenhum dos meses o seu valor médio é inferior a 5/10 da abobada celeste. Nos meses mais chuvosos a nebulosidade média chega a alcançar valores da ordem de 8/10. Em termos anuais, o seu valor médio é de 6/10, valor este considerado bastante elevado.

3.2.8. VENTOS

Localizada na região de confluência dos ventos Alísios, a cidade de Belém apresenta direção predominante dos ventos de Norte e Nordeste, com baixas

velocidades médias anuais, oscilando entre 1.0 m/s e 2,0 m/s, sendo que os menores valores ocorrem, geralmente, na estação chuvosa.

3.2.9. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA

As inúmeras variações no clima de um local para outro, proporcionadas por diferentes combinações dos processos atmosféricos, produzem, conseqüentemente, uma grande variedade de tipos climáticos.

Dentre as diferentes classificações climáticas atualmente aceitas, podemos destacar, dentre outras, a de KOEPPEN (1846 - 1940), que incorpora, além da vegetação, valores da temperatura do ar, precipitação pluviométrica e características sazonais; a de THORNTHWAITE (1948), que introduziu o balanço hídrico em sua classificação, e THORNTHWAITE & MATHER (1955) aperfeiçoaram o método anterior. Em tais modificações, a capacidade de campo e a taxa de utilização da umidade do solo para a evapotranspiração passaram a depender da profundidade, do tipo e da estrutura do solo.

Desse modo, o balanço hídrico é um importante indicador das trocas ocorridas no sistema solo - planta - atmosfera, e proporciona subsídios fundamentais no que se refere à utilização racional dos recursos hídricos de uma região nos diversos ramos das atividades humanas.

Segundo Koeppen, a cidade de Belém pode ser classificada como de clima tropical chuvoso, com pequena amplitude térmica anual e precipitação média mensal superior a 60 mm, ou seja, do tipo Af. Quando considerada a classificação de Thornthwaite, ela é classificada como clima muito úmido, com pequena deficiência de água, ou seja, do tipo B4A'r (MARTORANO et al. 1993)

3.3. DADOS UTILIZADOS

Foram utilizados dados horários de temperatura do ar, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento e nebulosidade, os quais foram obtidos durante três fases experimentais distintas.

3.3.1. PRIMEIRA FASE EXPERIMENTAL - ESTAÇÃO MENOS CHUVOSA

A primeira fase experimental ocorreu no período de 23 a 29 de outubro de 1995, na estação menos chuvosa da Região, e com a utilização de 18 (dezoito) locais de coleta de dados meteorológicos, onde realizaram-se observações horárias consecutivas, durante as 24 horas diárias e ao longo de todo o período estudado.

Devido, principalmente, às limitações do número de equipamentos, os locais de coleta de dados meteorológicos foram divididos da seguinte maneira: Nos dois primeiros dias (23 e 24/10/95) foram escolhidos 06 (seis) locais distintos na área mais intensamente urbanizada da cidade. Nos dias 25 e 26/10/1995 mais 06 (seis) locais distintos foram amostrados, sempre deslocados na direção do centro para a periferia.

Após o quarto dia, mais 06 (seis) novos locais foram amostrados, sendo esses distribuídos nos bairros mais afastados do centro da cidade, onde permaneceram por mais três dias consecutivos (27 a 29/10/95).

3.3.2. SEGUNDA FASE EXPERIMENTAL - ESTAÇÃO CHUVOSA

A segunda fase experimental foi realizada no período de 26 a 29 de fevereiro de 1996, na estação chuvosa da Região. Além da limitação do número de equipamentos, problemas de ordem financeira contribuíram para a redução do período estudado e do número de locais amostrados. Outro fato que justificou esta redução, é a grande similaridade no comportamento térmico entre os diferentes ambientes urbanos nesta época do ano, causado pelo efeito amenizante das precipitações. Sendo assim, nessa fase foram utilizados apenas 12 (doze) locais de coleta de dados meteorológicos, escolhidos dentre aqueles utilizados na primeira fase, onde realizaram-se observações horárias consecutivas, durante as 24 horas diárias e ao longo de todo o período estudado. Nos dois primeiros dias (26 e 27/02/96) foram selecionados 06 (seis) locais distintos, procurando-se cobrir aproximadamente 50% da área estudada, sempre distribuídos na direção do centro para a periferia da cidade. Após os dois primeiros dias de coleta, mais 06 (seis) locais distintos foram amostrados, cobrindo agora os 50% restantes da área estudada, onde permaneceram por mais dois dias consecutivos (28 e 29/02/96).

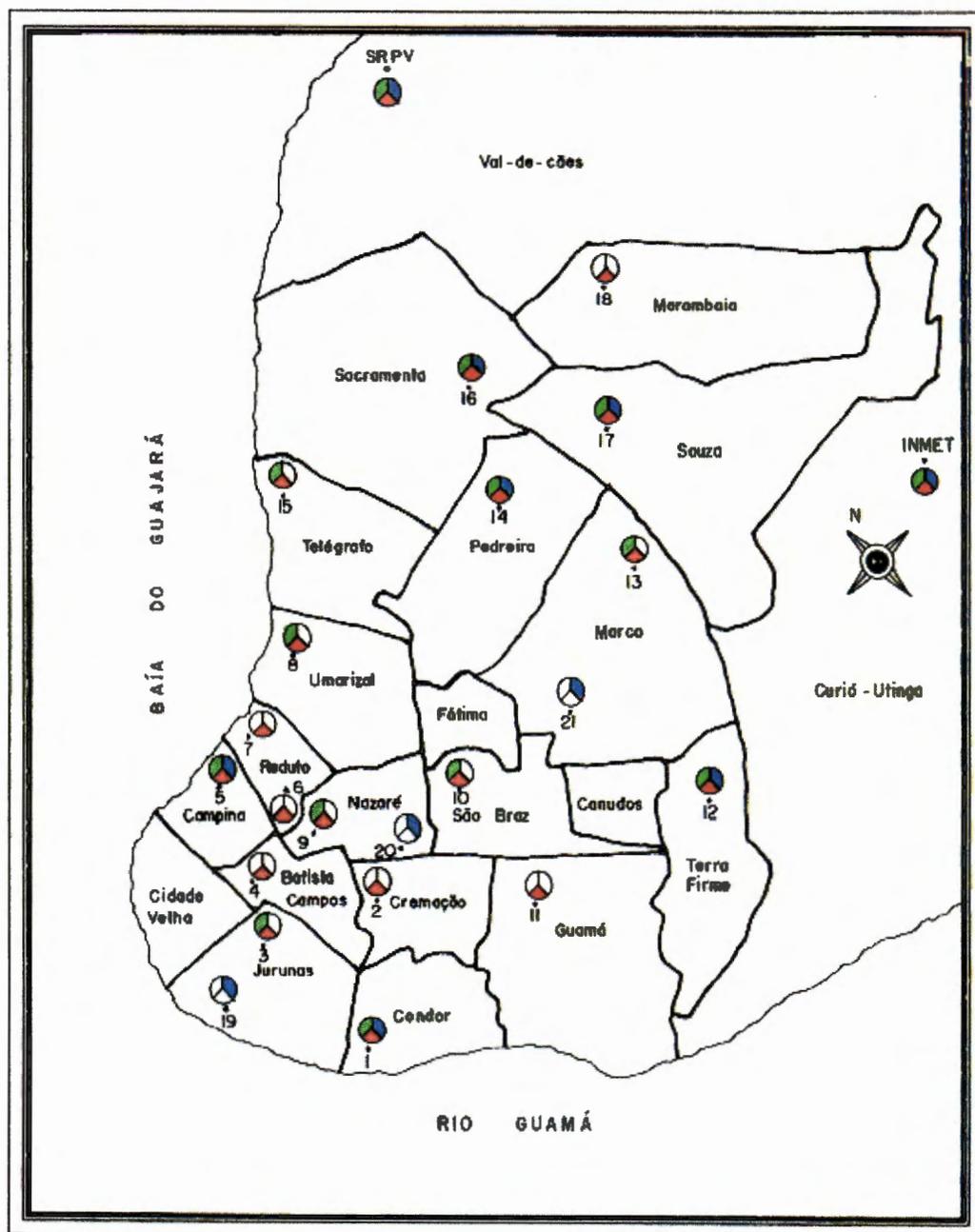
3.3.3. TERCEIRA FASE EXPERIMENTAL - ESTAÇÃO MENOS CHUVOSA (Observações simultâneas)

Nesta fase experimental as observações foram realizadas simultaneamente no período de 27 a 30 de outubro de 1996, na estação menos chuvosa da Região. Além das dificuldades já mencionadas anteriormente, nessa fase houveram problemas de disponibilidade de observadores meteorológicos, o que contribuiu para a utilização de apenas 09 (nove) locais fixos de coleta de dados meteorológicos, escolhidos dentre aqueles utilizados nas fases anteriores, onde foram realizadas observações horárias e simultâneas no período das 07:00 às 22:00 horas, e ao longo de todo o período estudado. Nessa fase foram introduzidos 3 (três) novos locais de observações meteorológicas, visando-se a melhoria da representatividade da área estudada.

3.4. LOCAIS DE COLETA DE DADOS METEOROLÓGICOS

Para a seleção dos locais de coleta de dados meteorológicos, os critérios adotados foram a representatividade da área de estudo, a facilidade de operação, além da segurança dos equipamentos e dos observadores meteorológicos.

Na realização desta pesquisa a distribuição foi feita de modo que cada bairro apresentasse, pelo menos, um local de observação e que esse fosse o mais representativo possível das características gerais daquele bairro (FIGURA 02).



LEGENDA:



FASE - I



FASE - II



FASE - III

FIGURA 02 - Distribuição dos locais de coleta de dados meteorológicos durante as três fases experimentais.

3.5. ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS PADRÕES

Em todas as fases experimentais foram utilizados também os dados meteorológicos observados nas estações meteorológicas de superfície do Serviço Regional de Proteção ao Vôo de Belém (SRPV - BE) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As informações obtidas nestas estações serviram para complementar as informações meteorológicas obtidas durante as três fases experimentais.

A estação meteorológica de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia, pelo fato de estar localizada em uma área tipicamente rural, onde a porcentagem de vegetação ainda é bastante elevada (FIGURA 03), e por encontrar-se em uma área periférica próxima da área urbana da Belém, foi considerada como uma estação rural, com o objetivo de se quantificar a intensidade da ilha de calor urbana na cidade de Belém, assim como, as variações térmicas ocorridas entre os diferentes bairros da área estudada.

Também foram utilizados dados horários de temperatura do ar e umidade relativa do ar, para um período de vinte anos (1975-1994), com a finalidade de se estudar o comportamento médio destes elementos meteorológicos nos últimos quatro quinquênios na cidade de Belém - Pa. Estes dados foram obtidos junto ao Serviço Regional de Proteção ao Vôo de Belém (SRPV - BE).

FIGURA 03 - Vista aérea da estação meteorológica de superfície do INMET.

3.6. INSTRUMENTOS UTILIZADOS

3.6.1. ABRIGOS METEOROLÓGICOS

Foram utilizados abrigos meteorológicos de madeira, medindo 0,60m de altura, 0,40m de largura e 0,50m de profundidade. Tais abrigos foram construídos com paredes e portas em veneziana, onde a circulação do vento era facilitada, sendo a sua base constituída por uma estrutura móvel, com fácil desmonte, e totalmente pintado com tinta branca, com a finalidade de aumentar a refletividade da radiação solar. Quando montado, sua altura média era de 1,50m acima da superfície do solo (FIGURA 04)



FIGURA 04 - Abrigo meteorológico utilizado nas três fases experimentais

3.6.2. PSICRÔMETROS

Na confecção dos psicrômetros foram utilizados termômetros da marca INCOTERM, com precisão de $0,2^{\circ}\text{C}$ (FIGURA 05). Tais instrumentos foram instalados no interior dos abrigos meteorológicos padronizados, para a obtenção de dados de temperatura do ar e de temperatura do bulbo úmido, com os quais foram calculados indiretamente os valores da umidade relativa, umidade específica e umidade absoluta do ar nos diversos ambientes estudados.



FIGURA 05 - Psicrômetro utilizado nas três fases experimentais.

3.7. METODOLOGIA DE COLETA DE DADOS

Inicialmente foi realizada uma cuidadosa calibração de todos os termômetros utilizados nas diferentes fases experimentais, utilizado-se para isto um termômetro padrão da marca Fuess, pertencente à estação meteorológica de superfície do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Pará. Após esta

calibragem, os psicômetros foram montados e instalados no interior dos abrigos meteorológicos padronizados, já previamente localizados nos pontos de coleta de dados. Após tal procedimento, as observações foram realizadas a intervalos horários consecutivos, durante as 24 horas diárias e prolongando-se por toda a realização da primeira e segunda fase experimental. Durante a terceira fase experimental, as observações foram realizadas a intervalos horários consecutivos, porém, estendendo-se apenas no intervalo das 07:00 às 22:00 horas.

Para o processo de coleta de dados meteorológicas, alunos do curso de meteorologia da UFPA foram treinados por um período de uma semana, com a finalidade de padronização das observações.

Em cada local de coleta de dados, para as medidas diurnas, as observações foram realizadas por grupos de dois observadores. Já no período noturno, por medida de segurança e confiabilidade dos dados, as observações foram realizadas por grupos de três observadores.

3.8. ELEMENTOS URBANOS

Quanto aos parâmetros referentes à tipologia de uso e ocupação do solo urbano, bem como, a ocorrência de áreas verdes urbanas, estes foram levantados em campo, considerando-se uma área média de 1 km² em volta de local de observação meteorológica. Estes dados constaram, basicamente, da porcentagens de cada elemento urbano potencialmente capaz de proporcionar alterações no comportamento das condições meteorológicas, tais como, calçamento, edificações e arborização. Estimativas realizadas por órgãos públicos municipais envolvidos com tais tipos de pesquisas, bem como, consultas bibliográficas em órgãos operacionais especializados também foram de fundamental importância.

3.9. ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.9.1. ELEMENTOS URBANOS

Na classificação tipológica dos diversos padrões de uso e ocupação do solo na área urbana do município de Belém, principalmente, nas áreas de influência dos locais de observações meteorológicas, foram considerados, principalmente, os levantamentos detalhados obtidos em campo, além da base cartográfica existente e disponível junto a órgãos municipais operacionais e bibliotecas especializadas na cidade de Belém (CODEM, IDESP e IBGE).

3.9.2. ELEMENTOS METEOROLÓGICOS

3.9.2.1. TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR

Inicialmente foi realizada uma análise descritiva do comportamento horário das temperaturas médias, máximas e mínimas do ar, assim como, da amplitude térmica, considerando-se todos os locais amostrados. Em seguida, com a finalidade de se obter a distribuição espacial desse elemento, foram traçadas isolinhas médias de três em três horas, considerando-se todos os locais amostrados durante as diferentes fases experimentais, além das estações meteorológicas do SRPV-BE e do INMET. No traçado dessas isolinhas levou-se em consideração, além do conhecimento do local, a experiência anterior em análises meteorológicas. Finalmente, procedeu-se uma análise comparativa entre o comportamento médio horário da temperatura do ar nos diferentes ambientes urbanos, com o ambiente rural considerado, com a finalidade de se quantificar as variações térmicas decorrentes do processo de urbanização na cidade de Belém.

Em relação a umidade relativa do ar, também foi realizada uma análise descritiva das condições médias horárias, considerando-se todos os locais amostrados. Em seguida, com a finalidade de se obter a distribuição espacial desse elemento, foram traçadas isolinhas médias de três em três horas, considerando-se todos os locais amostrados durante as diferentes fases experimentais, além das estações meteorológicas do SRPV e do INMET. Nesse traçado também foram considerados os parâmetros citados anteriormente. Finalmente, procedeu-se uma análise comparativa entre o comportamento médio horário da umidade relativa do ar nos diferentes ambientes urbanos com o ambiente rural considerado, com a finalidade de se quantificar as variações desse elemento em decorrência do processo de urbanização na cidade de Belém.

3.9.2.2. UMIDADE ESPECÍFICA E UMIDADE ABSOLUTA DO AR

Com a finalidade de se ter uma análise mais real da quantidade de vapor d'água presente na atmosfera nas proximidades dos diferentes ambientes urbanos amostrados, realizou-se o cálculo da umidade específica do ar, buscando a sua distribuição média horária.

Análise semelhante foi realizada levando-se em consideração a umidade absoluta do ar.

3.9.2.3. NEBULOSIDADE

No estudo da distribuição média da nebulosidade, esta foi agrupada em valores médios de três em três horas e tabulada para posterior análise quantitativa e qualitativa, nos diferentes ambientes estudados.

3.9.2.4. DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO

A direção do vento foi estimada levando-se em consideração a orientação dos abrigos meteorológicos, uma vez que esses foram orientados no sentido Norte - Sul.

Quanto à velocidade do vento, com exceção da primeira campanha experimental, onde foram utilizados anemômetros portáteis, esta foi estimada levando-se em consideração a escala de Beaufort, que infere valores à velocidade do vento em função da observação subjetiva da ocorrência de certos fenômenos observados na natureza, tais como, movimentos de galhos e flâmulas.

3.9.2.5. CONDIÇÕES SINÓTICAS

Na análise das condições sinóticas predominantes sobre aquela Região durante as diferentes fases experimentais, foram analisadas, quando disponíveis, fotografias do satélite meteorológico GOES, na banda do infravermelho, e nos horários sinóticos padrões.

3.9.2.6. INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS

Com a finalidade de se quantificar possíveis alterações meteorológicas decorrentes de atividades antrópicas, foram analisados o comportamento médio horário da temperatura e umidade relativa do ar nos diferentes locais amostrados durante os dias da semana, quando as atividades antrópicas são máximas, e comparados com o dia de domingo, quando tais atividades sofrem considerável diminuição.

3.9.2.7. VARIAÇÕES TERMO-HIGROMÉTRICAS NOS ÚLTIMOS 20 ANOS

O comportamento termo-higrométrico para a cidade de Belém, nos últimos 20 anos, foi determinado com os dados meteorológicos do período de 1975 a 1994, obtidos junto à estação meteorológica de superfície do Serviço Regional de Proteção ao Vão -SRPV - BE.

Valores médios horários foram calculados para quatro períodos de cinco anos de dados, e posteriormente esses períodos foram analisados, levando-se em consideração a série completa dos vinte anos, procurando detectar possíveis tendências de modificações em seus valores médios.

3.9.2.8. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DO AR E OS PRINCIPAIS ELEMENTOS URBANOS

Para se compreender a interação entre a temperatura do ar e os principais elementos urbanos na área de estudo, foi realizada uma análise de correlação entre as temperaturas médias, máximas e mínimas do ar e a porcentagem de calçamento, edificações e vegetação. Após testados vários tipos de correlação, dentre os quais, a linear, a exponencial, a logarítmica e a polinomial, os melhores resultados foram analisados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ELEMENTOS URBANOS

As principais características de uso e ocupação do solo na área urbana da cidade de Belém, nas proximidades dos locais de coleta de dados meteorológicos, são apresentados nas tabelas 01 e 02.

TABELA 01 - Distribuição dos principais elementos urbanos nas proximidades dos locais de observações meteorológicas.

Local	Altura (%)				Utilização (%)				Material (%)			Cobertura (%)		
	Te	2Pa	<5Pa	>5Pa	Re	Co	Mi	Ou	Alv	Mad	Ou	Ba	Br	Ou
01	46	37	16	1	69	29	0	2	58	42	0	50	50	0
02	35	59	3	3	82	7	3	8	96	4	0	68	32	0
03	61	36	2	1	88	4	3	5	63	37	0	56	44	0
04	31	37	12	20	40	23	24	13	100	0	0	65	35	0
05	35	38	17	10	0	95	5	0	100	0	0	60	30	10
06	20	40	22	18	38	45	3	14	100	0	0	70	25	5
07	55	37	3	5	54	23	18	5	98	2	0	95	5	0
08	28	55	7	10	60	30	10	0	97	3	0	45	55	0
09	36	31	18	15	70	18	11	1	100	0	0	79	12	9
10	32	64	2	2	71	12	3	14	94	5	1	63	36	1
11	82	17	1	0	83	2	15	0	64	36	0	47	53	0
12	90	8	2	0	75	5	2	18	35	65	0	54	46	0
13	82	10	8	0	76	17	4	3	92	8	0	79	21	0
14	62	32	5	1	34	22	27	17	80	14	6	57	34	9
15	50	48	2	0	64	32	0	4	63	37	0	46	54	0
16	56	39	5	0	47	44	8	1	95	5	0	99	1	0
17	75	25	0	0	43	15	25	17	89	11	0	32	58	10
18	89	10	1	0	46	22	32	0	95	5	0	60	28	12
19	48	52	0	0	81	1	7	11	30	70	0	15	85	0
20	42	48	2	8	62	23	7	8	99	1	0	38	62	0
21	51	46	2	1	80	7	7	6	99	1	0	5	95	0
Srpv	98	2	0	0	80	0	0	20	100	0	0	85	10	5
Inmet	100	0	0	0	95	0	0	5	100	0	0	90	0	10

Te = Casas térreas / 2Pa = Edificações menores que dois pavimentos / <5Pa = Edificações menores que 5 pavimentos / >5 Pa = Edificações maiores que 5 pavimentos / Re = Residencial / Co = Comercial / Mi = mista / Ou = Outras Alv = Alvenaria / Mad = Madeira / Ba = Barro / Br = Brasilite

TABELA 02 - Distribuição de calçamento, edificações e vegetação nas proximidades dos locais de observações meteorológicas.

Pontos	Calçamento			Edificações (%)	Vegetação (%)
	Asfalto (%)	Cimento (%)	Outros (%)		
01	14,0	11,0	2,5	71,0	1,5
02	14,5	8,0	0,0	77,0	0,5
03	16,0	7,0	0,5	73,0	3,5
04	8,0	1,5	0,0	70,0	20,5
05	12,0	12,0	1,0	75,0	0,0
06	12,0	6,0	0,0	81,5	0,5
07	15,0	8,0	4,0	70,0	3,0
08	9,0	2,0	1,0	73,5	14,5
09	11,0	4,0	0,0	70,0	15,0
10	15,0	11,0	0,0	71,0	3,0
11	9,0	1,0	9,5	78,0	2,5
12	1,5	0,0	3,5	60,0	35,0
13	10,0	1,5	0,0	85,0	3,5
14	8,0	3,0	7,0	81,0	1,0
15	2,5	1,5	5,0	87,5	3,5
16	4,0	2,5	2,0	91,0	0,5
17	12,0	5,0	2,0	78,0	3,0
18	2,0	0,5	3,5	64,0	30,0
19	23,0	2,0	1,0	64,0	0,0
20	12,5	4,0	0,0	77,5	12,0
21	19,0	4,0	0,0	73,5	3,5
SRPV	25,0	15,0	0,0	20,0	40,0
INMET	0,5	0,0	0,0	0,5	99,0

Conforme apresentado acima, nota-se que os bairros de Batista Campos (04), Campina (05), Reduto (07), Umarizal (08) e Nazaré (09) são os que apresentam a maior porcentagem de verticalização, sendo as construções em alvenaria com cobertura de telhas de barro. Quanto ao uso, esse é variável, estando concentrado no bairro da Campina quase que a totalidade dos estabelecimentos comerciais e bancários (FIGURAS 06 a 15). Nesses bairros o trânsito é intenso durante a maior parte do dia. Os bairros de Batista Campos e Nazaré apresentam grande porcentagem de arborização urbana, sendo esta representada, na maioria dos casos, por exuberantes e frondosas mangueiras. São bairros considerados centrais e nobres, onde a população, geralmente, possui alto poder aquisitivo.

Os bairros do Guamá (11), Condor (01), Jurunas (19), Telégrafo (15) e Sacramento (16), são bairros que margeiam, ora o Rio Guamá, ora a Baía do Guajará. Uma de suas principais características é a predominância, quase que absoluta, de edificações baixas e de materiais mistos, com utilização residencial predominante, além de uma grande carência de arborização (FIGURAS 16 a 25). São bairros muito populosos, onde a população residente apresenta, na grande maioria, um poder aquisitivo relativamente baixo. Em muitos desses bairros, o problema habitacional é grave, sendo observadas inúmeras invasões de terras, onde as condições sanitárias são precárias, quando existem.



FIGURA 06 - Vista aérea do bairro de Batista Campos.



FIGURA 07 - Local de observação meteorológica na Praça Batista Campos, no bairro de Batista Campos (Local 04).



FIGURA 08 - Vista aérea do bairro da Campina.



FIGURA 09 - Local de observação meteorológica na Travessa Padre Eutíquio com Rua Conselheiro João Alfredo, no bairro da Campina (Local 05).



FIGURA 10 - Vista aérea do Bairro do Reduto.



FIGURA 11 - Local de observação meteorológica na Avenida Doca de Souza Franco com Rua 28 de Setembro, no bairro do Reduto (Local 07).



FIGURA 12 - Vista aérea do bairro do Umarizal.



FIGURA 13 - Local de observação meteorológica na Praça Brasil, no bairro do Umarizal (Local 08).



FIGURA 14 - Vista aérea do bairro de Nazaré.

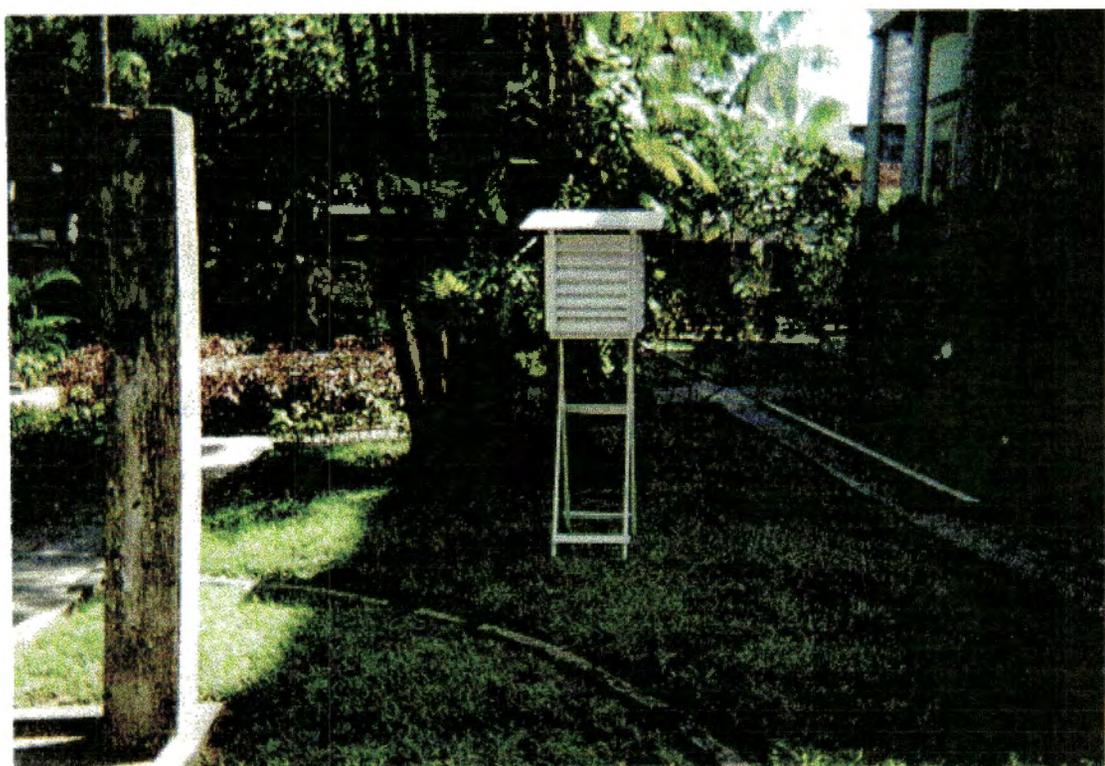


FIGURA 15 - Local de observação meteorológica na Avenida Generalíssimo Deodoro com Avenida Governador José Malcher, no bairro de Nazaré (Local 09).



FIGURA 16 - Vista aérea do bairro do Guamá.



FIGURA 17 - Local de observação meteorológica na Rua dos Mundurucus com Rua Guerra Passos (Local 11).



FIGURA 18 - Vista aérea do bairro da Condor.



FIGURA 19 - Local de observação meteorológica na Avenida Alcindo Cacela com Travessa Padre Eutíquio, no bairro da Condor (Local 01).



FIGURA 20 - Vista aérea do bairro do Jurunas.

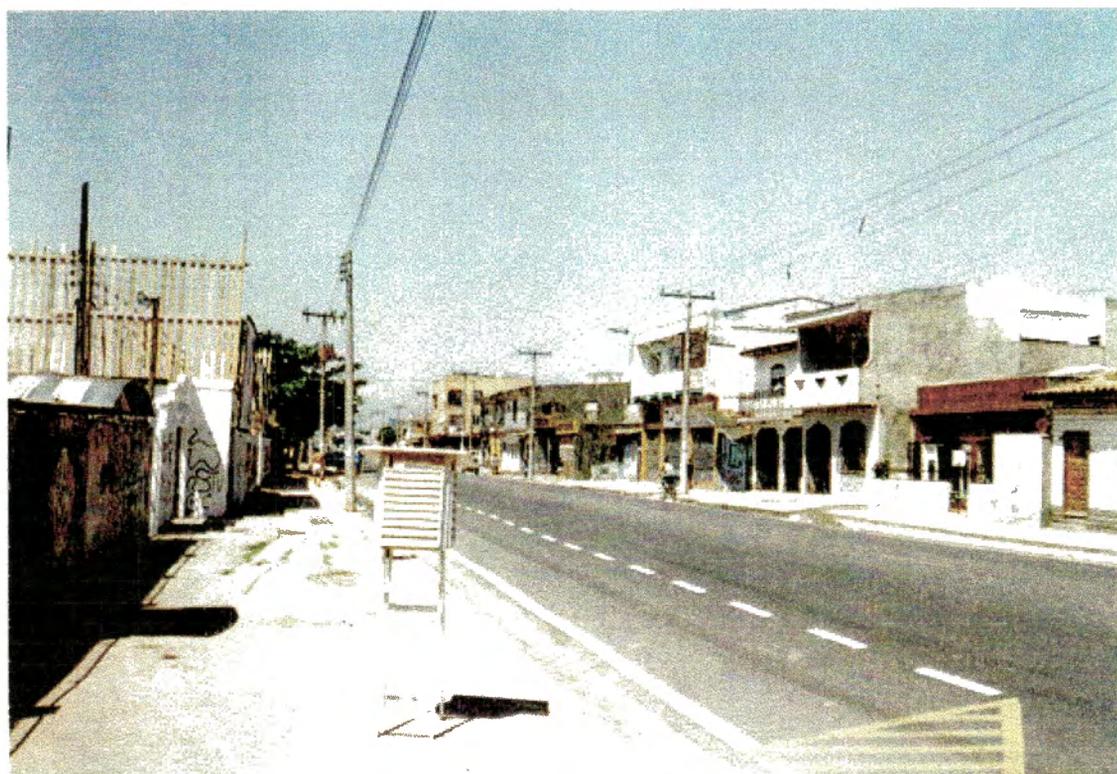


FIGURA 21 - Local de observação meteorológica na Avenida Governador Fernando Guilhon com Rua Honório José dos Santos, no bairro do Jurunas (Local 19).



FIGURA 22 - Vista aérea do bairro do Telégrafo.



FIGURA 23 - Local de observação meteorológica na Avenida Senador Lemos com Passagem das Flores, no bairro do Telégrafo (Local 15).



FIGURA 24 - Vista aérea do bairro da Sacramento.



FIGURA 25 - Local de observação meteorológica na Avenida Senador Lemos com Avenida Doutor Freitas, no bairro da Sacramento (Local 16).

Os Bairros da Cremação (02), São Brás (10), Marco (13), Pedreira (14) e Souza (17) são bairros também considerados centrais, predominantemente residenciais, porém com pequena ou quase nenhuma verticalização (FIGURAS 26 a 35). Neles a vegetação também é extremamente deficiente, embora em alguns casos surjam áreas verdes isoladas, como é o caso do Bosque Rodrigues Alves, no bairro do Marco.

Os bairros da Marambaia (18) e Terra Firme (12), são bairros considerados periféricos onde predomina a utilização residencial e construções de materiais variados. São bairros muito populosos onde a verticalização é mínima, assim como, a vegetação, embora ainda apresente grandes “manchas verdes” em suas proximidades (FIGURAS 36 a 39).

Os bairros de Val-de-cães e Curió-Utinga localizam-se em áreas que apresentarem grande porcentagem de arborização, onde encontram-se o Aeroporto Internacional de Belém e o Instituto Nacional de Meteorologia. Neles estão localizadas as estações meteorológicas de superfície do Serviço Regional de Proteção ao Vôo de Belém (SRPV), do Ministério da Aeronáutica, e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Ministério da Agricultura.



FIGURA 26 - Vista aérea do bairro da Cremação.



FIGURA 27 - Local de observação meteorológica na Avenida Conselheiro Furtado com Avenida Alcindo Cacela, no bairro da Cremação (Local 02).



FIGURA 28 - Vista aérea do bairro de São Brás.



FIGURA 29 - Local de observação meteorológica na Avenida Almirante Barroso com Avenida José Bonifácio, no bairro de São Brás (Local 10).



FIGURA 30 - Vista aérea do bairro do Marco.



FIGURA 31 - Local de observação meteorológica na Avenida Almirante Barroso com Travessa Humaitá, no bairro do Marco (Local 21).



FIGURA 32 - Vista aérea do bairro da Pedreira.



FIGURA 33 - Local de observação meteorológica na Avenida Pedro Miranda com Travessa Mauriti, no bairro da Pedreira (Local 14).



FIGURA 34 - Vista aérea do bairro do Souza.



FIGURA 35 - Local de observação meteorológica na Avenida Pedro Álvares Cabral com Avenida Tavares Bastos, no bairro do Souza (Local 17).



FIGURA 36 - Vista aérea do bairro da Marambaia.



FIGURA 37 - Local de observação meteorológica na Avenida Tavares Bastos com Rua da Marinha, no bairro da Marambaia (Local 18).



FIGURA 38 - Vista aérea do bairro da Terra Firme.

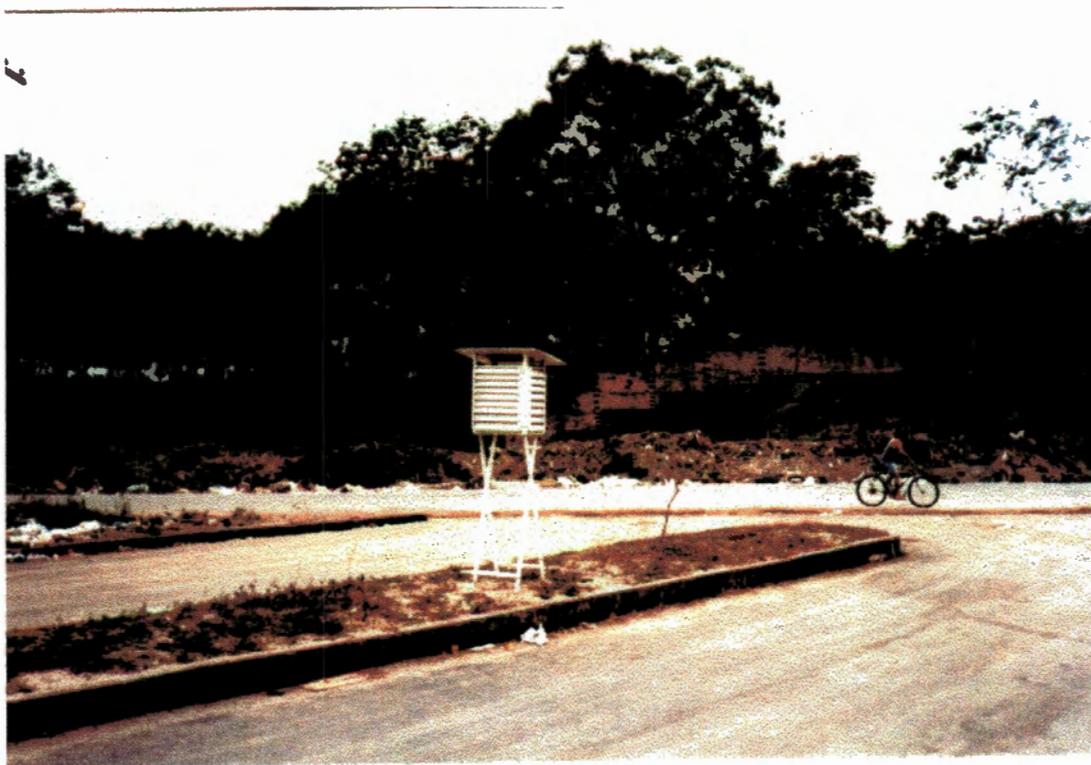


FIGURA 39 - Local de observação meteorológica na Avenida Perimetral com Travessa Barão do Triunfo, no bairro da Terra Firme (Local 12).

4.2. ELEMENTOS METEOROLÓGICOS

4.2.1. PRIMEIRA FASE EXPERIMENTAL

4.2.1.1. TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA MÉDIA HORÁRIA DO AR

Por ocasião da realização da primeira fase experimental, realizada no período de 23 a 29 de outubro de 1995, no período chuvoso da Região, foram realizadas observações meteorológicas em 18 ambientes distintos, tendo a temperatura média horária do ar apresentado, em todos os locais, o comportamento padrão para a Região Equatorial, isto é, sofreu um aumento gradativo desde as primeiras horas da manhã até atingir um máximo, que oscilou entre 13:00 e 15:00 horas, dependendo das condições meteorológicas predominantes. A partir desse momento teve início um declínio gradativo, culminando com valores mínimos por volta das 06:00 horas, basicamente em todos os pontos (FIGURAS 40 a 57).

Em relação a umidade relativa do ar, esta apresentou um padrão bem característico, atingindo os menores valores por volta das 13:00 às 15:00 horas, onde a partir daí sofre um aumento gradativo, atingindo os valores mais elevados por volta das 06:00 horas da manhã. Devido às características de grande disponibilidade energética e de umidade atmosférica, os valores médios diários de umidade relativa do ar são bastante elevados na área urbana de Belém, oscilando entre um mínimo de 71% no bairro do Reduto até um máximo de 82% no bairro da Marambaia. Apesar desta

característica geral, durante esta fase da pesquisa foram observadas grandes amplitudes no comportamento médio horário da umidade relativa do ar, sendo alcançado em alguns locais o valor absoluto de 47%, durante as horas mais quentes do dia e em bairros desprovidos de arborização e com intensa atividade urbana (Figuras 40 a 57).

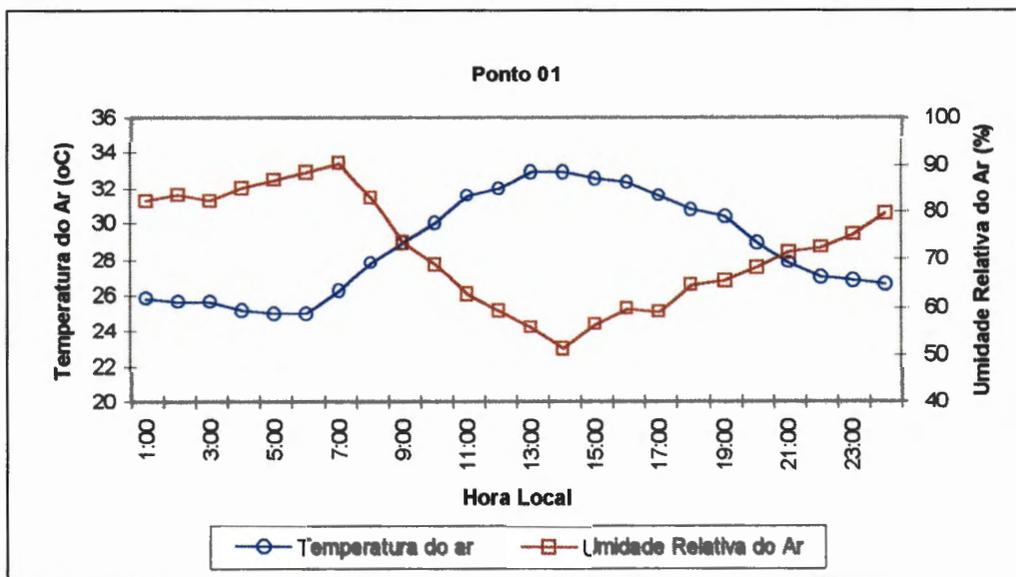


FIGURA 40 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Condor).

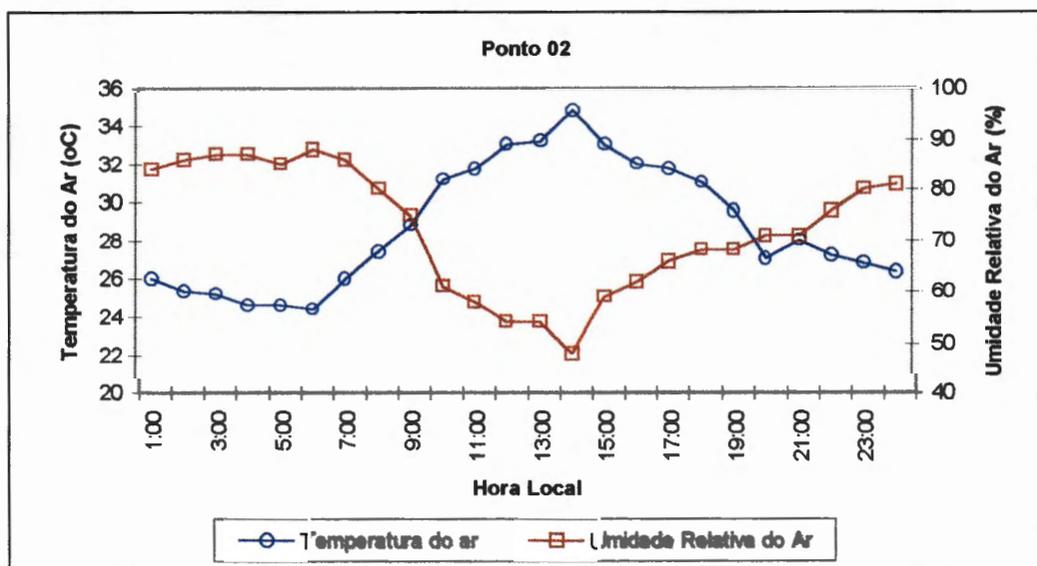


FIGURA 41 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Cremação)

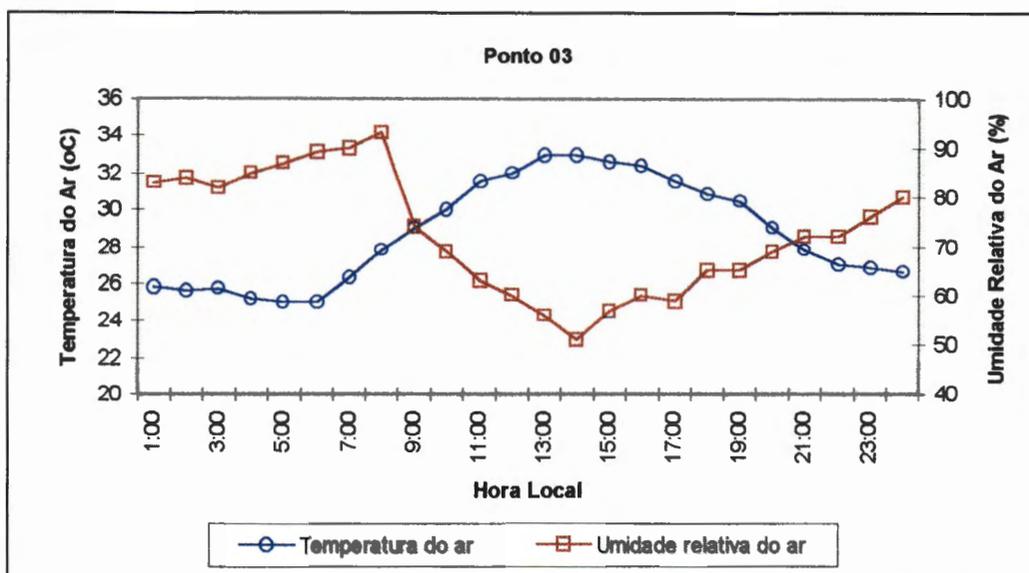


FIGURA 42 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Jurunas).

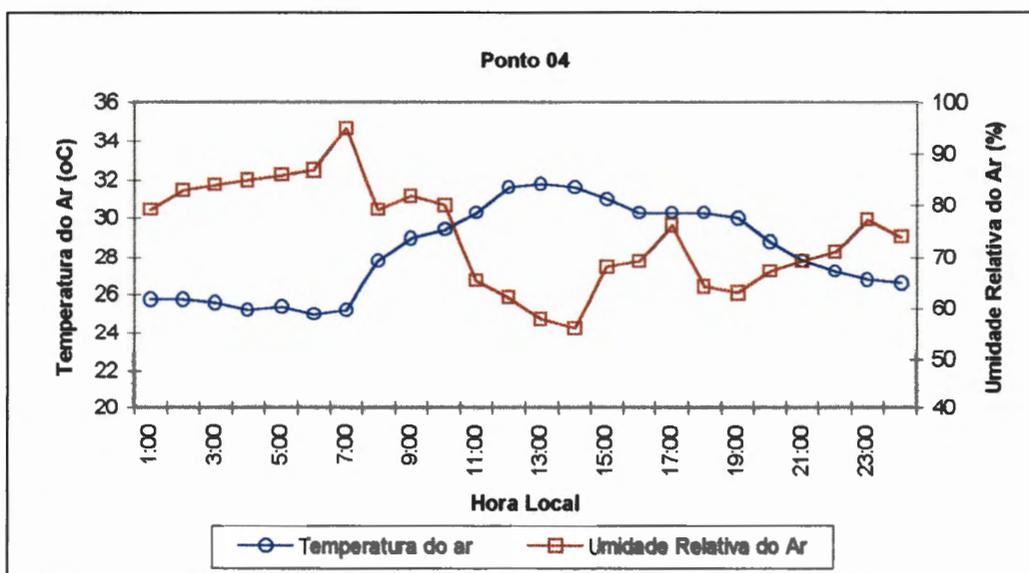


FIGURA 43 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro de Batista Campos)

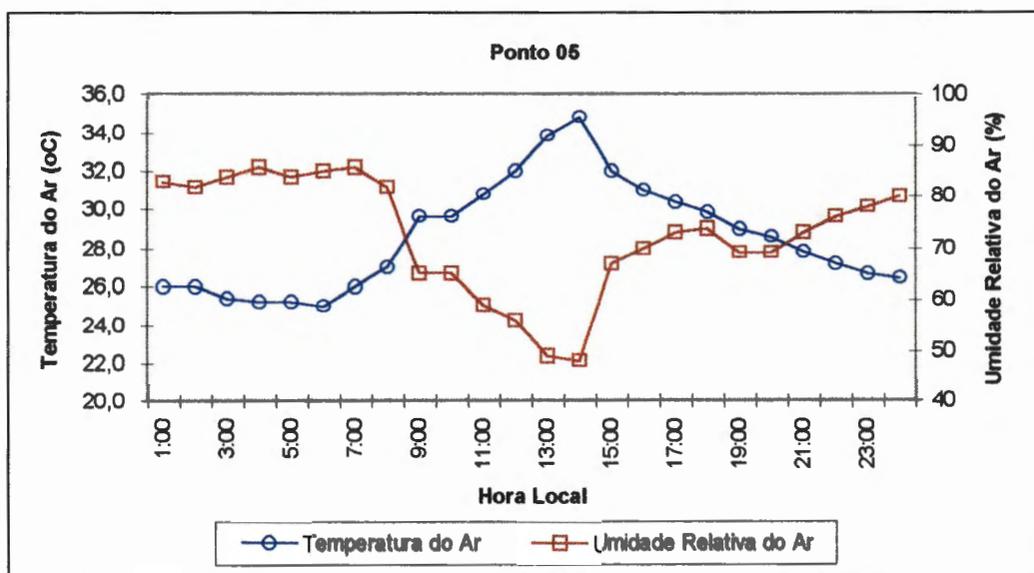


FIGURA 44 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Campina).

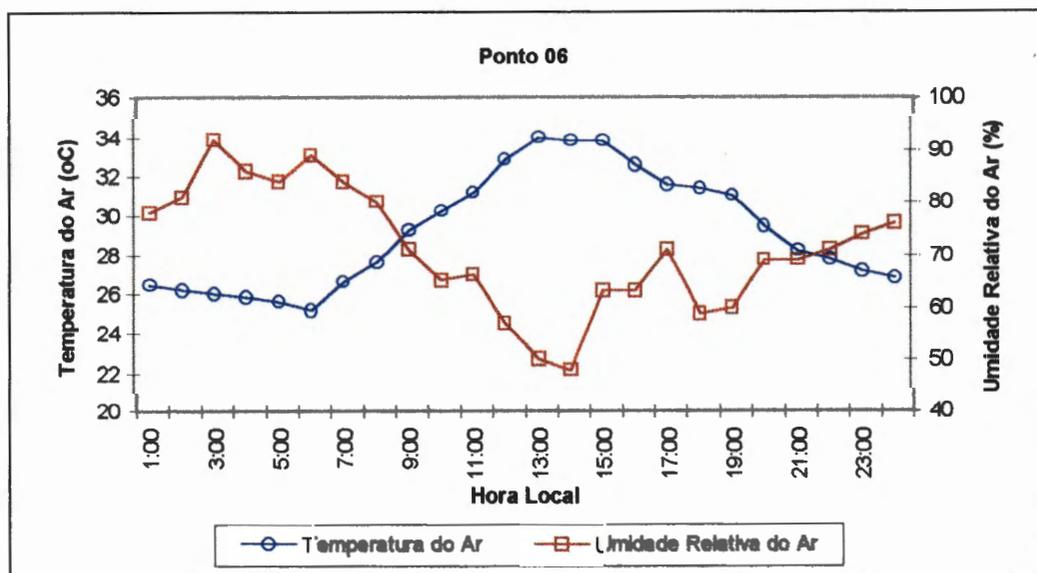


FIGURA 45 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Reduto).

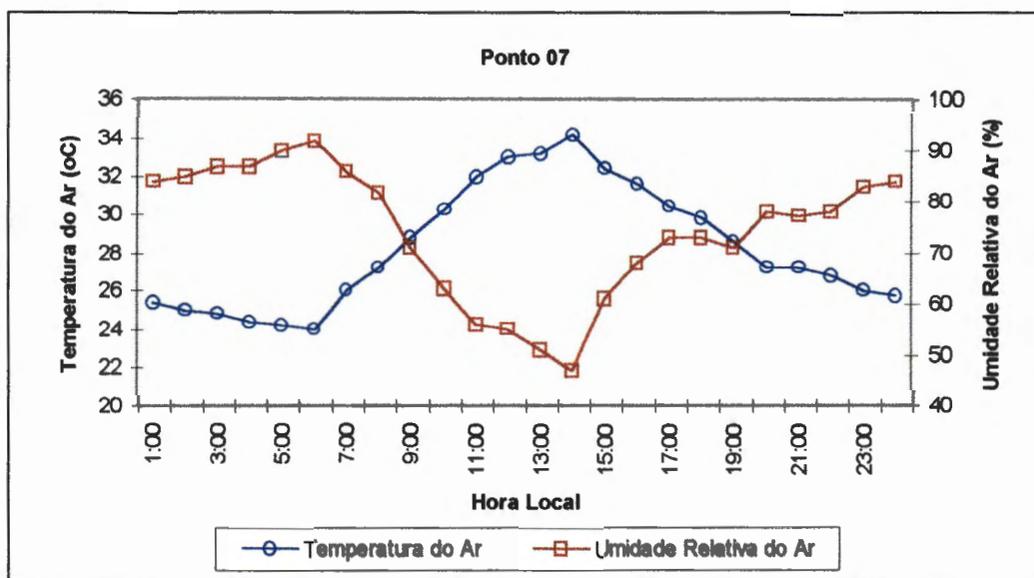


FIGURA 46 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Reduto).

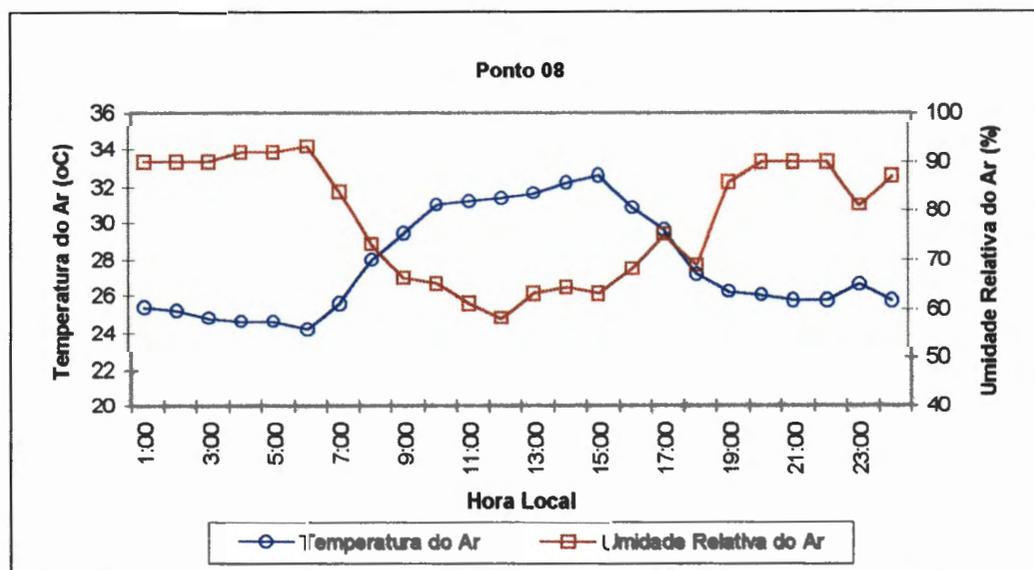


FIGURA 47 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Umarizal).

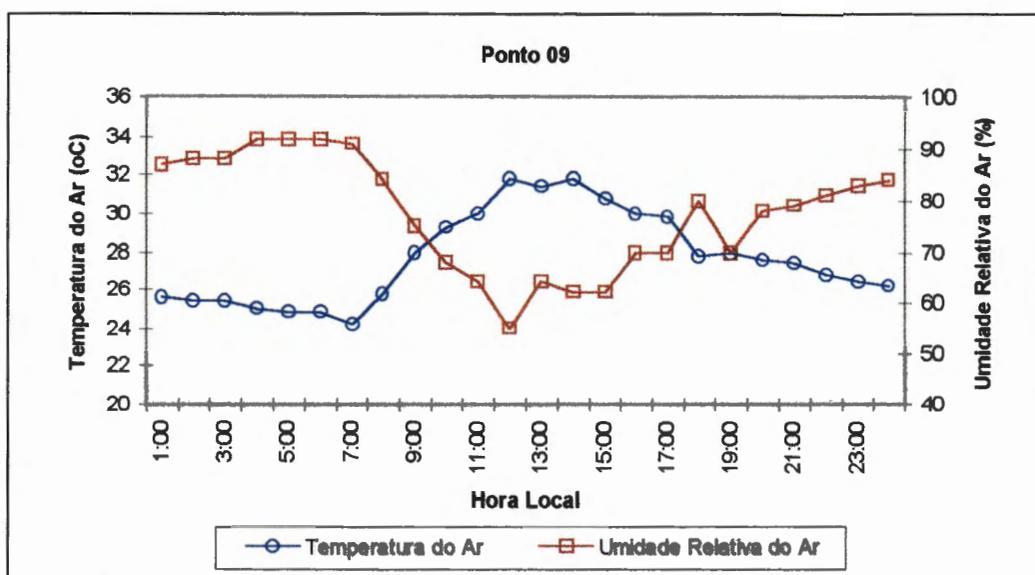


FIGURA 48- Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro de Nazaré).

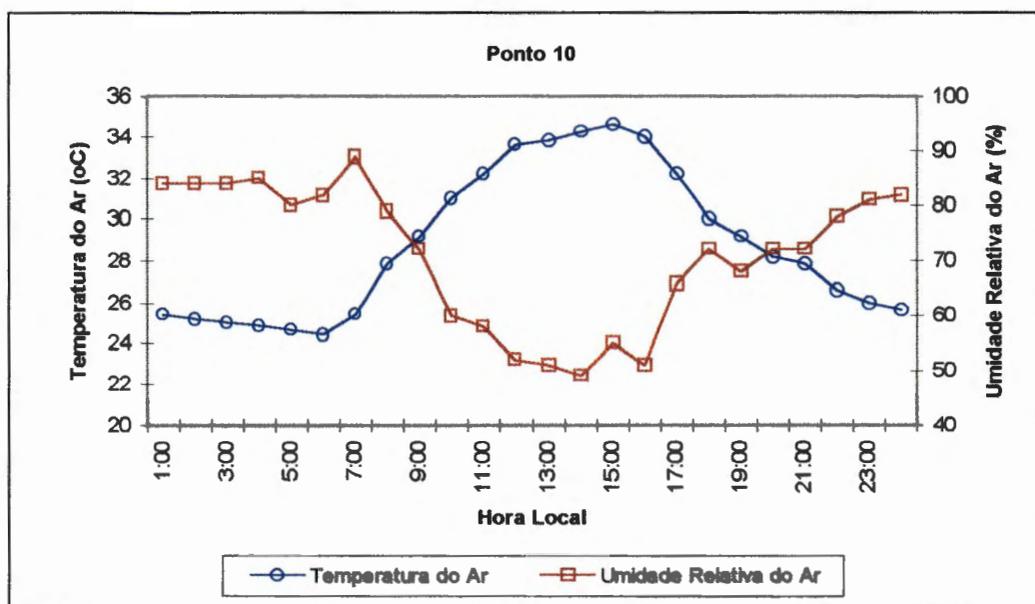


FIGURA 49 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro de São Brás).

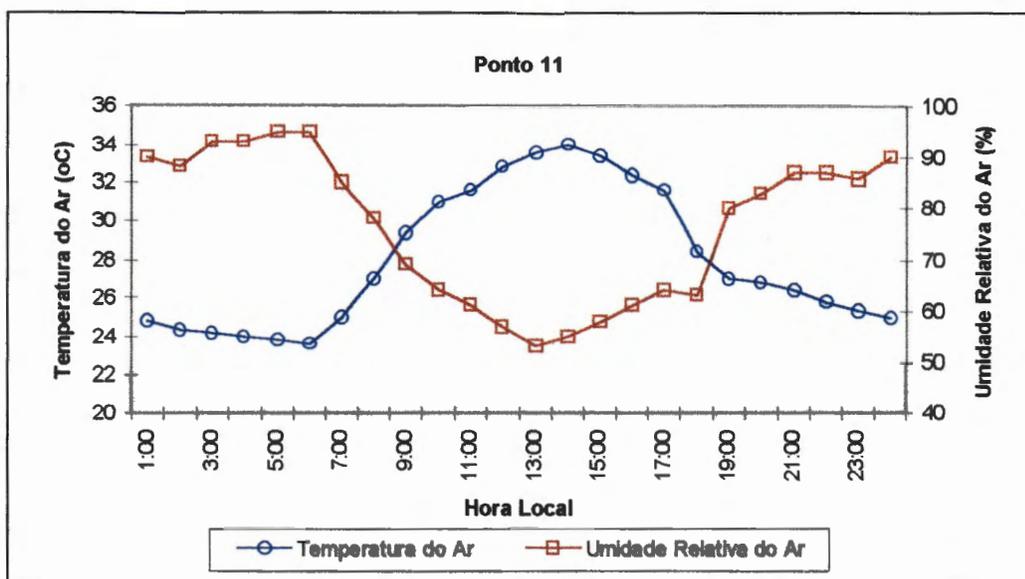


FIGURA 50 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Guamá).

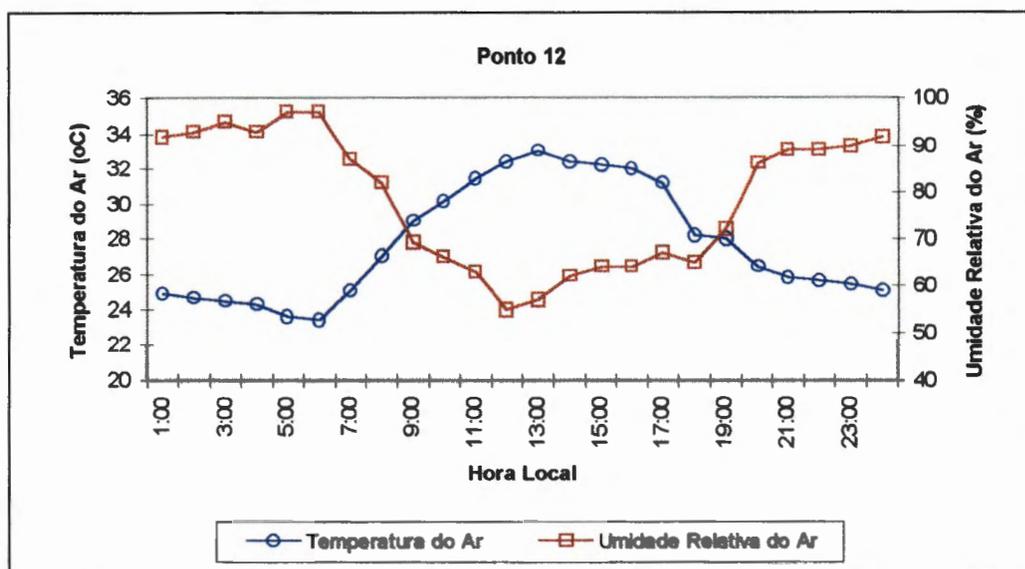


FIGURA 51 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Terra Firme).

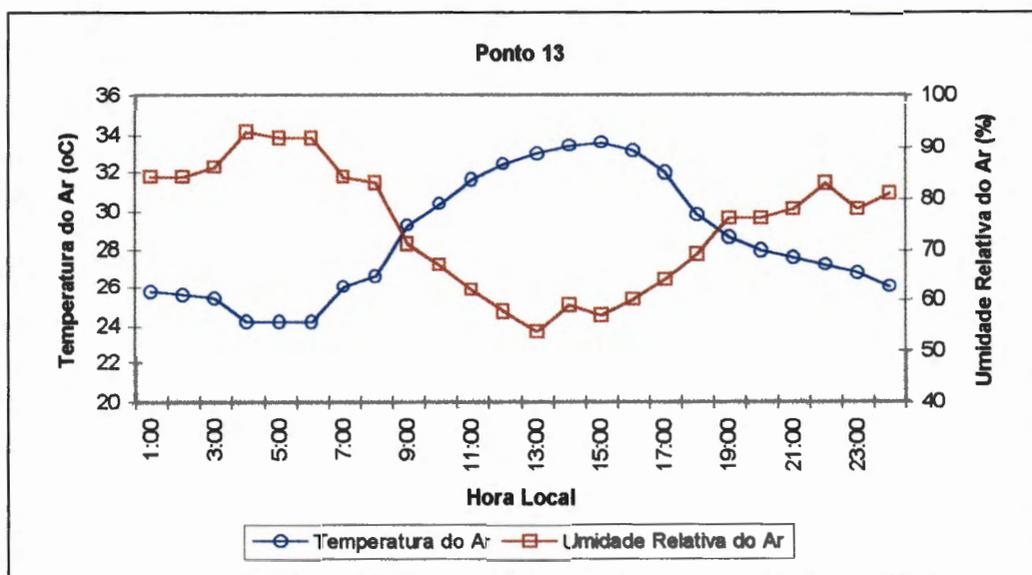


FIGURA 52 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Marco).

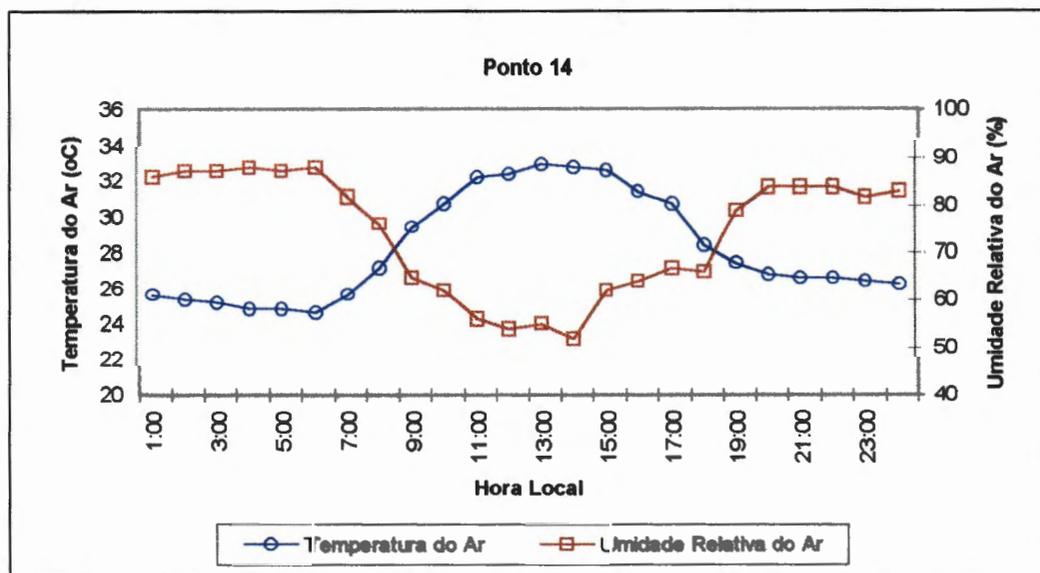


FIGURA 53 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Pedreira).

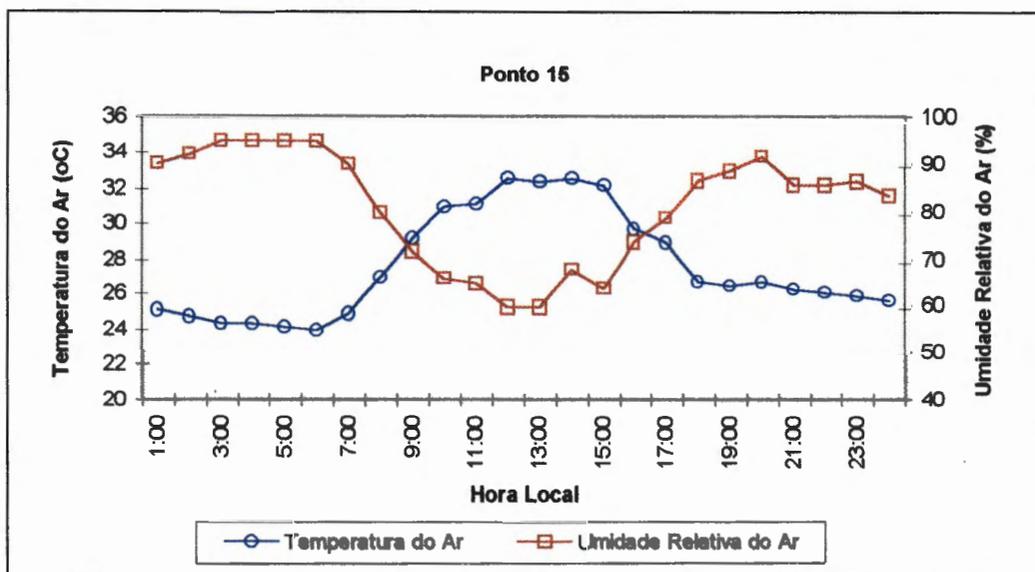


FIGURA 54 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Telégrafo).

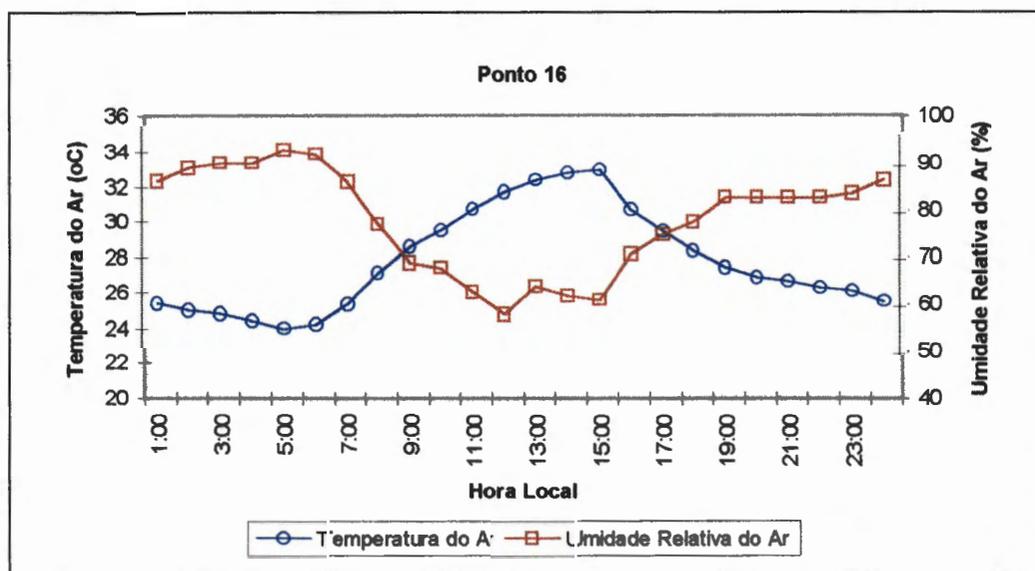


FIGURA 55 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Sacramento).

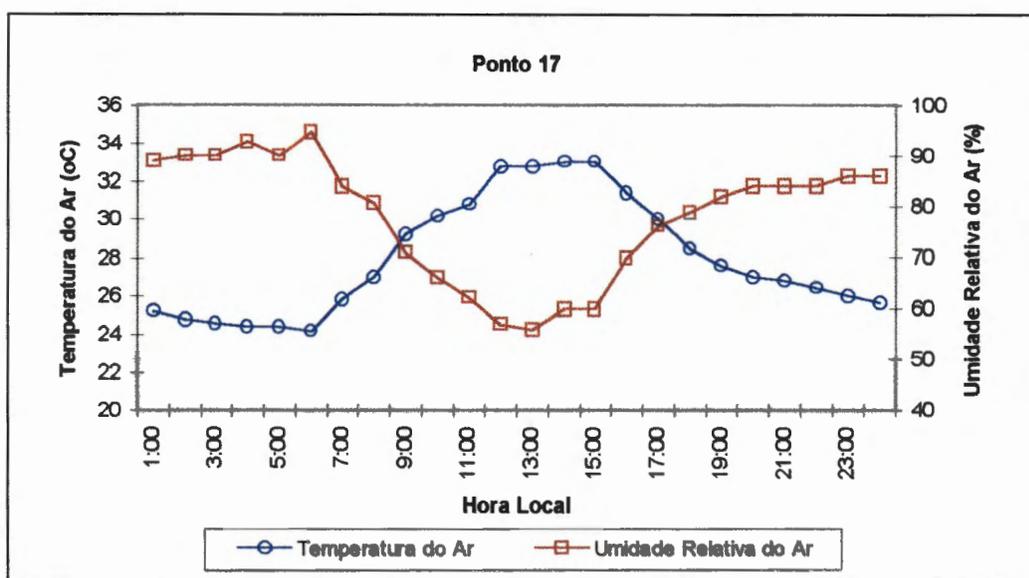


FIGURA 56 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Marco).

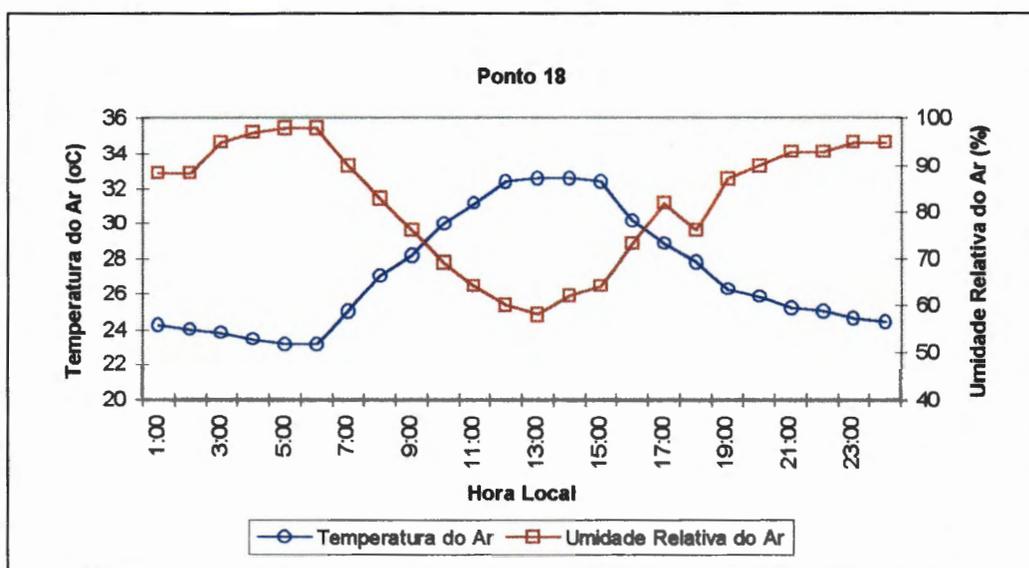


FIGURA 57 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Marambaia).

4.2.1.2. TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DO AR

Em relação às temperaturas médias diárias, estes não apresentaram grandes variações, apesar das grandes diferenças encontradas na tipologia de uso e ocupação do ambiente urbano. Entretanto, como já era esperado, os maiores valores foram observados nos locais com características de cobertura vegetal deficiente e elevada porcentagem de calçamento e edificações, além de intensa atividade antrópica, enquanto que os mínimos ocorreram nos locais próximos de área com grande porcentagem de arborização e com pequena atividade antrópica (FIGURA 58).

4.2.1.3. TEMPERATURA MÁXIMA DIÁRIA DO AR

Ao contrário do que foi observado em relação às temperaturas médias do ar, as temperaturas máximas encontradas nos diversos ambientes urbanos foram consideravelmente distintas, variando desde um máximo de 34,8°C, verificados nos bairros do Campina, Cremação e Guamá, bairros estes caracterizados por apresentarem mínima porcentagem de arborização urbana e grande atividade antrópicas, até um mínimo de 31,8°C nos bairros de Batista Campos e Nazaré, onde a grande porcentagem de arborização urbana associada com a considerável verticalização, proporcionam temperaturas máximas mais amenas, apesar da grande atividade antrópica (FIGURA 59).

4.2.1.4. TEMPERATURA MÍNIMA DIÁRIA DO AR

Em relação às temperaturas mínimas, essas variaram de um máximo de 25,2°C, verificadas nos bairros do Jurunas e Reduto, bairros tipicamente horizontais e com mínima porcentagem de arborização urbana, até um valor mínimo de 23,2°C no bairro da Marambaia, onde a pequena porcentagem de edificações associada com a elevada porcentagem de vegetação contribui para este maior resfriamento (FIGURA 60).

4.2.1.5. AMPLITUDE TÉRMICA

As amplitudes térmicas durante esta fase da pesquisa sofreram grandes variações, tendo o valor máximo de 11,2°C, ocorrido no bairro do Guamá, onde a ausência quase que total de vegetação associado com a característica de construções predominantemente horizontais facilitaram o aquecimento durante as horas diurnas, ao passo que durante as horas noturnas esta energia é facilmente liberada para o espaço, acarretando, deste modo, um grande resfriamento. Quanto à amplitude térmica mínima, esta foi de 6,8°C, verificada no bairro de Batista Campos, onde a grande porcentagem de edificações elevadas contribuem para a absorção de grande

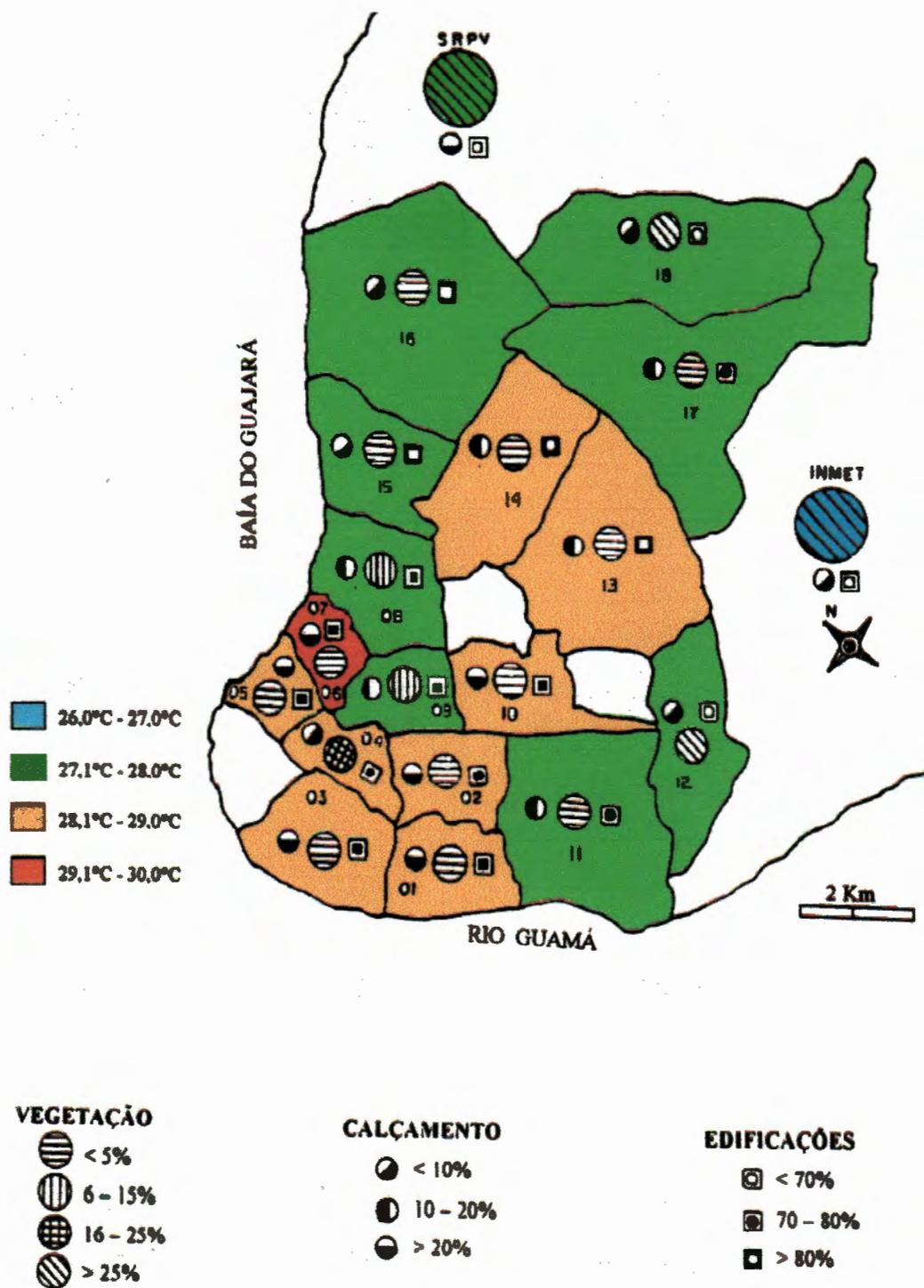


FIGURA 58 - Distribuição da temperatura média diária do ar - Fase I

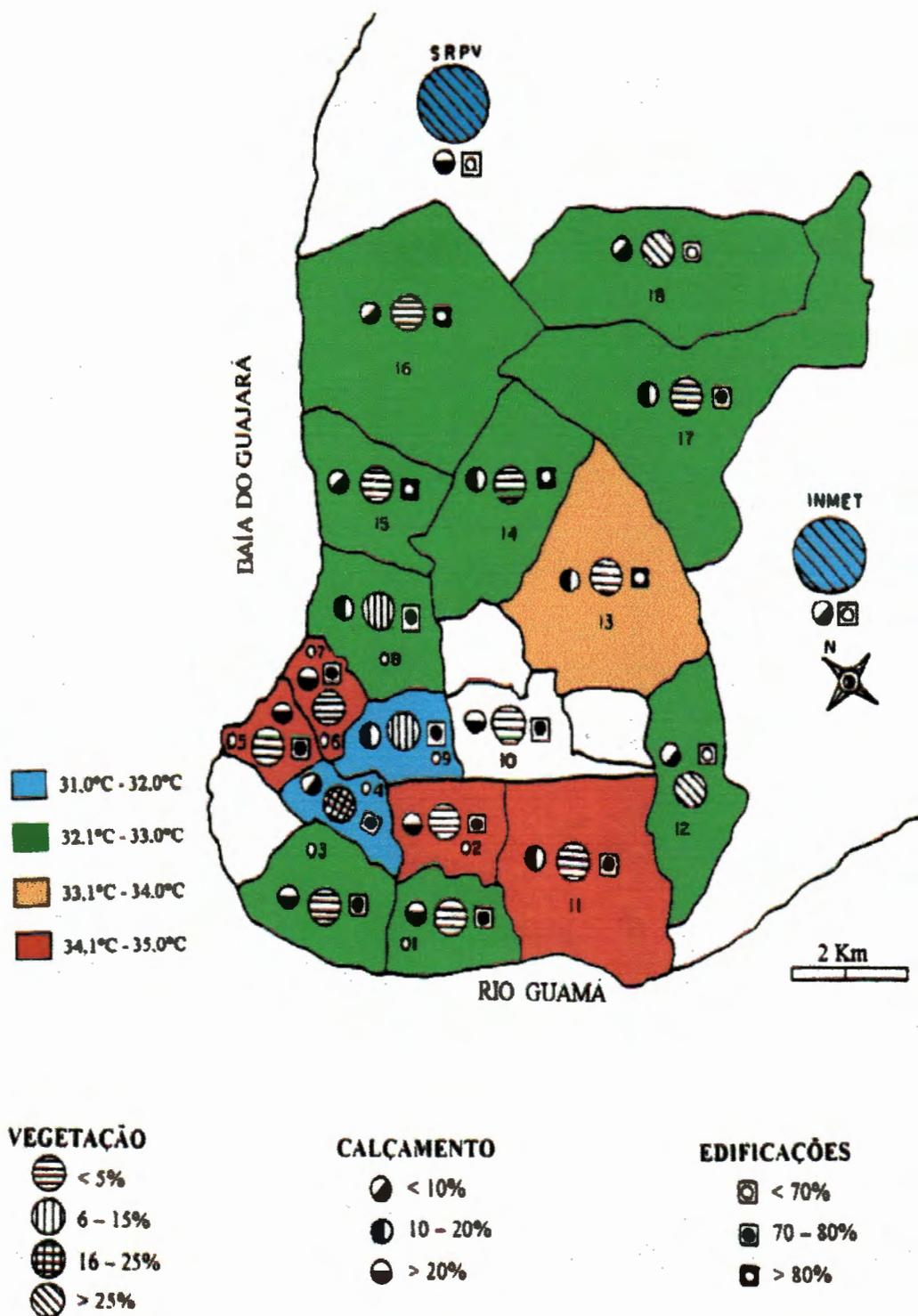


FIGURA 59 - Distribuição da temperatura máxima diária do ar - Fase I

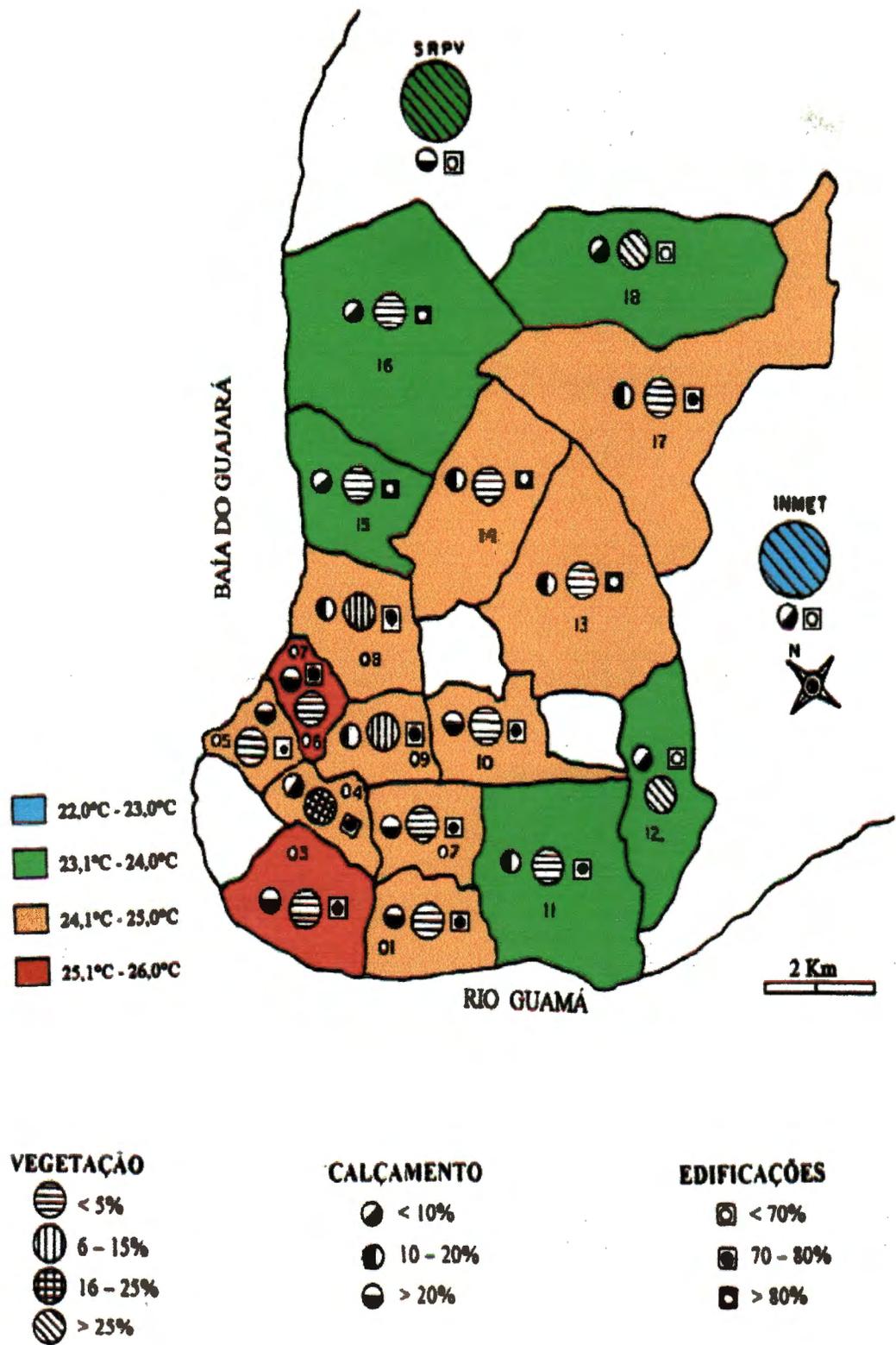


FIGURA 60 - Distribuição da temperatura mínima diária do ar - Fase I

quantidade de energia durante o dia, liberando-a lentamente durante as horas noturnas, proporcionando deste modo, um menor resfriamento. Associado a este fato, a grande porcentagem de arborização também tende a minimizar a ocorrência de temperaturas máximas, o que contribui para a ocorrência de menores amplitudes térmicas neste bairro.

Os valores diários das temperaturas médias, máximas e mínimas, assim como, do desvio padrão, coeficiente de variação e amplitudes térmicas dos diferentes ambientes estudados são apresentados na TABELA 03.

TABELA 03 - Valores médios diários da temperatura do ar - Fase I.

Ponto	Temperatura média do ar (°C)	Desvio Padrão (%)	Coefficiente de Variação (%)	Temperatura máxima do ar (°C)	Temperatura mínima do ar (°C)	Amplitude Térmica (°C)
01	28.7	2.9	10.1	33.0	25.0	8.0
02	28.8	3.2	11.1	34.8	24.4	10.4
03	28.7	2.4	8.4	32.8	25.2	7.6
04	28.3	2.3	8.1	31.8	25.0	6.8
05	28.6	2.8	9.8	34.8	25.0	9.8
06	29.2	2.9	9.9	34.0	25.2	8.8
07	28.3	3.2	11.3	34.2	24.0	10.2
08	27.7	2.9	10.5	32.6	24.2	8.4
09	27.7	2.4	8.7	31.8	24.2	7.6
10	28.7	3.6	12.5	34.6	24.4	10.2
11	28.0	3.6	12.9	34.8	23.6	11.2
12	27.7	3.1	11.2	33.0	23.4	9.6
13	28.5	3.2	11.2	33.6	24.2	9.4
14	28.2	3.0	10.6	33.0	24.6	8.4
15	27.7	3.0	10.8	32.6	24.0	8.6
16	27.8	2.9	10.4	33.0	24.0	9.0
17	28.0	3.1	11.1	33.0	24.2	8.8
18	27.1	3.4	12.5	32.6	23.2	9.4
SRPV	27.1	2.6	9.6	31.6	23.7	7.9
INMET	26.6	3.1	11.7	31.7	22.7	9.0

4.2.1.6. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA DO AR

01:00 às 03:00 horas

Neste horário as temperaturas apresentaram-se relativamente baixas, variando entre 24,0°C e 26,0°C, com os menores valores sendo verificados nos bairros mais periféricos da cidade, onde a pequena verticalização associada com a proximidade de grandes massas verdes proporcionam um maior resfriamento noturno. É bem caracterizada nesse horário a presença de dois núcleos de temperaturas mais baixas ocorrendo nos bairros mais periféricos, enquanto que a região central, mais urbanizada, observa-se um grande núcleo de temperaturas mais elevadas (FIGURA 61).

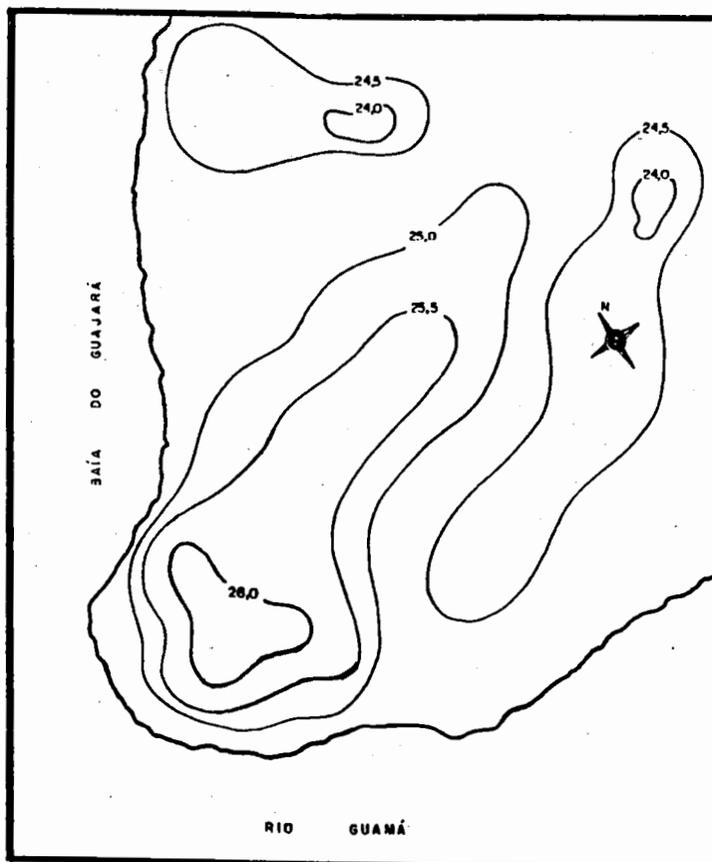


FIGURA 61 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 01:00 às 03:00 horas, durante a primeira fase experimental.

04:00 às 06:00 horas

Nesse horário foram verificadas as menores temperaturas do dia, sendo as mínimas de 23,0°C encontradas nos bairros periféricos, enquanto que as máximas de 25,5°C ocorreram nos bairros centrais com grande deficiência de arborização. Apesar deste relativo resfriamento, os bairros mais verticalizados ainda apresentam temperaturas mínimas superiores aos demais bairros. A configuração da distribuição das temperaturas ainda permanece relativamente semelhante à do horário anterior (FIGURA 62).

07:00 às 09:00 horas

Nesse horário, com o nascer do sol, começa a ocorrer o primeiro aquecimento nos diferentes bairros, sendo que nos bairros mais urbanizados, certamente devido a intensificação das atividades urbanas, o aquecimento é mais pronunciado. Nesse horário as temperaturas oscilam entre um mínimo de 25,0°C, verificadas nos bairros mais periféricos, a um máximo de 28°C na parte central da cidade. A distribuição espacial da temperatura do ar começa a sofrer modificações, sendo bem caracterizado a presença de um núcleo de baixas temperaturas localizado em local de grande arborização e verticalização (FIGURA 63).

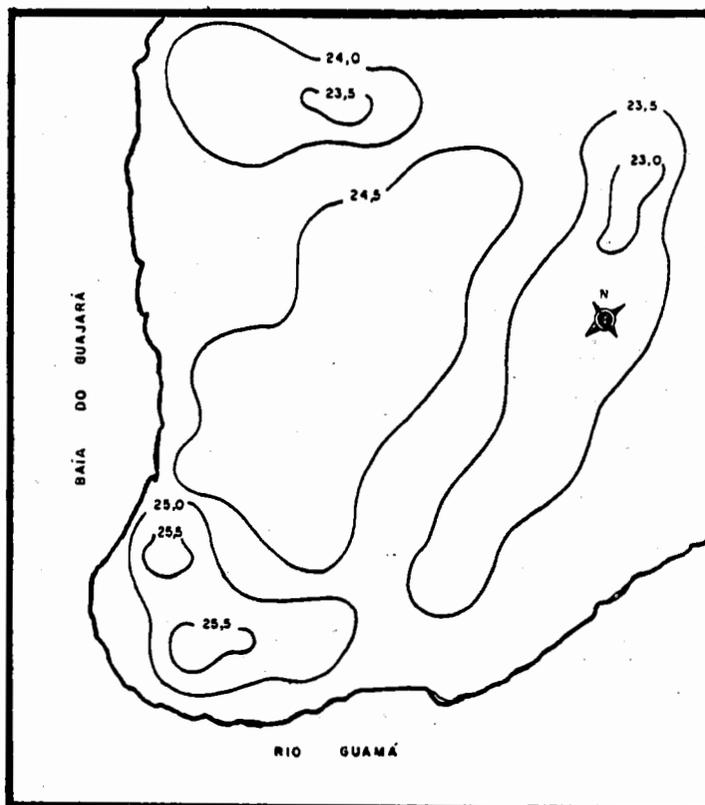


FIGURA 62 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 04:00 às 06:00 horas, durante a primeira fase experimental.

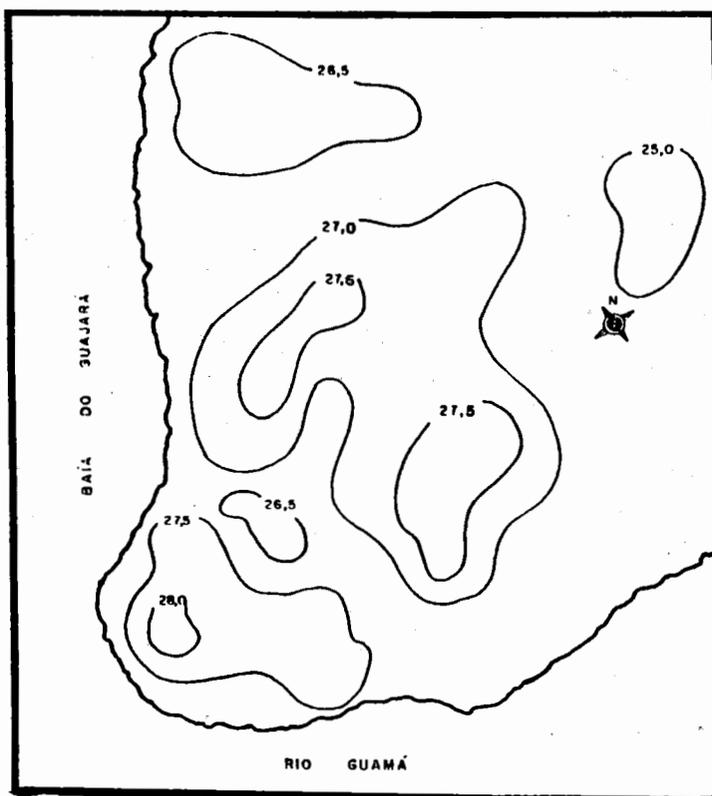


FIGURA 63 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 07:00 às 09:00 horas, durante a primeira fase experimental.

10:00 às 12:00 horas

Nesse horário já verifica-se grande aquecimento em todos os bairros, sendo as diferenças térmicas relativamente pequenas. Os valores mínimos foram de 30,0°C enquanto que os máximos de 32,0°C, agora ocorrendo na região central da cidade. Nesse horário é marcante a influência da vegetação no sentido de amenizar o aquecimento local, proporcionando a formação de alguns núcleos de baixas temperaturas (FIGURA 64).

13:00 às 15:00 horas

Nesse horário ocorrem os maiores aquecimentos em todos os bairros, embora àqueles verticalizados e com grande porcentagem de vegetação apresentem menores aquecimentos. As temperaturas mínimas foram de 31,0°C enquanto que as máximas alcançaram 34,0°C, e ocorreram em locais com pequena porcentagem de arborização e com edificações predominantemente baixas. A distribuição espacial é bastante caótica, embora seja marcante a importância da estrutura urbana (FIGURA 65).

16:00 às 18:00 horas

Com o declínio do sol, começa a haver o resfriamento gradativo em todos os bairros, sendo que nos bairros centrais, onde predomina grande porcentagem de edificações e outros materiais absorventes de energia, este resfriamento se dá de forma consideravelmente mais lenta, sendo as maiores temperaturas verificadas nesses locais, com valores de 32,0°C, enquanto que nos bairros periféricos os menores valores são observados, oscilando em torno de 28,5°C (FIGURA 66).

19:00 às 21:00 horas

Nesse horário é verificado um grande resfriamento diferencial, sendo intensificadas as diferenças observadas no horário anterior. Aqui pode-se verificar a máxima intensidade da ocorrência da "ilha de calor urbana", onde os bairros centrais e mais urbanizados apresentam-se, em média, até 4,0 °C mais aquecidos que os bairros periféricos, onde os materiais urbanos absorventes de energia apresentam-se em pequenas proporções. A configuração espacial da temperatura começa a apresentar um padrão bem definido, com dois núcleos de baixas temperaturas localizados nos bairros mais periféricos, e com temperaturas oscilando entre 25,5°C, e um grande núcleo de maiores temperaturas posicionado ao longo da região central da cidade, com máximos valores na área comercial, em torno de 29,5° (FIGURA 67)

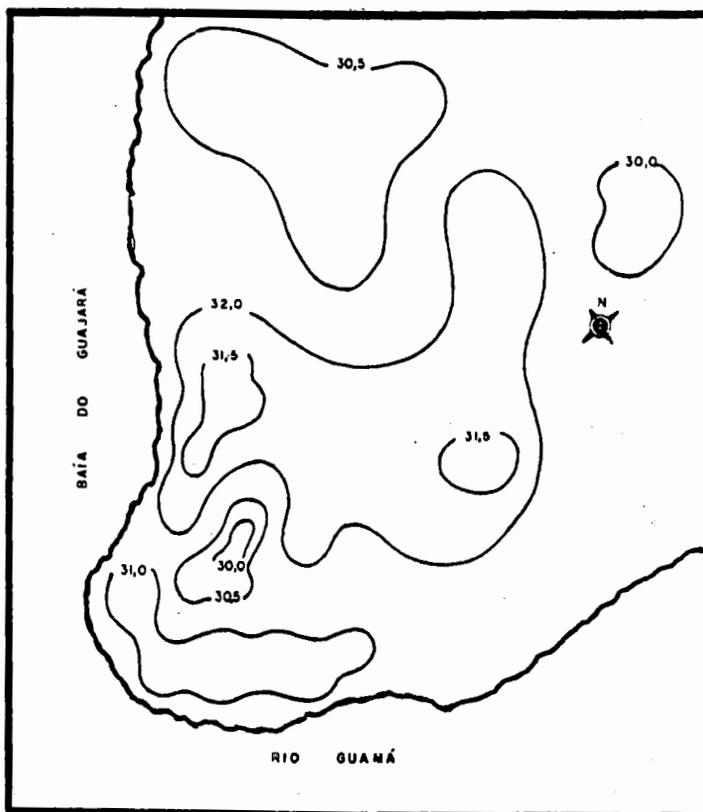


FIGURA 64 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 10:00 às 12:00 horas, durante a primeira fase experimental.

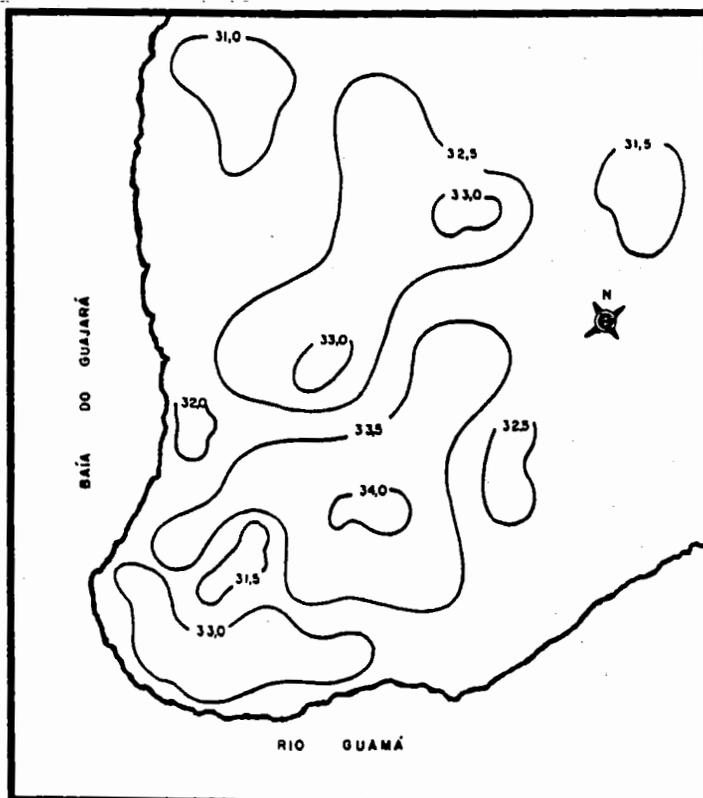


FIGURA 65 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 13:00 às 15:00 horas, durante a primeira fase experimental.

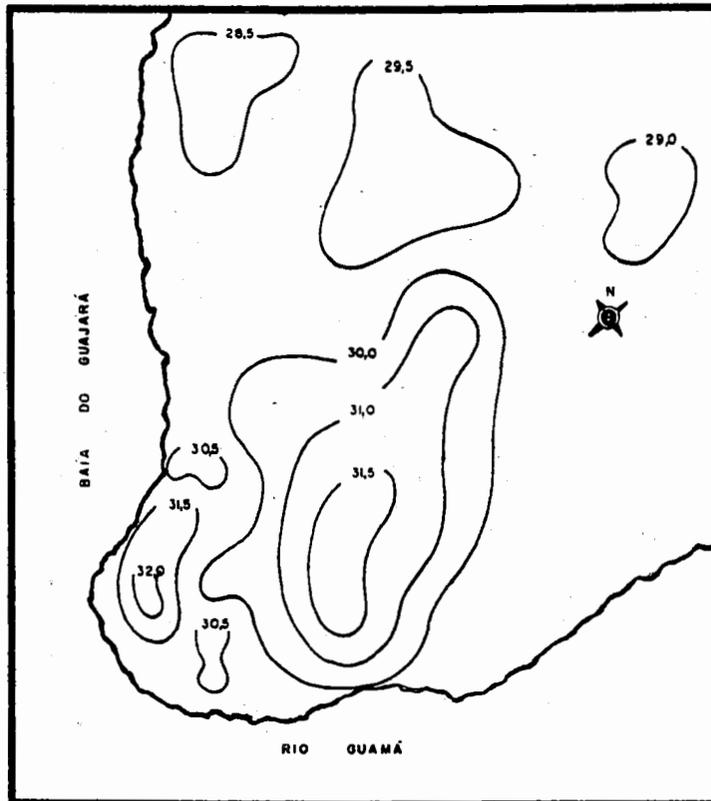


FIGURA 66 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 16:00 às 18:00 horas, durante a primeira fase experimental.

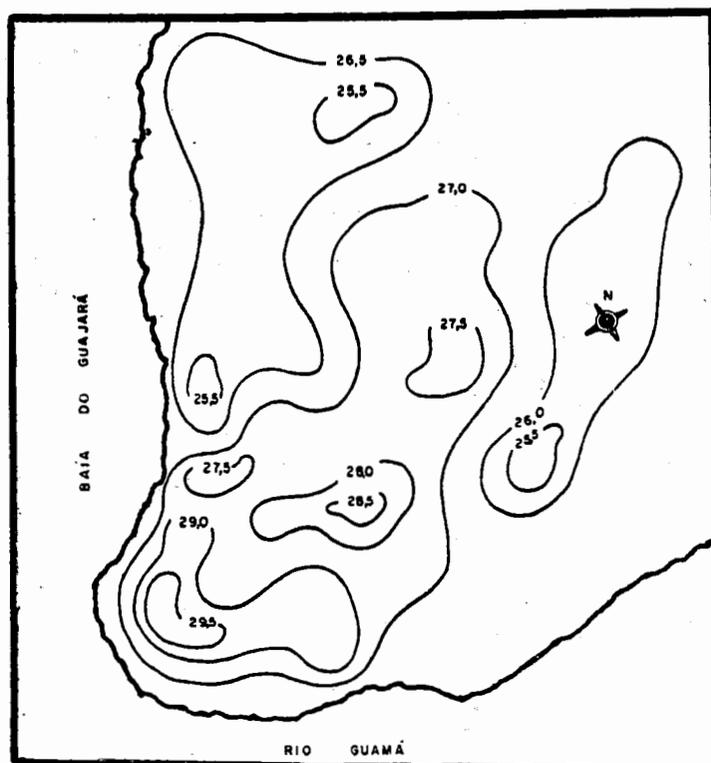


FIGURA 67 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 19:00 às 21:00 horas, durante a primeira fase experimental.

22:00 às 24 horas

Neste horário as diferenças térmicas encontradas entre os diversos bairros já tornaram-se relativamente pequenas, sendo que o resfriamento é bastante acentuado, principalmente nos bairros mais periféricos, onde o vento relativamente forte também contribui para intensificar o resfriamento noturno. A configuração espacial das temperaturas é mais intensamente definida nesse horário, com dois núcleos de baixas, localizados na periferia da cidade, e oscilando entre 24,5°C, e um núcleo central, onde as temperaturas são relativamente maiores, alcançando valores máximos de 27,0°C (FIGURA 68).

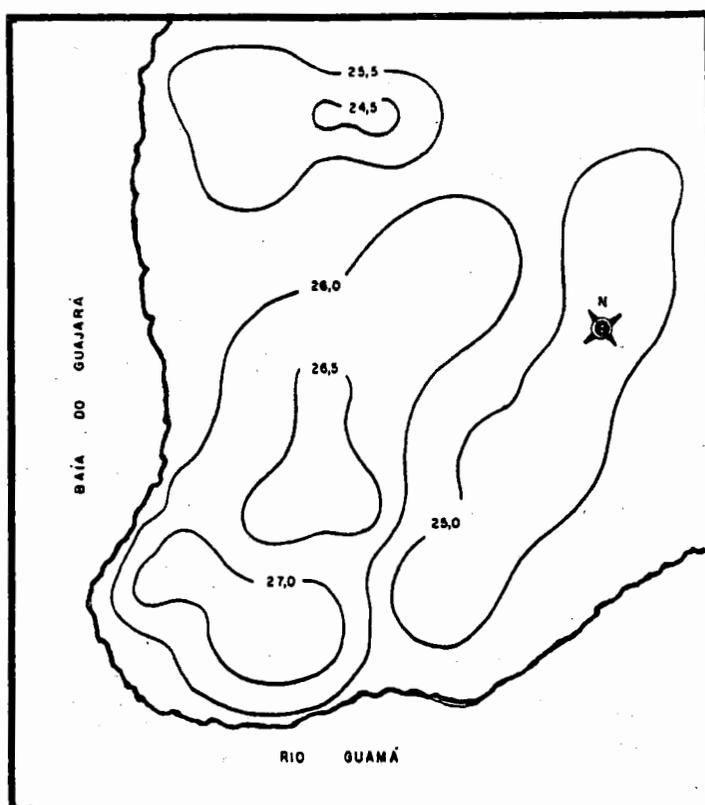


FIGURA 68 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 22:00 às 24:00 horas, durante a primeira fase experimental.

4.2.1.7. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA UMIDADE RELATIVA DO AR

01:00 às 03:00 horas

Nesse horário a umidade relativa apresenta-se bastante elevada, com os maiores valores em torno de 95% ocorrendo nos bairros periféricos da cidade, onde a pequena verticalização associada com a proximidade de grandes massas verdes proporciona um maior resfriamento noturno. Os menores valores foram observados na área comercial da cidade, onde existe ausência de vegetação, apesar da proximidade da Baía do Guajará (FIGURA 69).

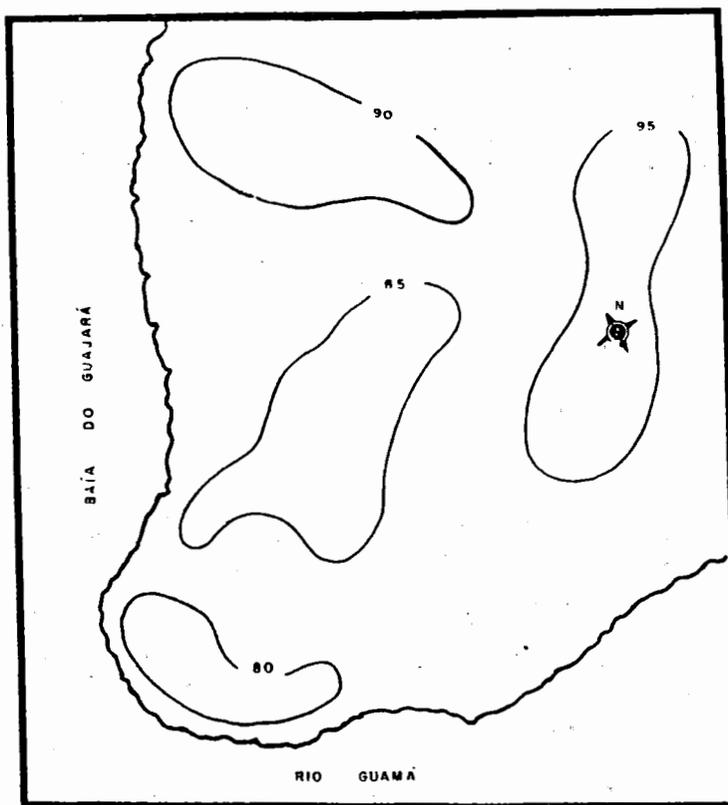


FIGURA 69 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 01:00 às 03:00 horas, durante a primeira fase experimental.

04:00 às 06:00 horas

Nesse horário foram verificados os maiores valores de umidade relativa do ar, predominando valores superiores a 90% na grande maioria dos bairros. Apenas um núcleo com as valores médios de 85% ocorreu nas proximidades dos bairros comerciais (FIGURA 70).

07:00 às 09:00 horas

Nesse horário, com o início do aquecimento solar, começa o aparecimento de diversos núcleos distintos, com valores de umidade relativa variando entre 75% a 95%, sendo esses maiores verificados nos bairros mais periféricos, às proximidades de grandes massas verdes. Entretanto, nos bairros mais urbanizados, talvez devido à intensificação das atividades urbanas, a umidade tende a ser menor (FIGURA 71).

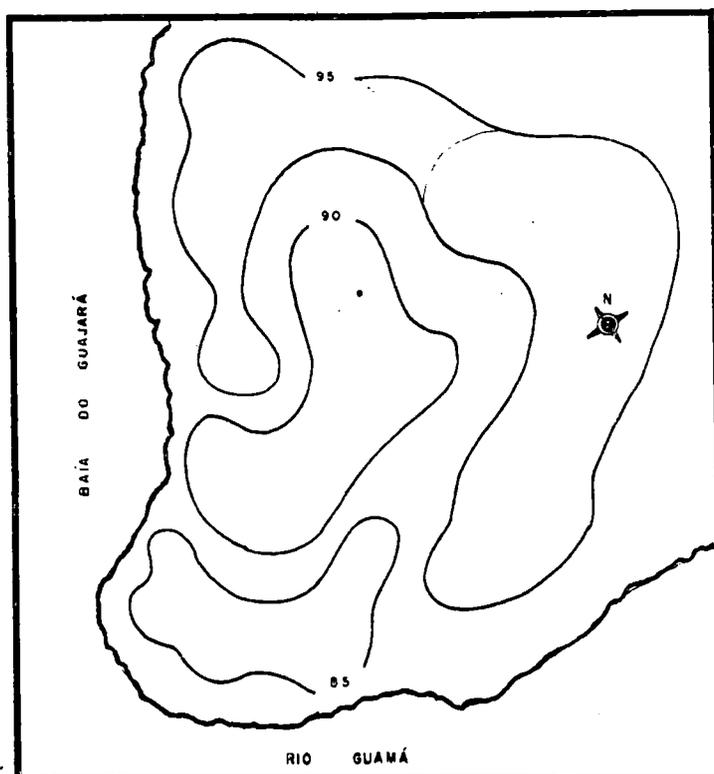


FIGURA 70 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 04:00 às 06:00 horas, durante a primeira fase experimental.

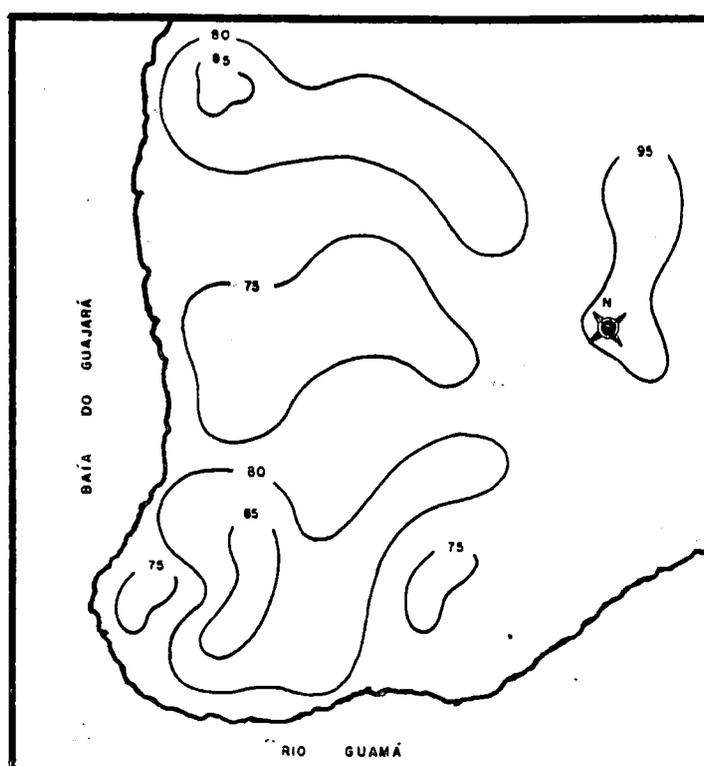


FIGURA 71 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 07:00 às 09:00 horas, durante a primeira fase experimental.

10:00 às 12:00 horas

Nesse horário, com o aquecimento bem caracterizado em todos os bairros, a umidade relativa do ar alcança baixos valores, sendo que os bairros centrais são os que apresentam os menores valores, com um núcleo bem definido de valores inferiores a 60%. Observa-se também a formação de núcleos bem definidos com valores ligeiramente superiores a 65%, influenciados, principalmente, pela proximidade de grandes áreas arborizadas (FIGURA 72).

13:00 às 15:00 horas

Nesse horário todos os valores observados foram inferiores a 65%, provocado pelo intenso aquecimento em todos os bairros, embora se destaque claramente a presença de dois núcleos periféricos com valores mais elevados, justamente onde a porcentagem de vegetação é relativamente maior, e um grande núcleo central, onde predominam valores inferiores a 60%, associado com a intensa atividade antrópicas (FIGURA 73)

16:00 às 18:00 horas

Com o resfriamento gradativo a partir das 16:00 horas, começa a ocorrer um leve aumento nos valores da umidade relativa do ar em todos os bairros, sendo que, nos bairros periféricos este aumento é mais pronunciado. Os bairros centrais ainda apresentam os menores valores, embora não se tenha um padrão bem definido de sua distribuição (FIGURA 74).

19:00 às 21:00 horas

Nesse horário é verificado um grande aumento da umidade relativa do ar, principalmente nos bairros periféricos e providos de grande porcentagem de arborização urbana, contrastando com os menores valores predominantes nos bairros centrais e desprovidos de arborização. É marcante a presença de um núcleo de baixa umidade na área comercial da cidade, onde a arborização é deficiente (FIGURA 75).

22:00 às 24 horas

Nesse horário continua a tendência do horário anterior, sendo bem caracterizado a presença de núcleos de maiores valores nos bairros mais periféricos, ao passo que, os menores valores ainda predominam na área comercial (FIGURA 76).

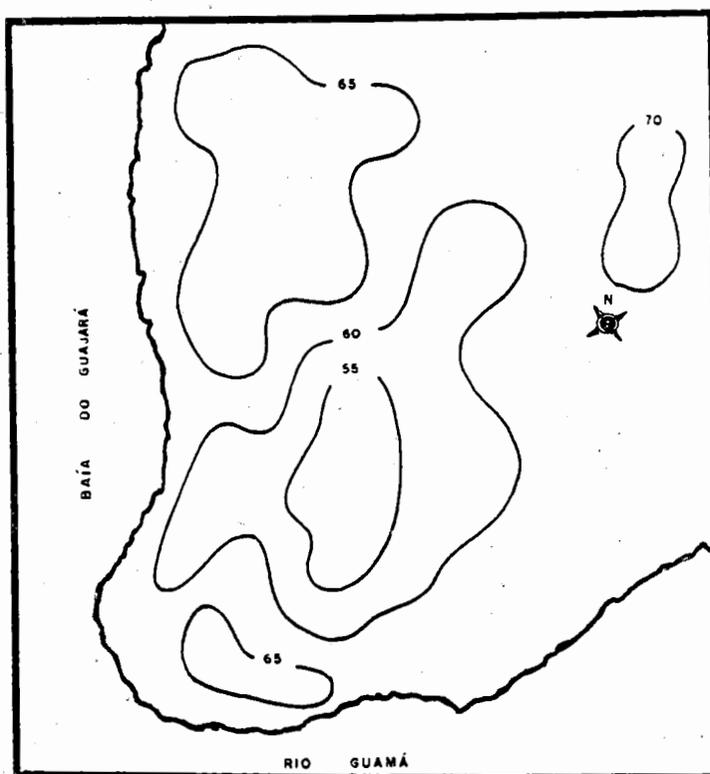


FIGURA 72 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 10:00 às 12:00 horas, durante a primeira fase experimental.

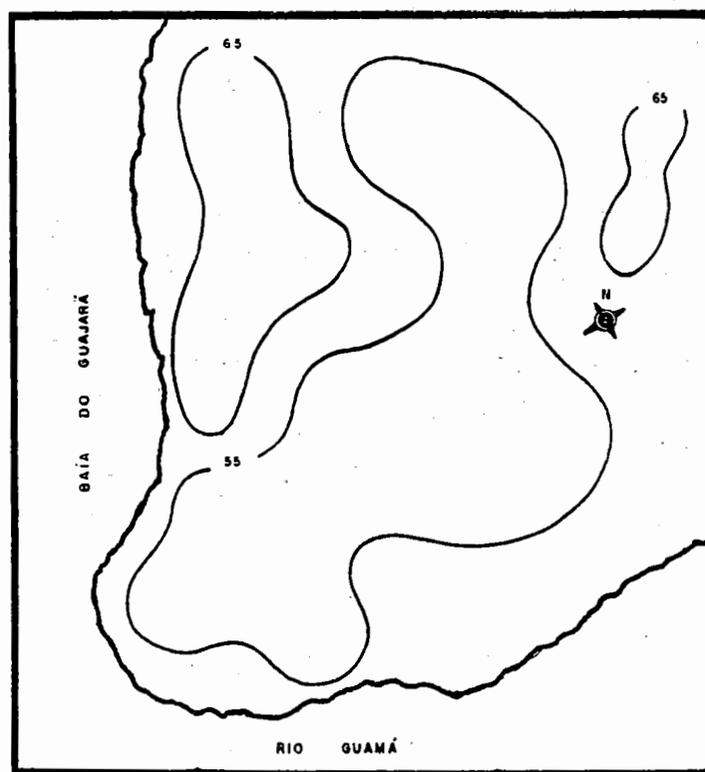


FIGURA 73 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 13:00 às 15:00 horas, durante a primeira fase experimental.

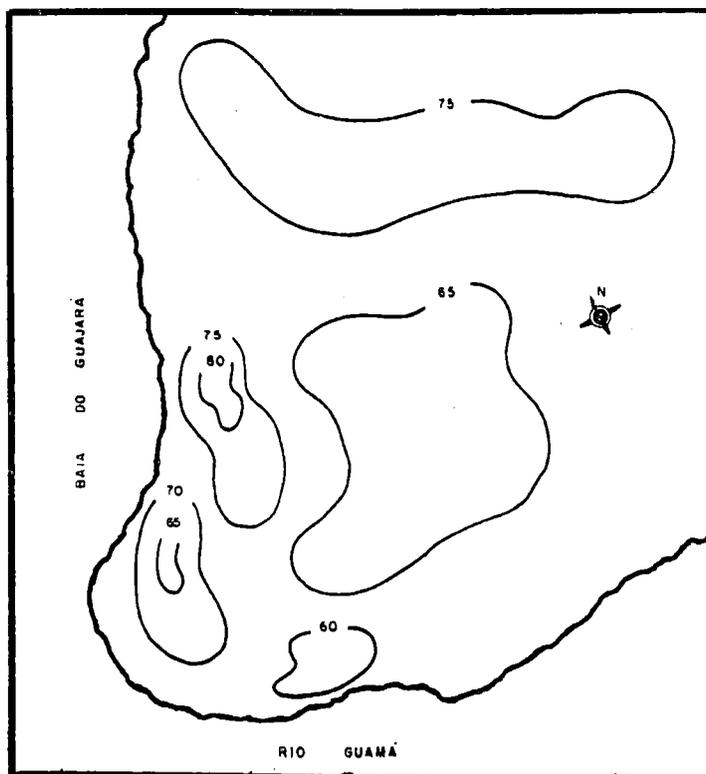


FIGURA 74 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 16:00 às 18:00 horas, durante a primeira fase experimental.

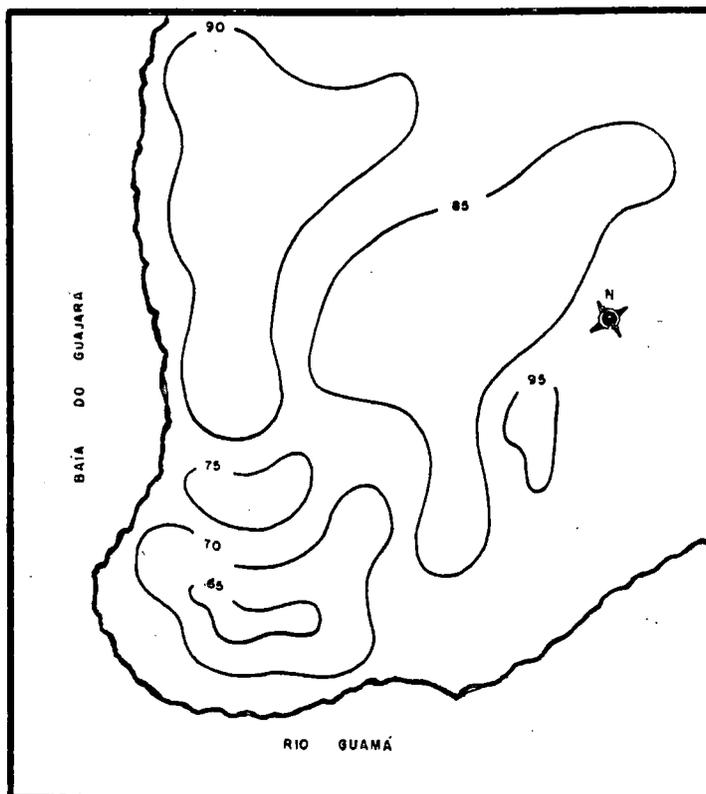


FIGURA 75 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 19:00 às 21:00 horas, durante a primeira fase experimental.

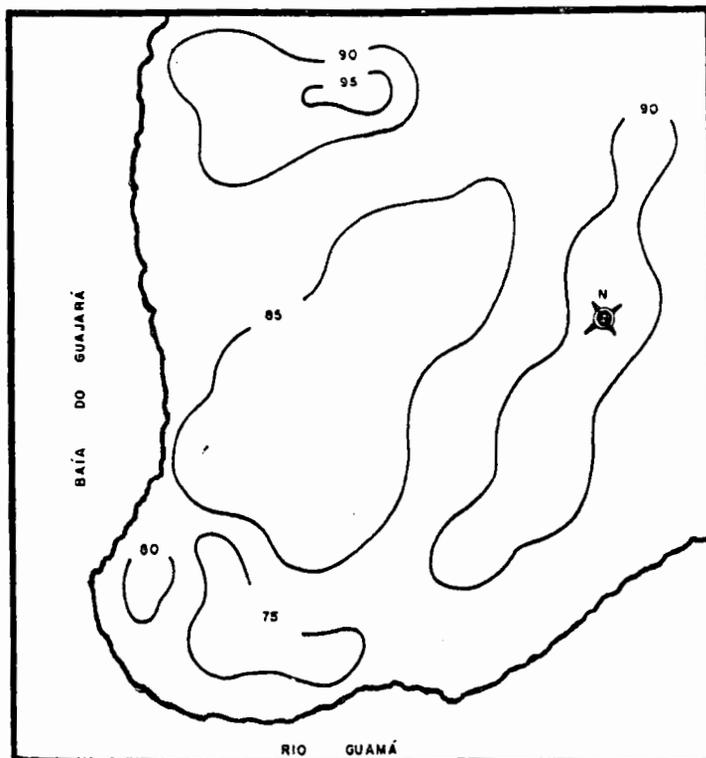


FIGURA 76 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 22:00 às 24:00 horas, durante a primeira fase experimental.

4.2.1.8. DIFERENÇAS TERMO-HIGROMÉTRICAS ENTRE AMBIENTES URBANOS E RURAL

Na quantificação das variações termo - higrométricas entre os diferentes ambientes urbanos em relação ao ambiente rural (FIGURAS 77 a 112), foi observado que, de um modo geral, as maiores diferenças ocorreram nos locais com pouca ou nenhuma arborização e com grande porcentagem de edificações e calçamento.

Em relação ao comportamento médio horário da umidade relativa do ar, foi observado que, de um modo geral, os maiores valores sempre foram verificados no ambiente rural, sendo que os menores valores ocorreram nos locais com pouca ou nenhuma arborização e intensa urbanização

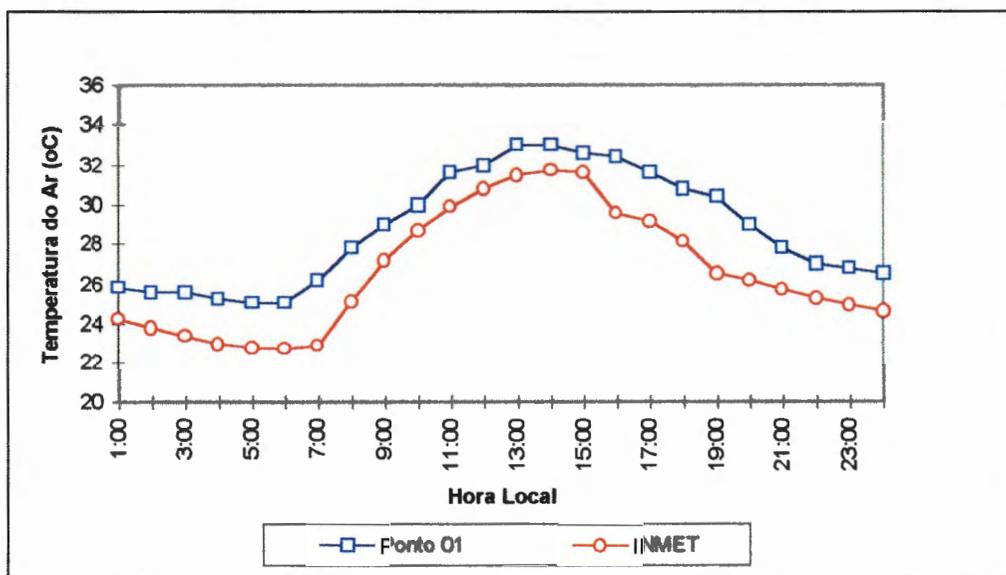


FIGURA 77 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Condor)

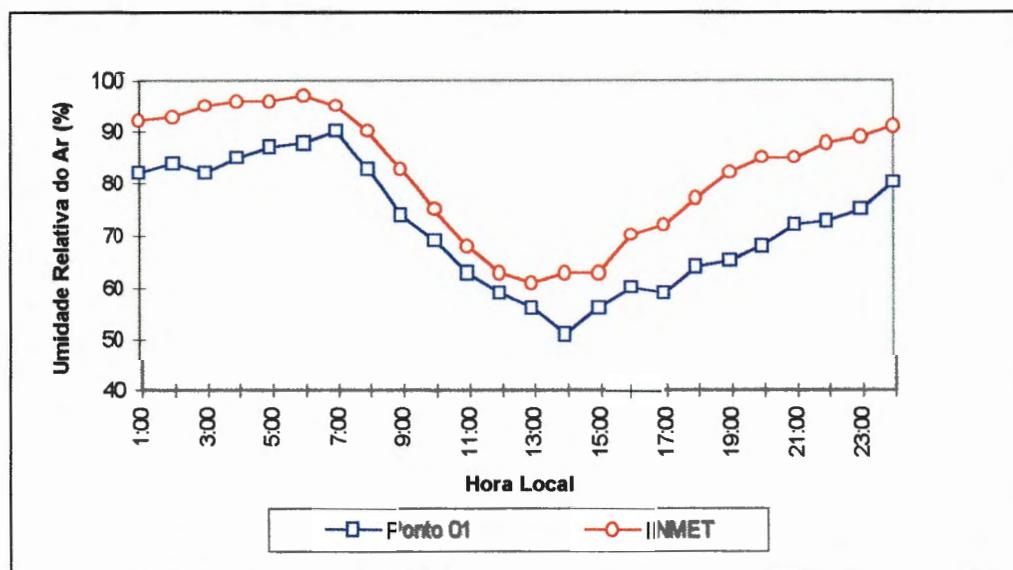


FIGURA 78 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Condor)

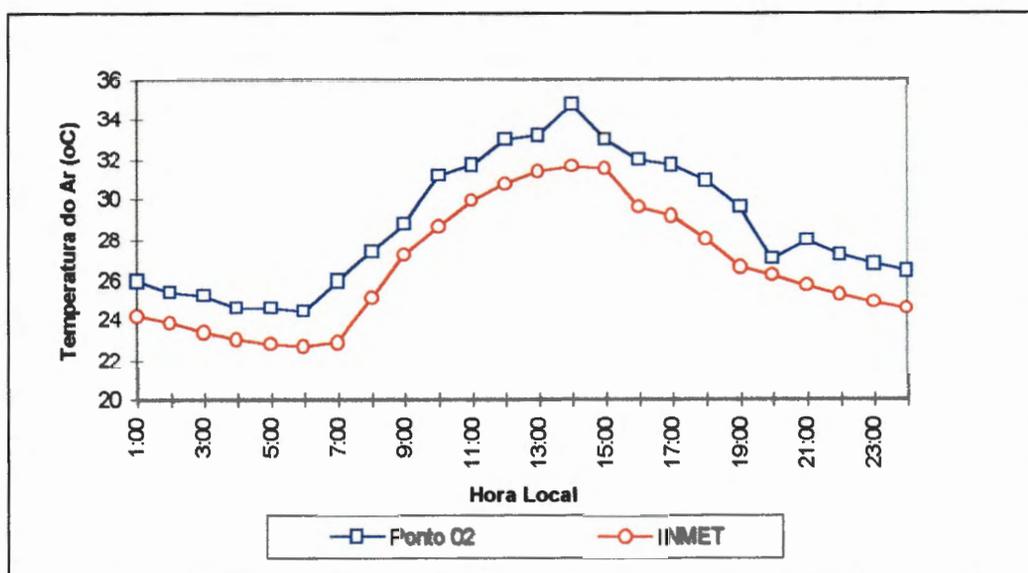


FIGURA 79 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Cremação)

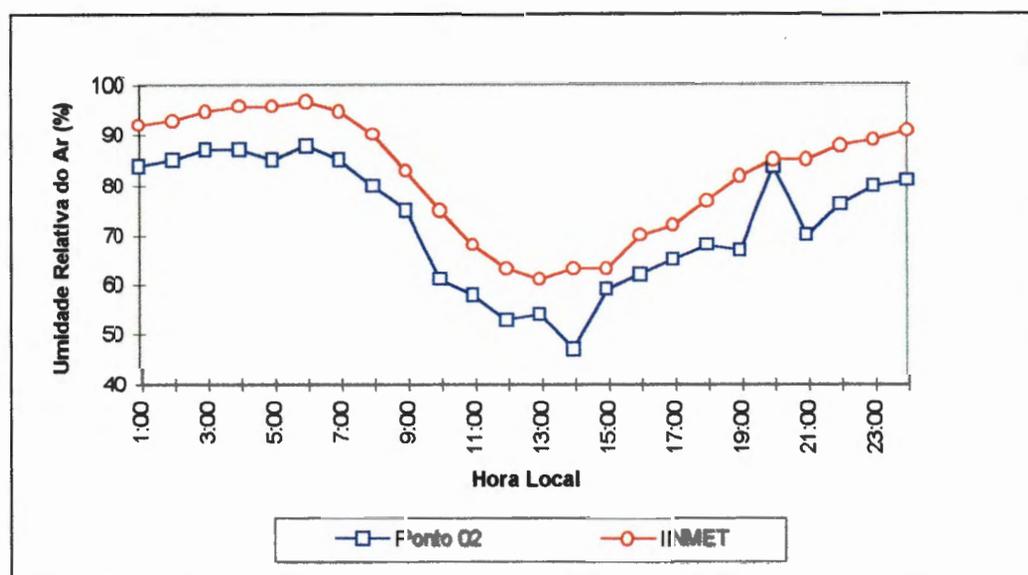


FIGURA 80 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Cremação)

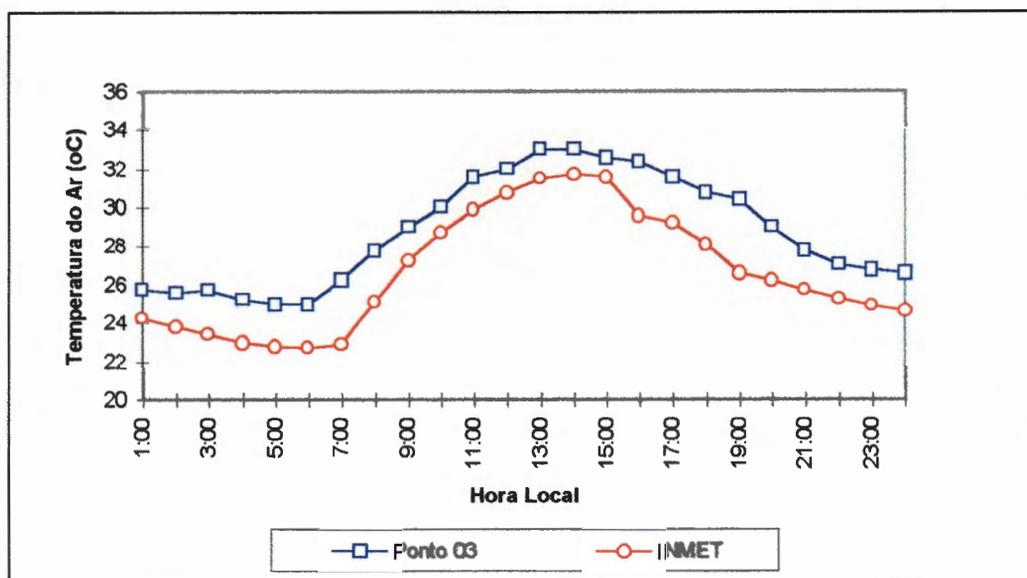


FIGURA 81 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Jurunas)

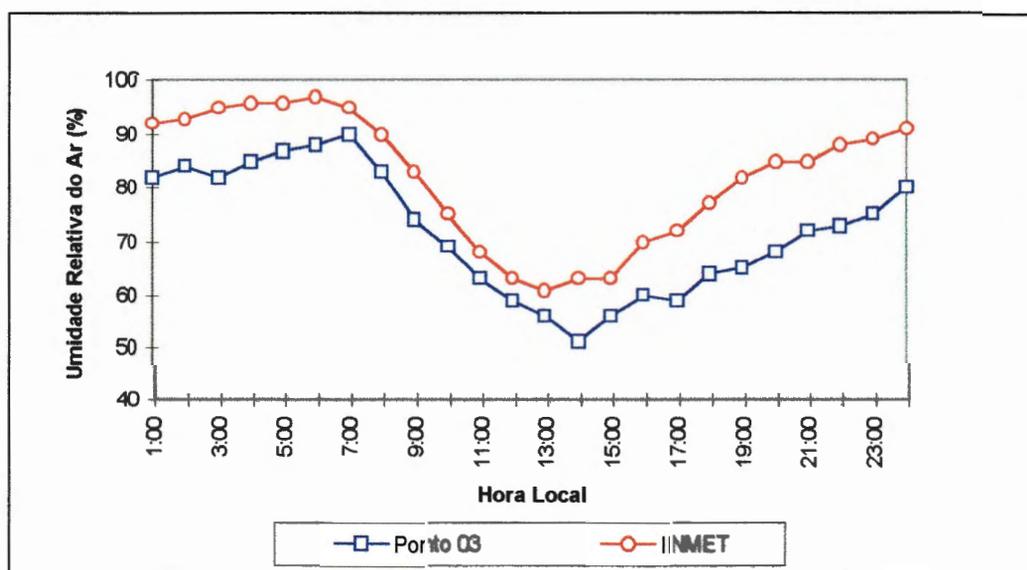


FIGURA 82 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Jurunas)

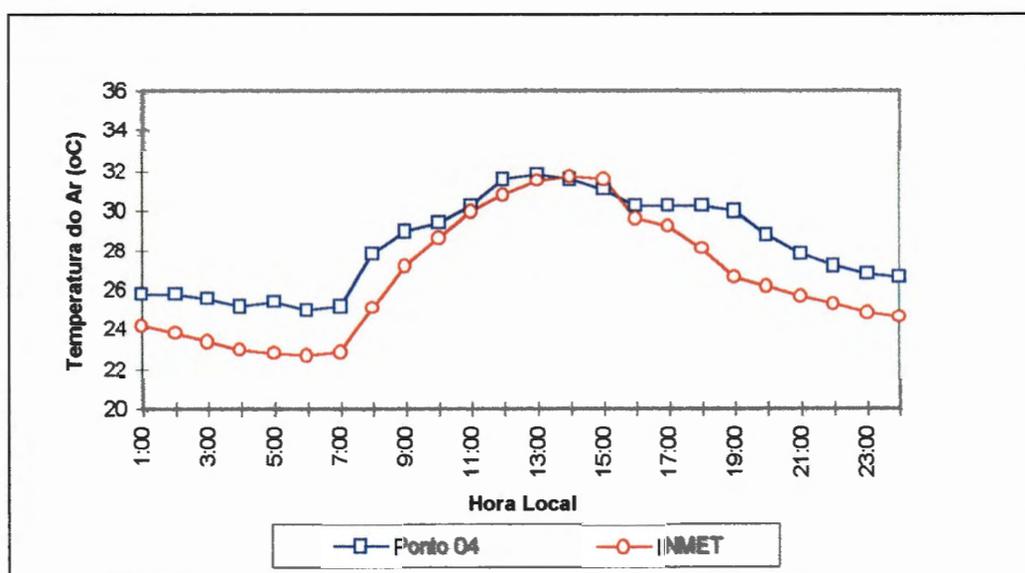


FIGURA 83 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro de Batista Campos)

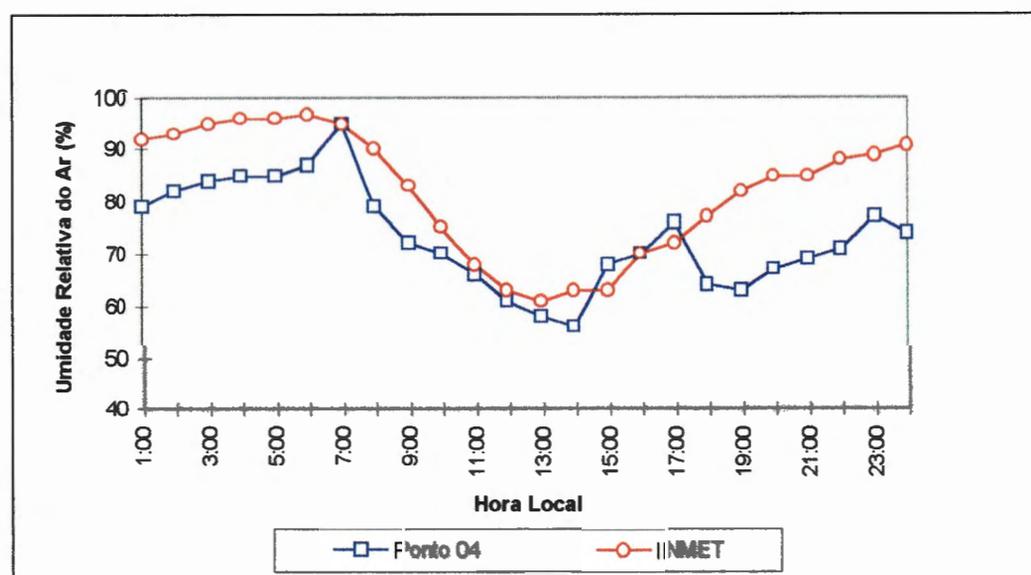


FIGURA 84 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro de Batista Campos)

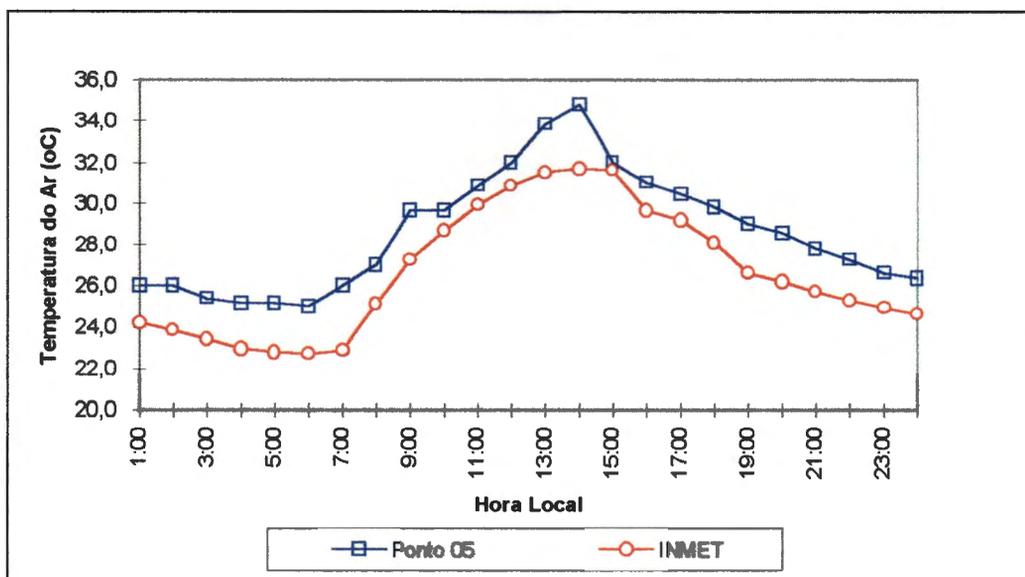


FIGURA 85 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Campina)

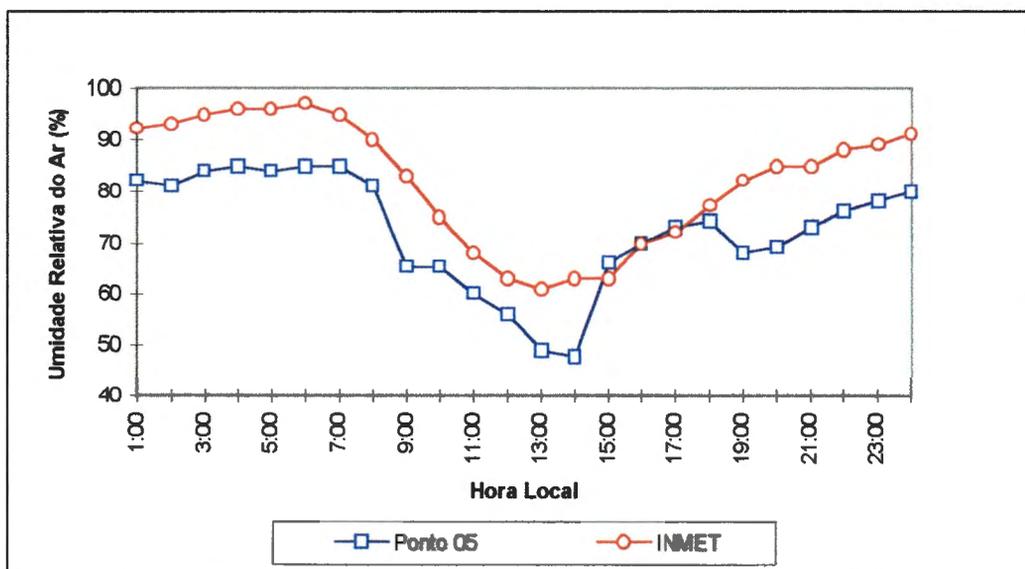


FIGURA 86 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Campina)

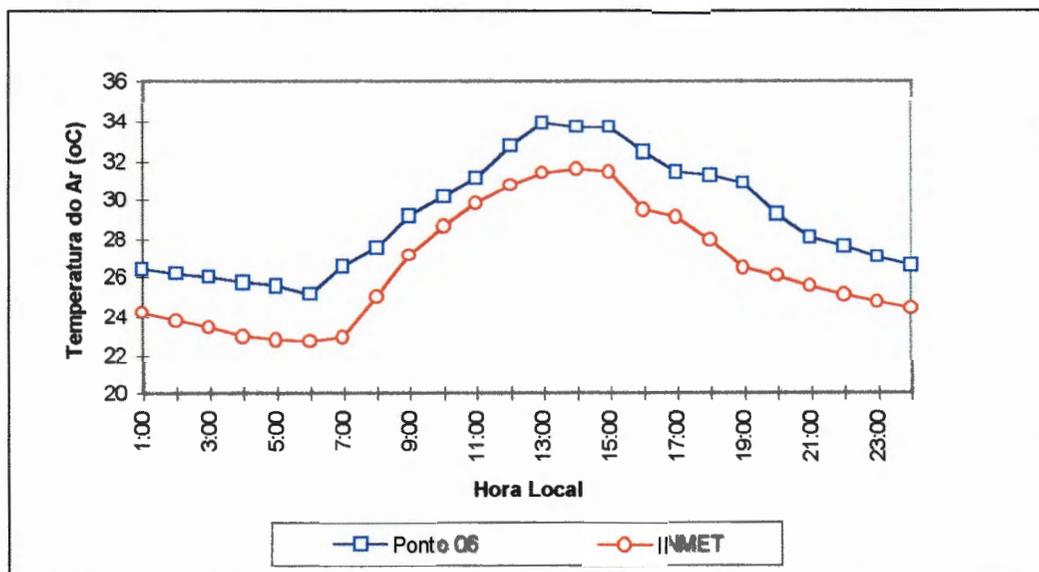


FIGURA 87 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Reduto)

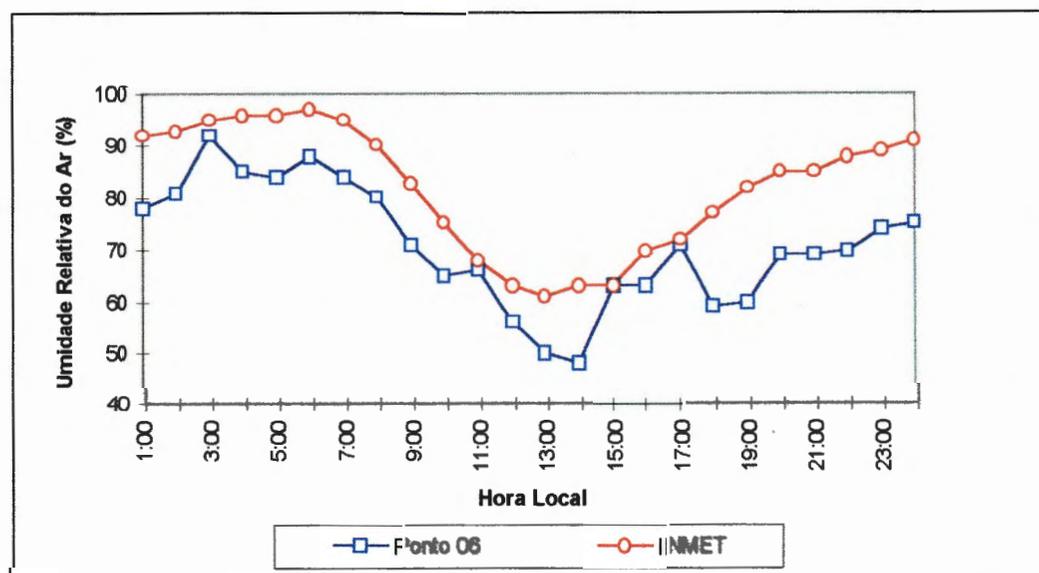


FIGURA 88 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Reduto)

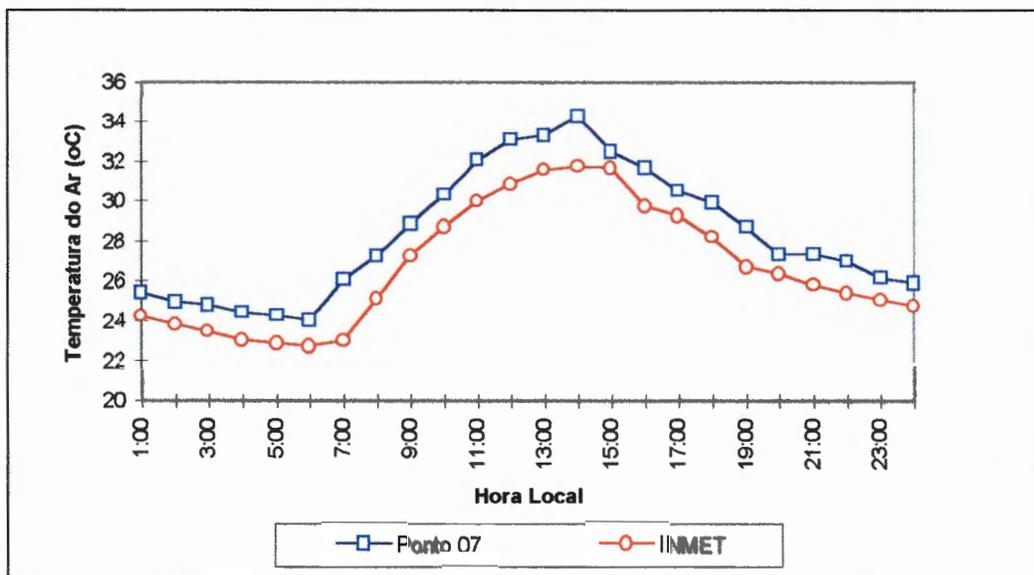


FIGURA 89 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Reduto)

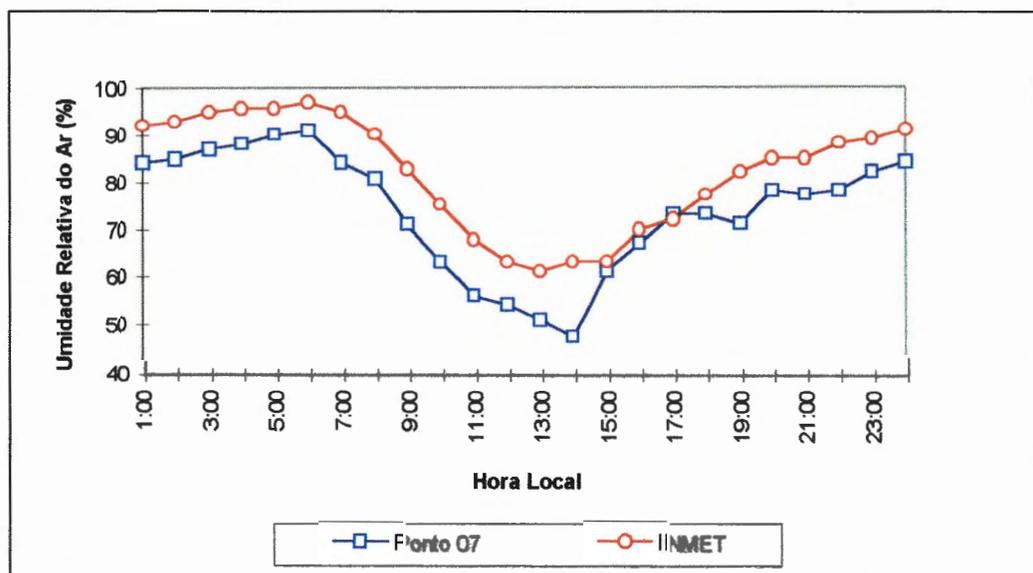


FIGURA 90 - Diferenças médias horárias umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Reduto)

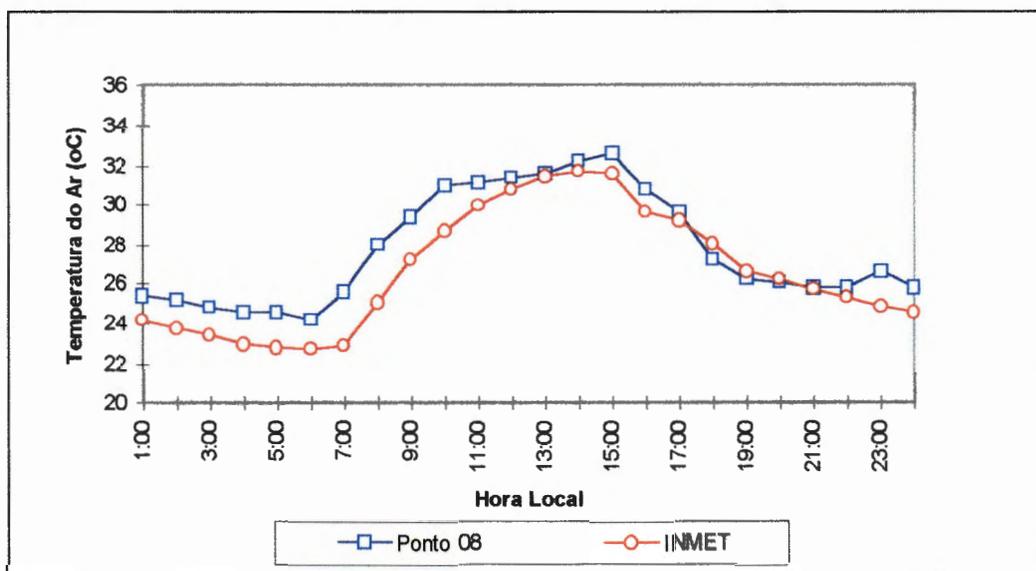


FIGURA 91 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Umarizal)

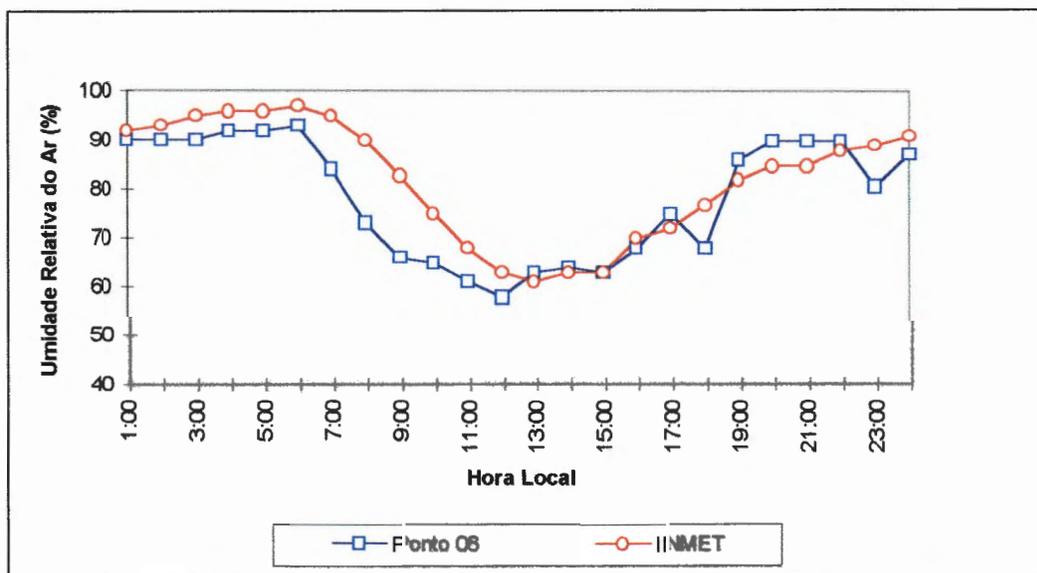


FIGURA 92 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Umarizal)

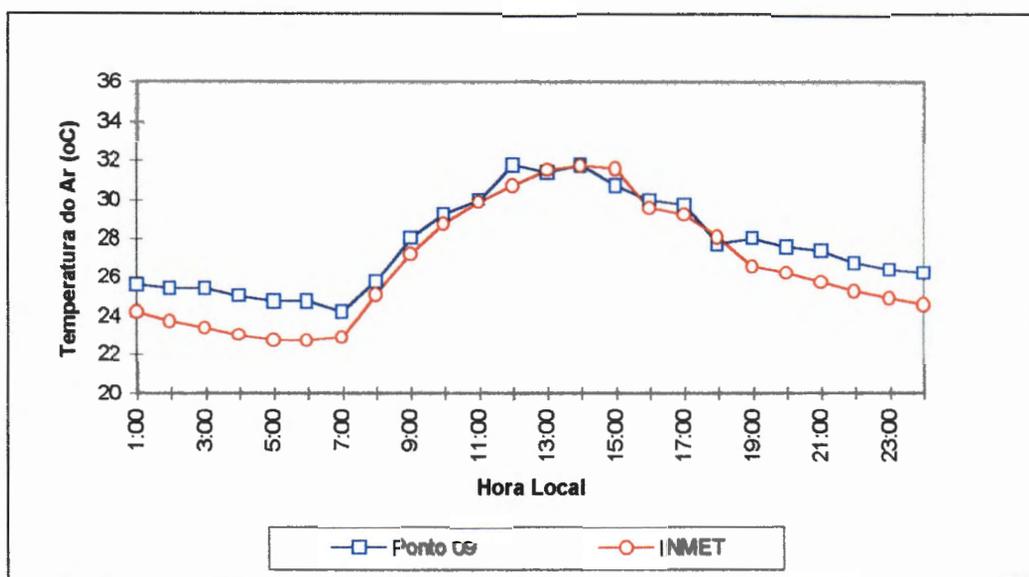


FIGURA 93 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro de Nazaré)

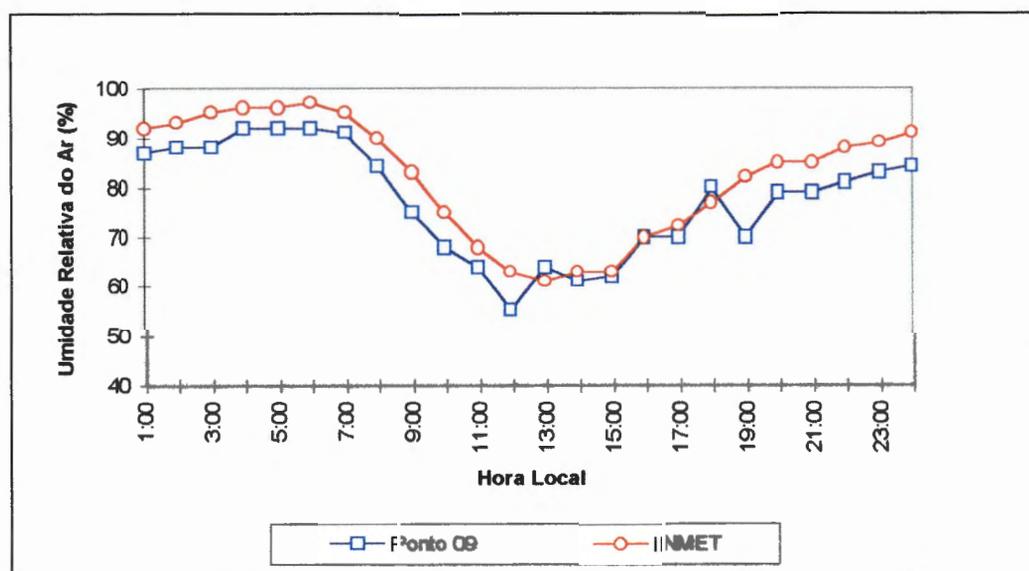


FIGURA 94 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro de Nazaré)

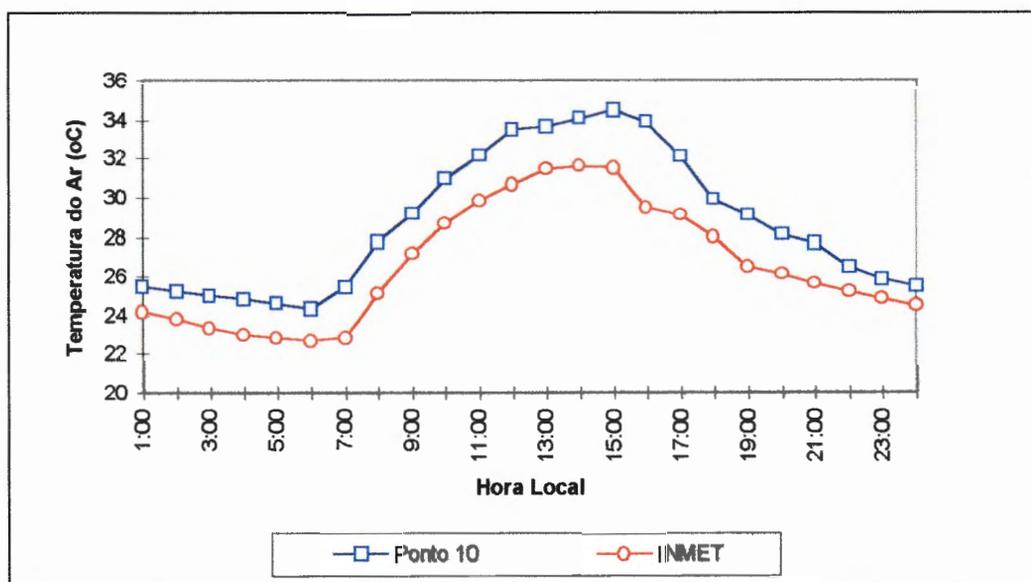


FIGURA 95 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro de São Brás)

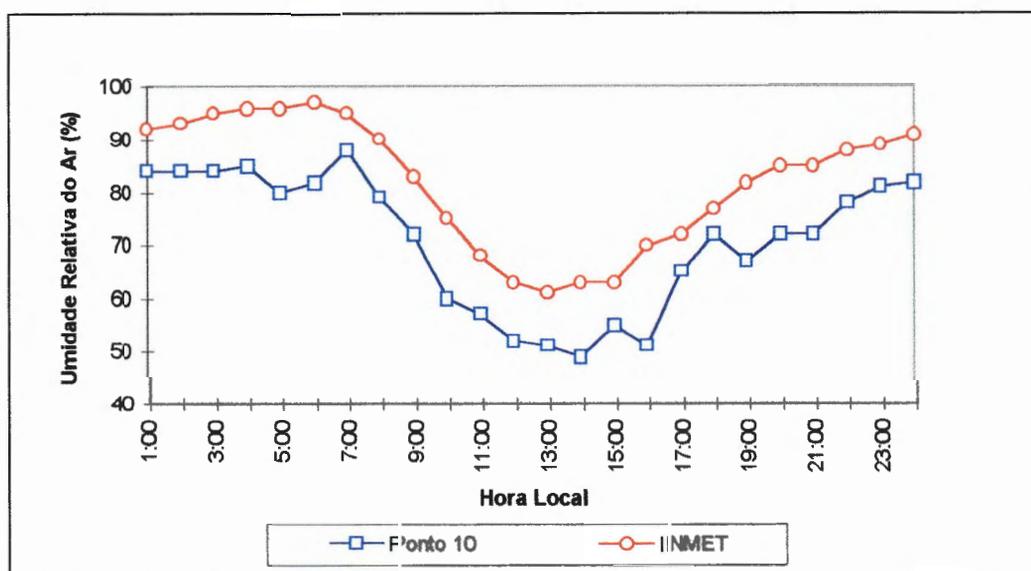


FIGURA 96 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro de São Brás)

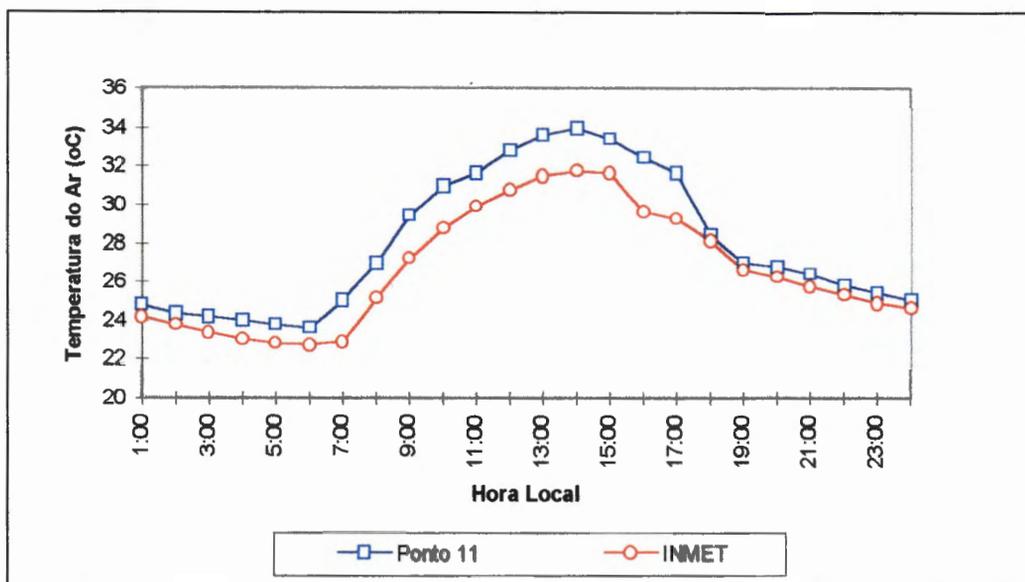


FIGURA 97 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Guamá)

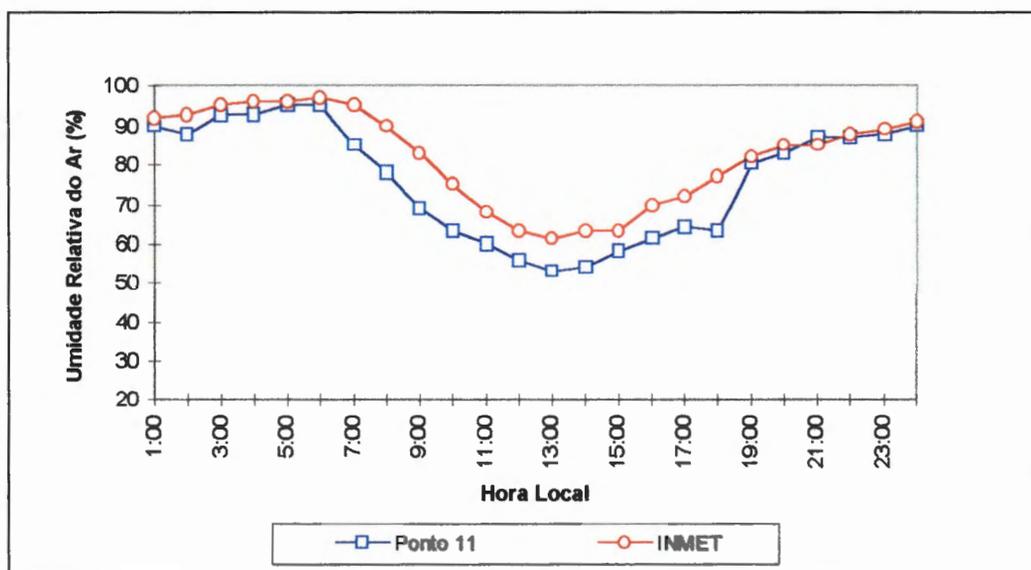


FIGURA 98 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Guamá)

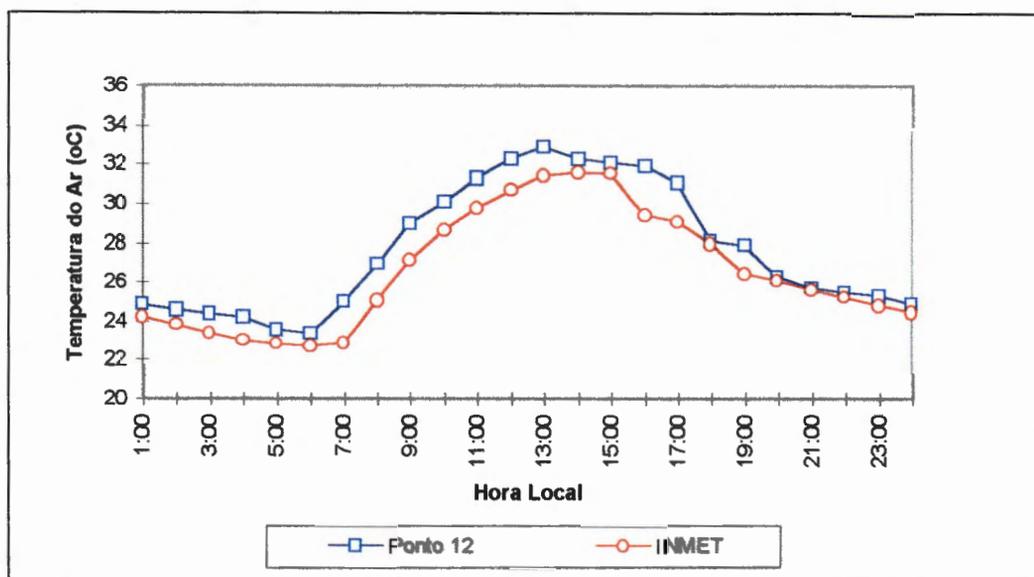


FIGURA 99 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Terra Firme)

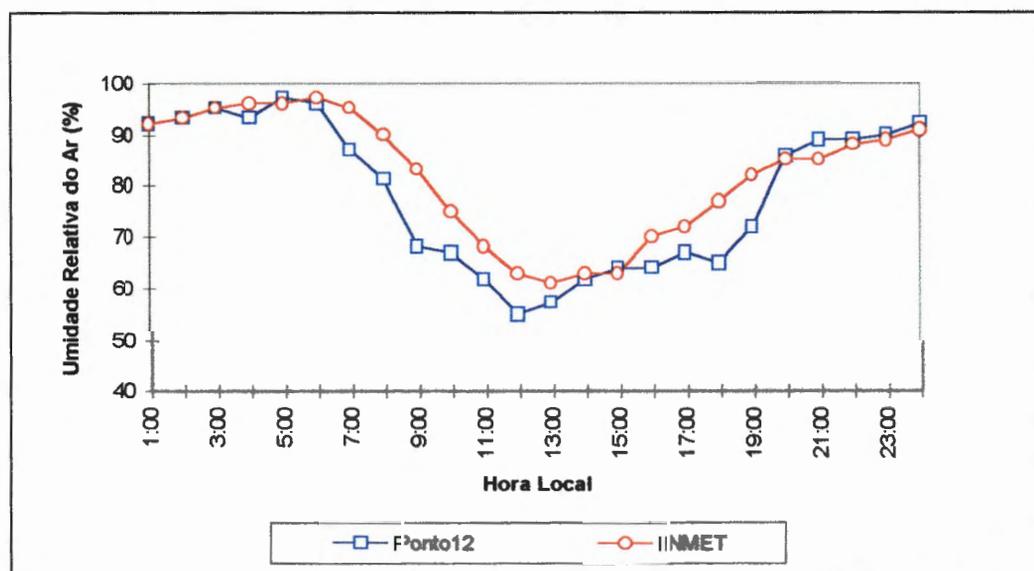


FIGURA 100 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Ponto 12 - bairro da Terra Firme)

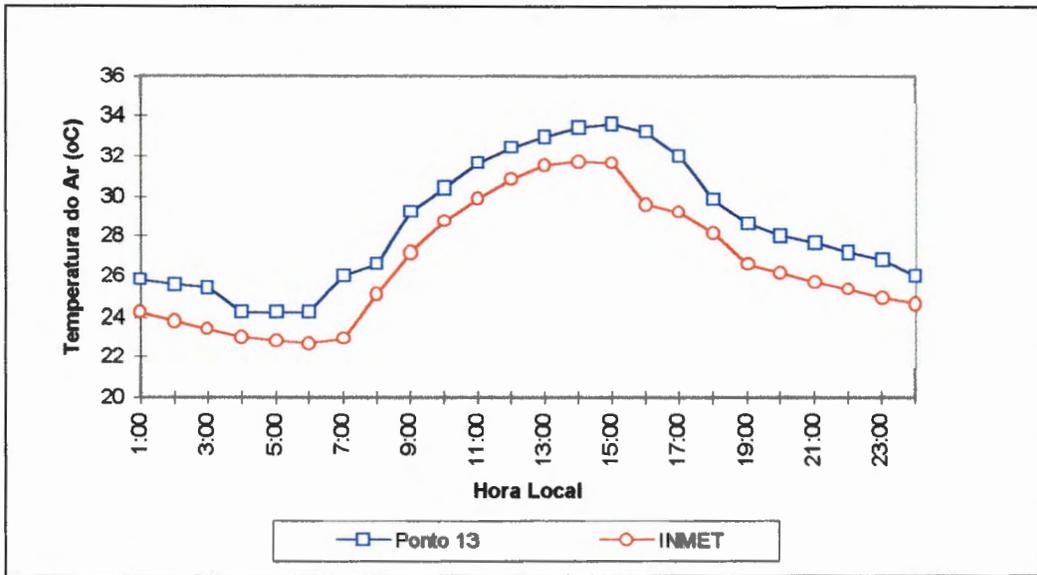


FIGURA 101 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Marco)

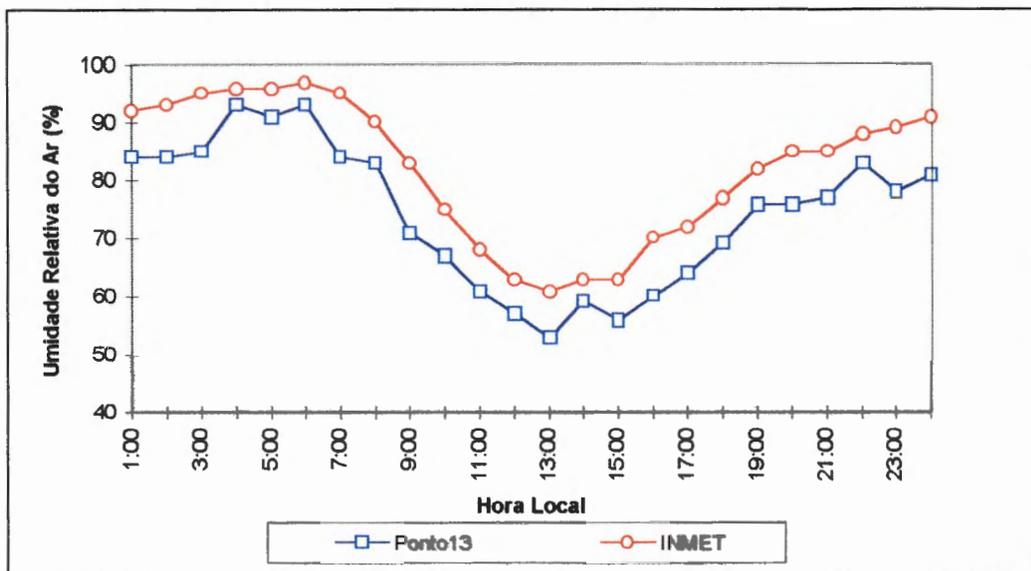


FIGURA 102 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Marco)

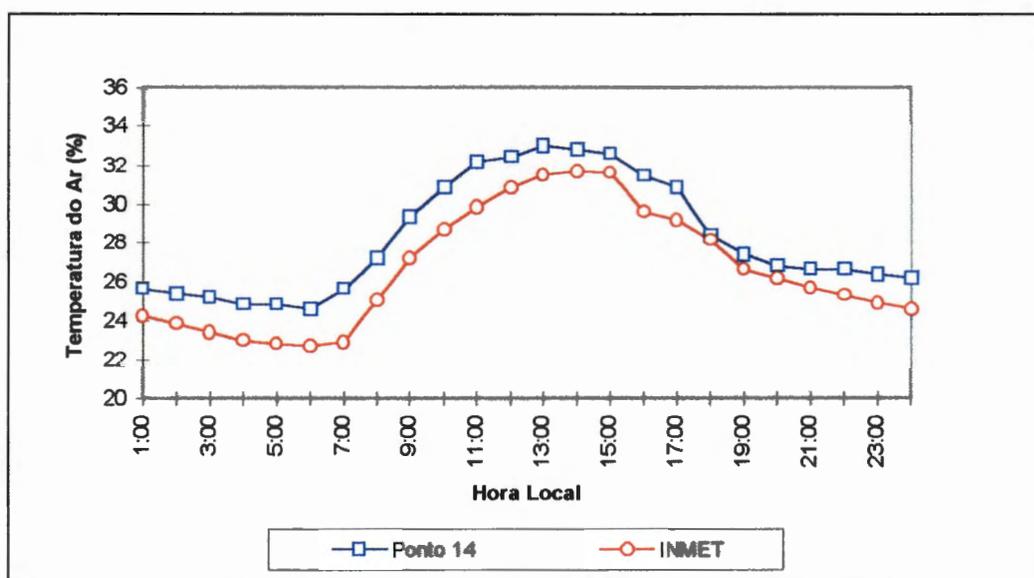


FIGURA 103 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Pedreira)

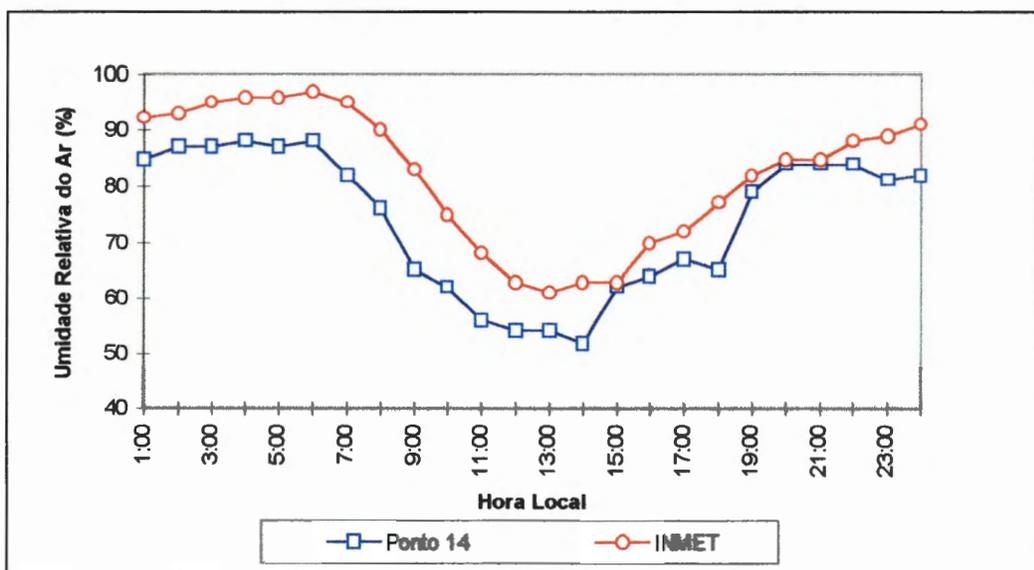


FIGURA 104 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Pedreira)

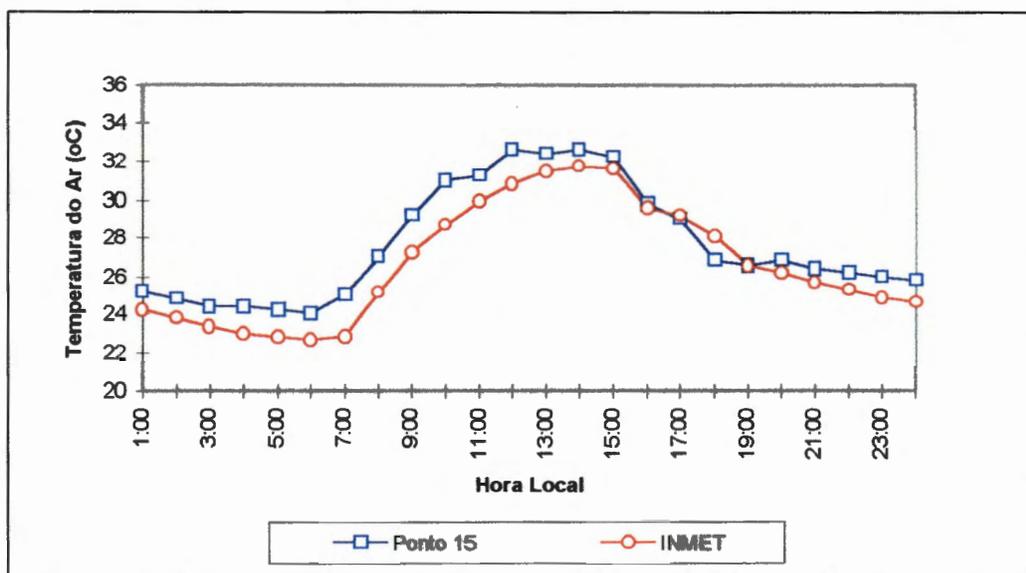


FIGURA 105 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Telégrafo)

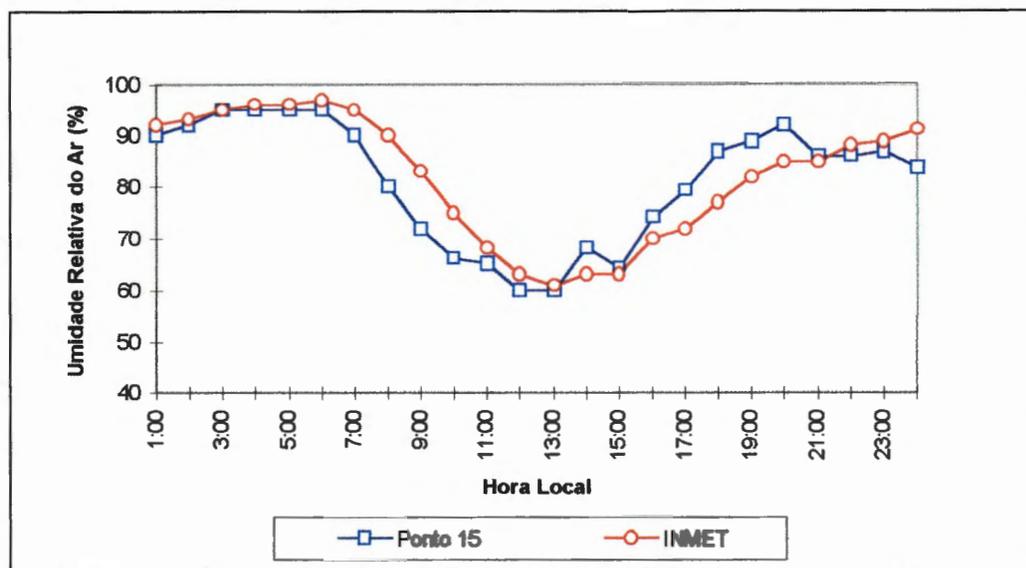


FIGURA 106 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Telégrafo)

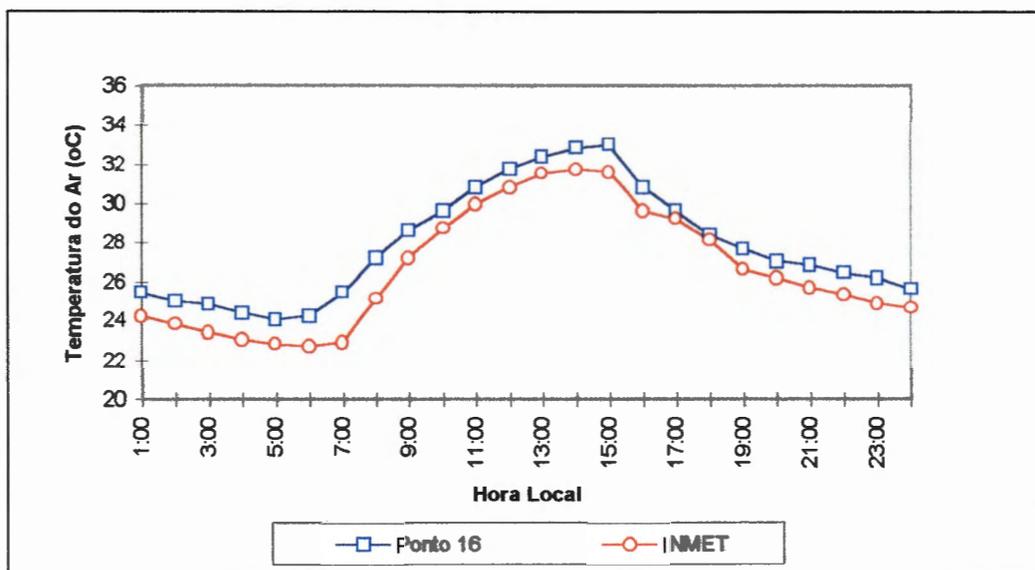


FIGURA 107 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Sacramento)

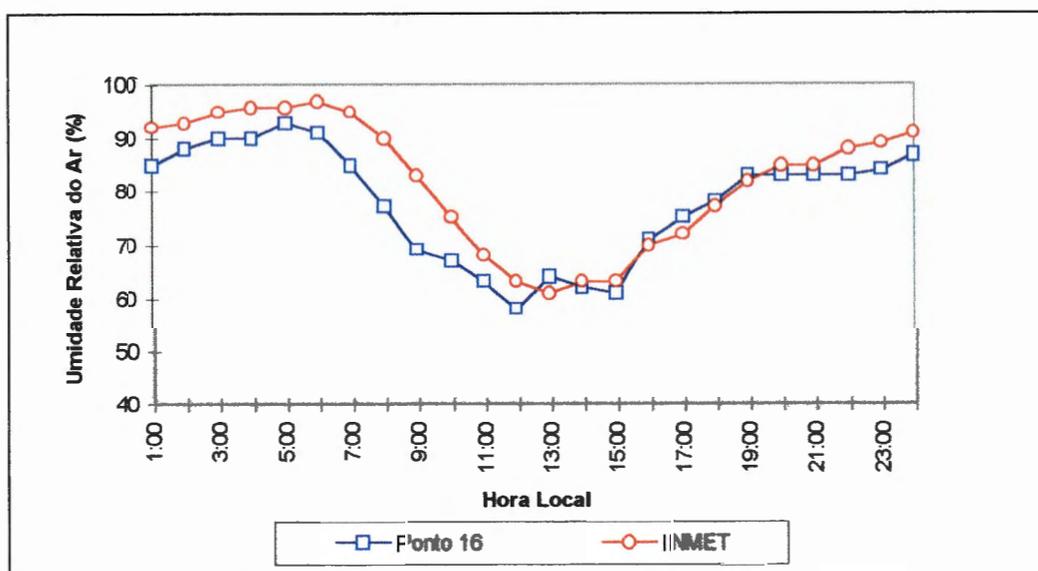


FIGURA 108 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Sacramento)

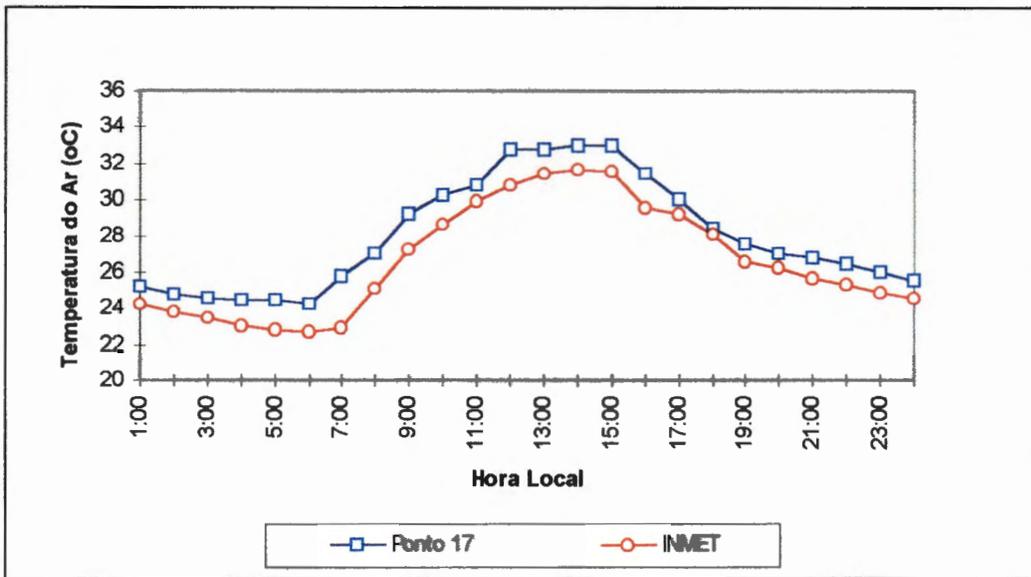


FIGURA 109 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Souza)

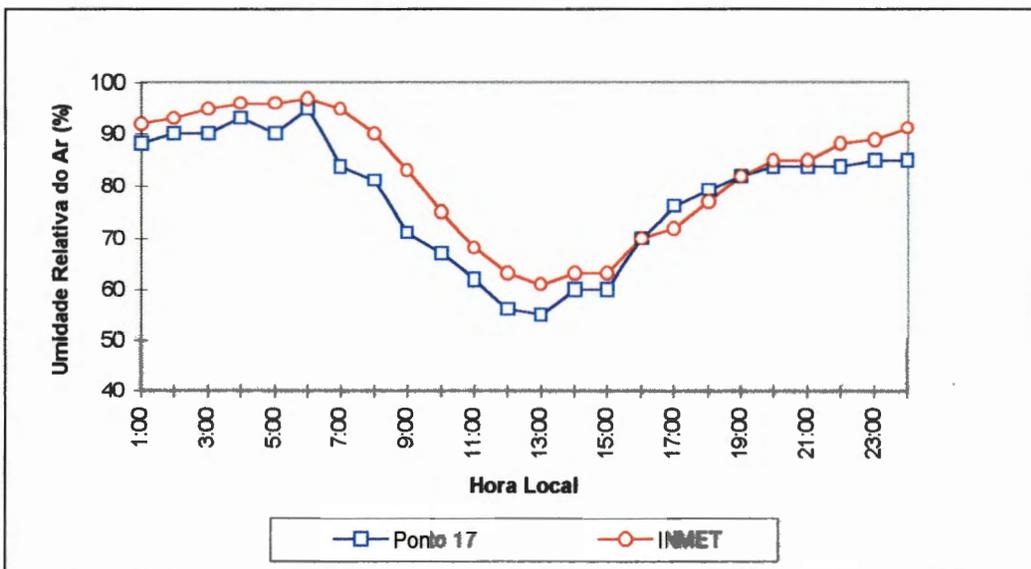


FIGURA 110 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Souza)

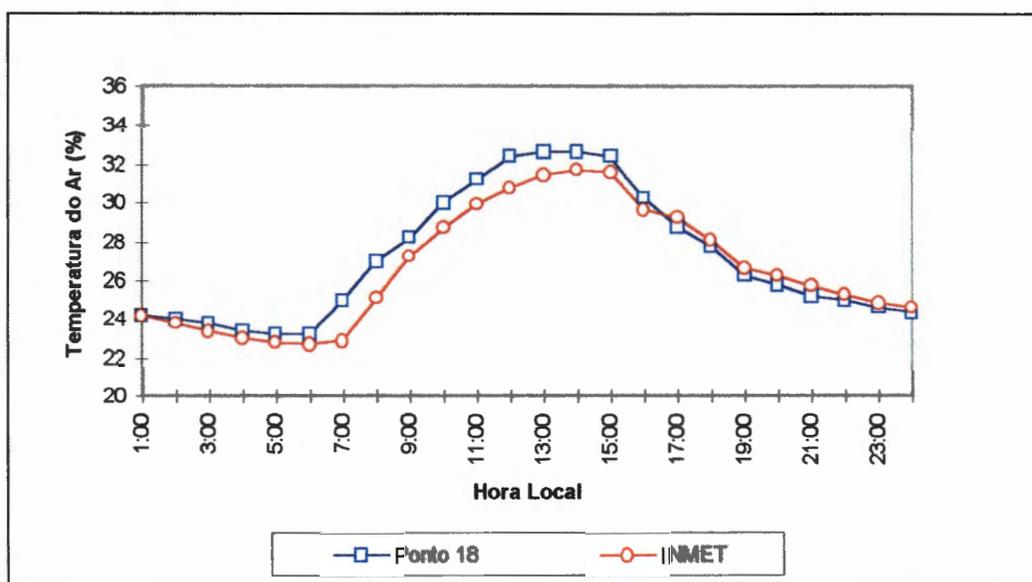


FIGURA 111 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Marambaia)

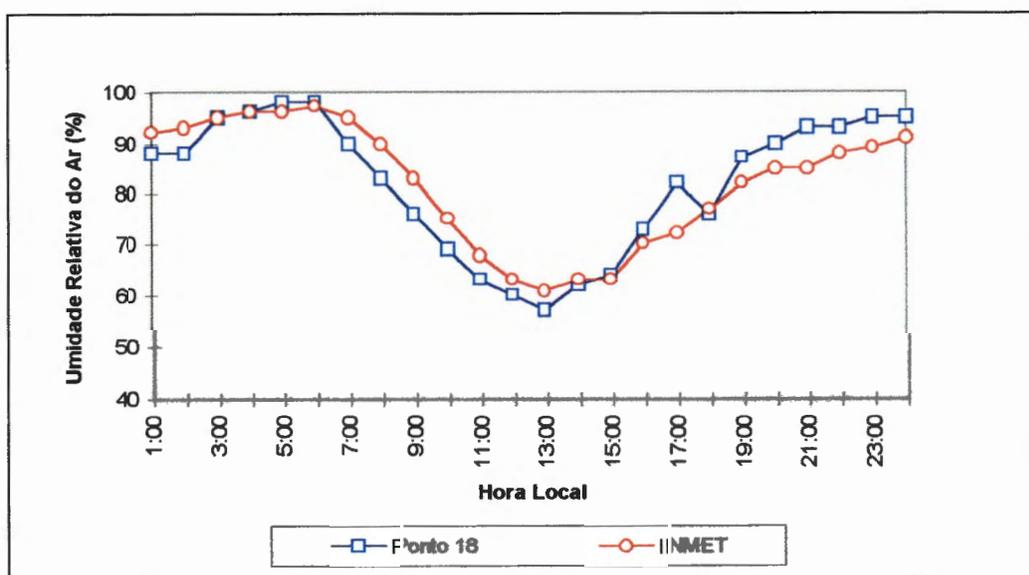


FIGURA 112 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Marambaia)

4.2.1.9. UMIDADE ESPECÍFICA E UMIDADE ABSOLUTA DO AR

A umidade específica do ar não apresentou um padrão de distribuição bem definido em todos os locais amostrados (ANEXO A). Os valores médios, máximos e mínimos observados foram da ordem de 17,6 g/Kg, 19,4 g/Kg e 16,0 g/Kg, respectivamente. Deste modo, ao contrário da umidade relativa do ar, a umidade específica mostrou-se pouco variável no decorrer do dia, com valores relativamente elevados, independente do local considerado.

A exemplo da umidade específica do ar, a umidade absoluta do ar também não apresentou um padrão bem definido em relação a distribuição média horária, assim como, em relação à distribuição dos diversos ambientes observados (ANEXO A). Os valores médios, máximos e mínimos observados foram da ordem de 20,4 g/m³, 22,1g/m³ e 18,5 g/m³, respectivamente. A exemplo da umidade específica do ar, a sua variabilidade espacial e temporal também foi relativamente pequena, e com valores elevados em todos os locais amostrados.

4.2.1.10. NEBULOSIDADE

Por estar localizada em uma região do globo terrestre onde, além da disponibilidade anual da energia solar, a grande quantidade de umidade atmosférica é presente, a nebulosidade apresenta um valor médio anual bastante elevado (ANEXO B)

Apesar desta grande nebulosidade anual, observa-se também uma grande variabilidade diária deste valor. De uma maneira geral, a nebulosidade comporta-se da seguinte maneira: das 20:00 às 09:00 horas a porcentagem de nebulosidade é mínima, predominando o céu claro, em todos os pontos. A partir das 10:00 horas, com o aquecimento gradativo da superfície, os movimentos convectivos começam a se intensificar, e conseqüentemente, é quando ocorre a maior porcentagem de cobertura do céu, estendendo-se até aproximadamente as 18:00 horas, quando novamente tem início a diminuição da nebulosidade. Durante todo o período em questão, a nebulosidade observada foi de caráter predominantemente cumuliforme.

4.2.1.11. DIREÇÃO E VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO

Localizada na zona de influência do sistema de circulação dos ventos alísios, a cidade de Belém apresenta como direção predominante os ventos de Nordeste. Nos diferentes ambientes estudados, devido às características urbanas predominantes, a direção preferencial sofreu bruscas variações, principalmente associada à presença de grandes conjuntos de edificações, os quais proporcionam a canalização dos fluxos de ar, muitas vezes no sentido contrário àquela direção preferencial de grande escala.

Sendo assim, observou-se que os bairros mais urbanizados e localizados na região mais central da cidade, apresentaram direções totalmente aleatórias, variando em função da distribuição da estrutura urbana. Por outro lado, os bairros mais

periféricos, onde as construções apresentam-se quase que exclusivamente horizontais, a direção do vento aproxima-se mais daquela de grande escala (FIGURA 113).

Em relação à velocidade média do vento, pelo fato dela ter sido estimada parcialmente através da escala de Beaufort, onde a subjetividade pode acarretar um erro considerável, esta análise foi feita apenas com o objetivo de se ter uma aproximação mais qualitativa do que quantitativa. Outro fator importante a ser mencionado nesta fase da pesquisa foi a grande variabilidade causada na velocidade do vento devido a estrutura urbana, uma vez que, tais estimativas foram feitas ao nível do abrigo meteorológico, isto é, aproximadamente 1,50 metros.

Apesar das limitações mencionadas acima, pode-se determinar um padrão básico de velocidades do vento na área urbana de Belém, com as máximas velocidades ocorrendo nos bairros mais periféricos isentos de aglomerados de edificações elevadas e próximos a grandes corpos d'água, enquanto que as menores velocidades foram observadas nos bairros centrais, onde predominam as edificações elevadas e a maior porcentagem de arborização urbana.

Apesar desta aparente variabilidade diária entre os diversos pontos estudados, os seus valores médios estimados oscilaram entre um máximo de 2,5 m/s e um mínimo de 0,5 m/s.

No que se refere ao comportamento médio horário entre os diferentes locais observados, constatou-se que, basicamente, as maiores velocidades foram observadas no período diurno, sendo os menores valores observados no período noturno. Em termos absolutos, as menores velocidades foram observadas no intervalo que vai das 22:00 às 06:00 horas. Por outro lado, os maiores valores de velocidade do vento foram observados no período que vai das 10:00 às 18:00 horas, período este associado com a maior taxa de aquecimento da superfície e conseqüentemente, com a máxima taxa de movimentos convectivos, que induzem, por continuidade, a formação de correntes de ar horizontais.

4.2.1.12. CONDIÇÕES SINÓTICAS

ANÁLISE DO DIA 23/10/95 (0900 e 1800 UTC)

A imagem das 0900 UTC (FIGURA 114), mostrou alguma nebulosidade convectiva no norte do Brasil, Oeste da Amazônia e Oeste do Nordeste Brasileiro. A nebulosidade sobre o Nordeste Brasileiro está associada a presença de um Sistema Frontal, de pequena intensidade, posicionado sobre o Sul do Estado da Bahia. No decorrer do período, às 1800UTC (FIGURA 115), observou-se o aumento da nebulosidade convectiva sobre o Nordeste Brasileiro e em pontos isolados sobre a Região Amazônica. Sabe-se que, com a penetração de sistemas frontais até baixas latitudes, provenientes do Sul do país, organiza-se a convecção sobre a Bacia Amazônica em forma de faixas de nebulosidade convectiva. Portanto, a atividade observada sobre a Amazônia deve estar associada ao sistema frontal posicionado sobre o Nordeste Brasileiro e ao ciclo diurno. Em ambos os horários, 0900 e 1800 UTC, percebe-se uma massa polar no extremo sul do continente.

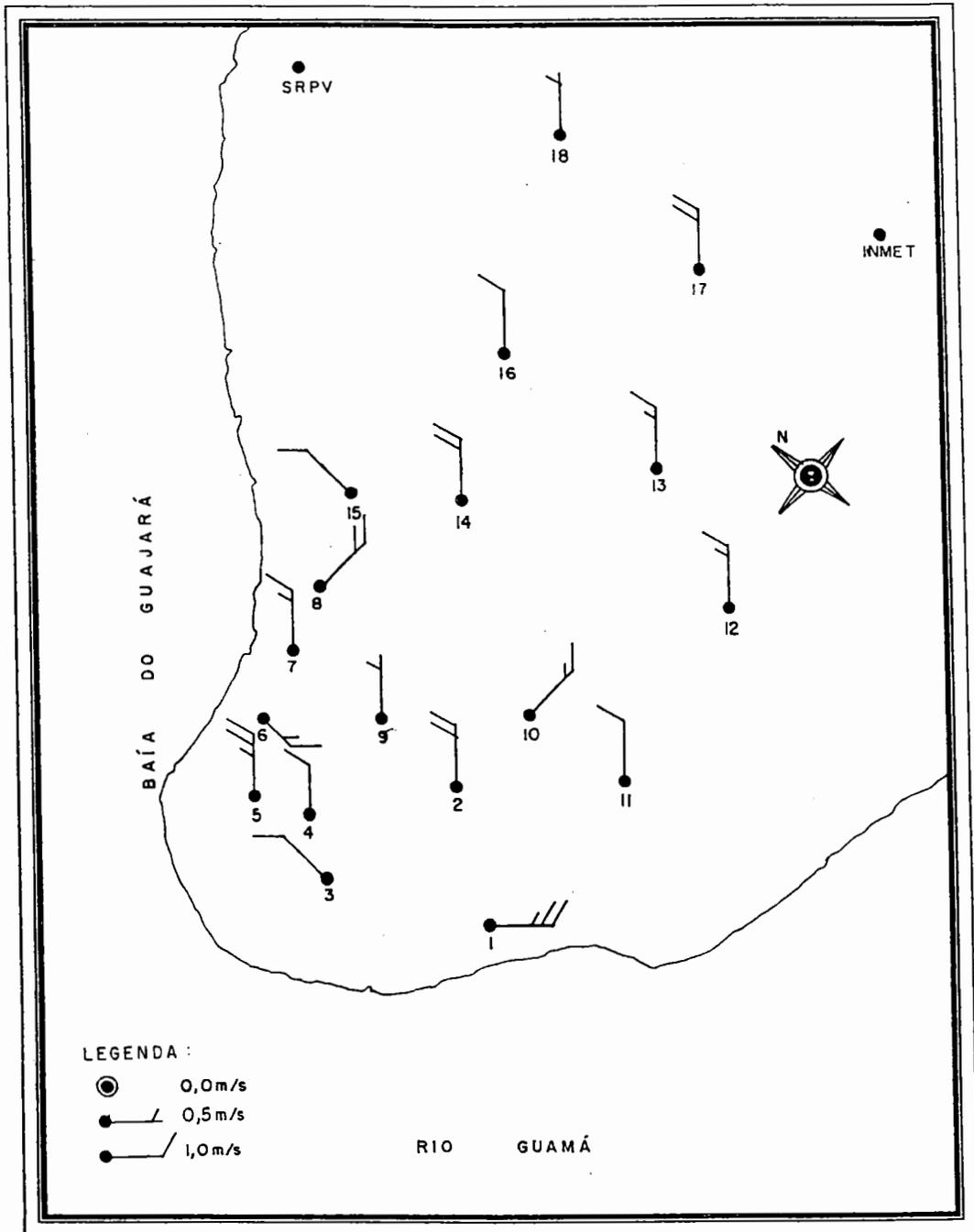


FIGURA 113 - Distribuição média diária da direção e velocidade do vento durante a primeira fase experimental.



FIGURA 114 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 23/10/1995 às 0090 UTC.



FIGURA 115 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 23/10/1995 às 1800 UTC.

ANÁLISE DO DIA 24/10/95 (1200 e 1800 UTC)

As 1200 UTC ((FIGURA 116) observou-se a dissipação do sistema frontal, que se deslocava em direção ao Oceano Atlântico. Este sistema está posicionado sobre o sul do Estado da Bahia, influenciando as condições de tempo, naquela região .

Sobre a região central do Brasil e da Amazônia observa-se aglomerados de cumulus e cumulonimbus isolados.

As 1800 UTC (FIGURA 117) a atividade convectiva associada a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) está muito ao Norte do Equador, e não deve influenciar as condições meteorológicas na costa Norte do Brasil.

ANÁLISE DO DIA 25/10/95 (0900 e 1800 UTC)

O sistema frontal que no dia 24/10/95 se encontrava sobre a Argentina, apresentou um rápido deslocamento e já se encontra sobre o Sul do Brasil. Já o sistema que se encontrava sobre o Sul do Estado da Bahia dissipou completamente.

No horário das 0900 UTC (FIGURA 118) é possível identificar um aglomerado convectivo, próximo a região de Belém. Na imagem das 1800 UTC (FIGURA 119) surgem células de cumulonimbus sobre o Brasil central, certamente associadas ao aquecimento local da superfície.

A área de atividade convectiva associada a ZCIT apresenta maior intensidade que no dia anterior.

ANÁLISE DO DIA 26/10/95 (1200 e 1800 UTC)

Nesta imagem observa-se que às 1200 UTC (FIGURA 120) a ZCIT é pouco definida sobre o Oceano Atlântico, apresentando-se deslocada ao Norte do Equador. Não há sistemas convectivos intensos sobre Belém no referido horário. Observa-se também um Sistema Frontal posicionado no Sul do país ocasionando instabilidade sobre aquela região.

Através da imagem das 1800 UTC (FIGURA 121) verifica-se a presença de cumulonimbus isolados sobre a região Norte e Centro Oeste. A Ilha do Marajó apresenta intensificação nas atividades convectivas, com a presença de alguns aglomerados de nuvens sobre a região.

ANÁLISE DO DIA 27/10/95 (1200 UTC)

Toda a região Sul do Brasil encontra-se sob a influência do sistema frontal relatado no dia anterior, sendo o seu deslocamento lento. Observa-se também uma extensa cobertura de nuvens sobre a Amazônia Ocidental.



FIGURA 116 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 24/10/1995 às 1200 UTC.

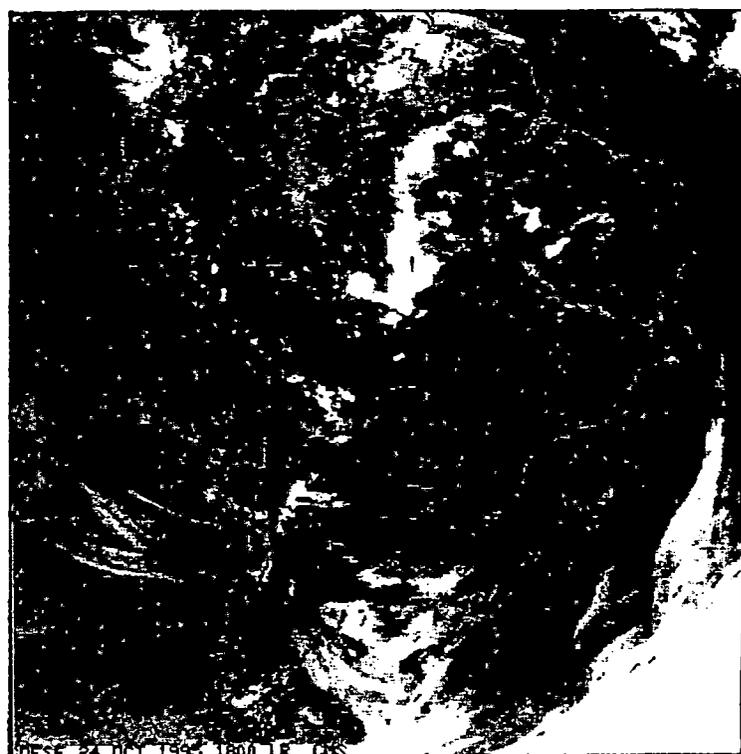


FIGURA 117 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 24/10/1995 às 1800 UTC.



FIGURA 118 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 25/10/1995 às 0900 UTC.



FIGURA 119 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 25/10/1995 às 1800 UTC.



FIGURA 120- Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 26/10/1995 às 1200 UTC.

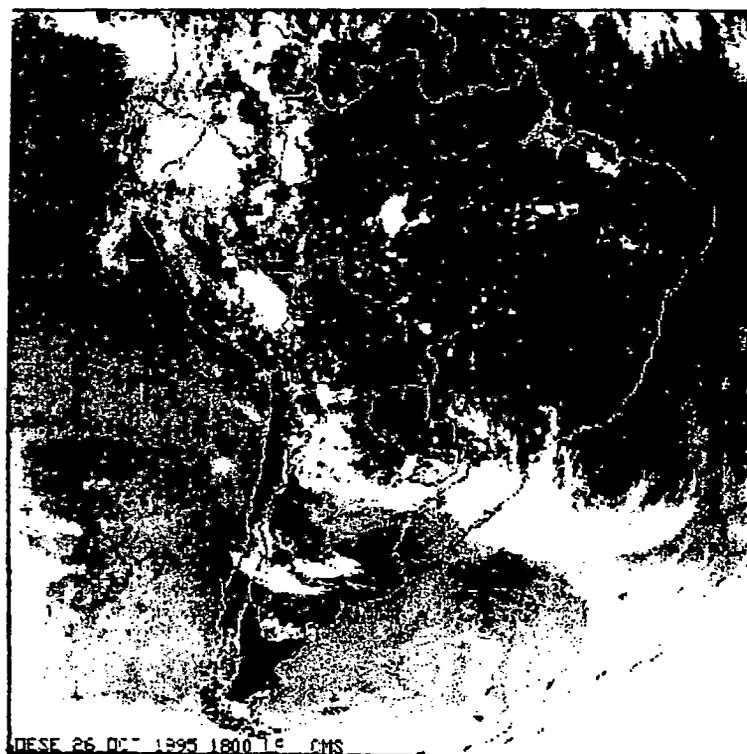


FIGURA 121 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 26/10/1995 às 1800 UTC.

Pequenas áreas convectivas sobre o Oceano Atlântico Norte, indicam a presença da ZCIT bastante enfraquecida (climatologicamente neste período do ano a ZCIT ainda se encontra no Hemisfério Norte), sem influenciar as condições de tempo sobre a região Norte do Brasil. Na região de Belém a nebulosidade é pequena e constituída basicamente por nuvens baixas (FIGURA 122).

Vale ressaltar que neste dia, em Belém, foi observada precipitação do tipo convectiva, com ocorrência de descargas elétricas e trovoada, embora a imagem de satélite disponível não mostre nenhum sistema produtor desse tipo de tempo. Como a precipitação pluviométrica mencionada acima ocorreu por volta das 14:00 horas local, acredita-se que tal fenômeno esteja associado, basicamente, ao aquecimento local muito comum nessa região.

ANÁLISE DO DIA 28/10/95 (0900 e 1800 UTC)

Estas imagens mostram uma extensa faixa de nebulosidade associada ao sistema frontal que se estende do Atlântico Sul até a região Sudeste do Brasil.

As 0900 UTC (FIGURA 123) a ZCIT não está bem definida sobre o Atlântico Norte, estando a parte ocidental da Amazônica encoberta. As 1800 UTC (FIGURA 124) nota-se um aumento considerável na nebulosidade, associada a ZCIT. Estas imagens mostram uma extensa faixa de nebulosidade associada ao sistema frontal que se estende do Atlântico Sul até a região Sudeste do Brasil. Nesse horário observa-se também uma intensificação deste sistema, que se desloca em direção ao Oceano Atlântico, aumentando a nebulosidade na região Sul e Sudeste do Brasil.

As 1800 UTC a região central do Brasil e da Amazônia experimentam um considerável aumento de células convectivas, o que pode estar relacionado ao ciclo diurno e a uma possível instabilidade gerada pelo Sistema Frontal.

ANÁLISE DO DIA 29/11/95 (0900 e 1200 UTC)

Na imagem das 0900 UTC (FIGURA 125) podemos observar o sistema frontal localizado sobre a região Sudeste do Brasil, acompanhado de uma grande área de nebulosidade com orientação NW/SE. Observa-se uma área de forte convergência na parte central do Brasil e na Região Amazônica, caracterizada pela presença de grande nebulosidade. Existem nuvens baixas no Norte e Nordeste do Brasil.

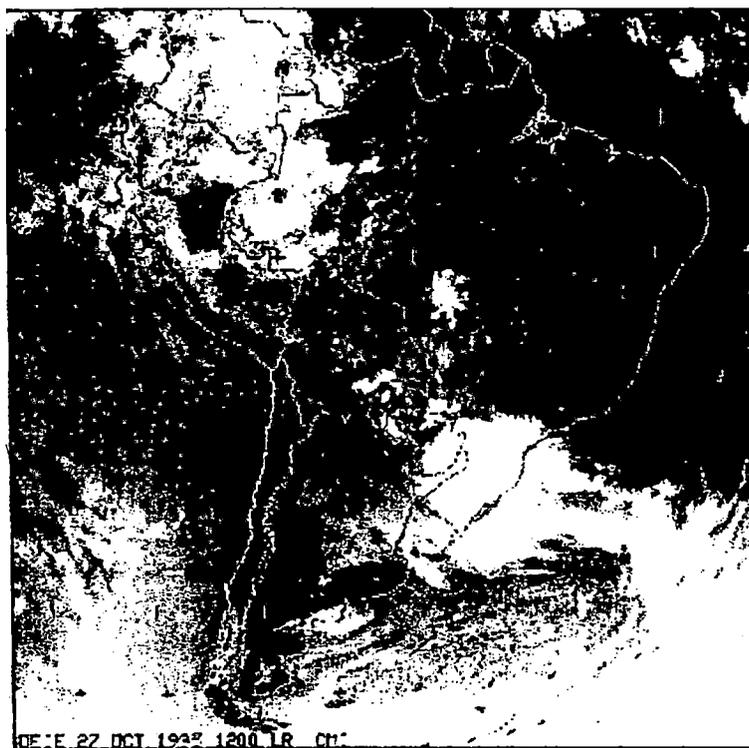


FIGURA 122 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 27/10/1995 às 1200 UTC.

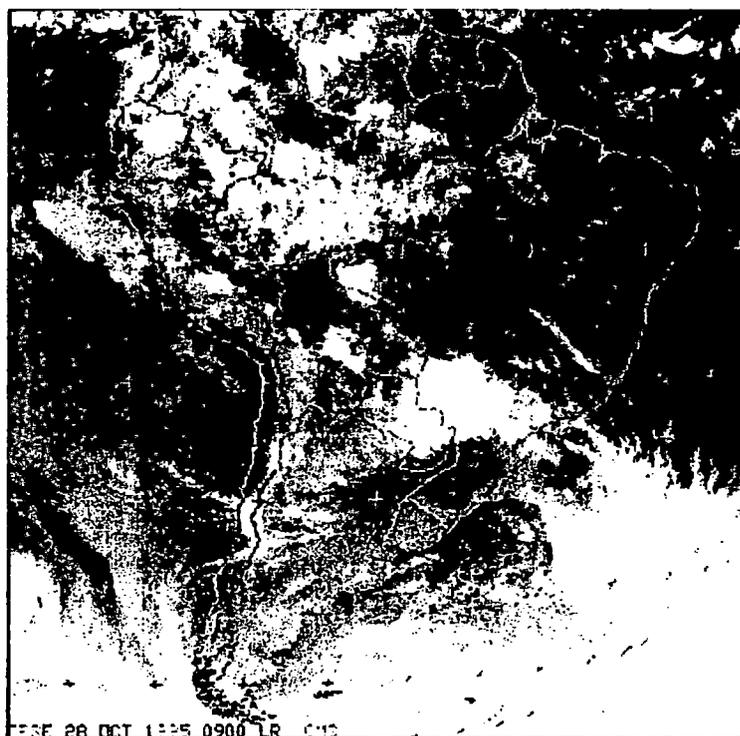


FIGURA 123 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 28/10/1995 às 0900 UTC.

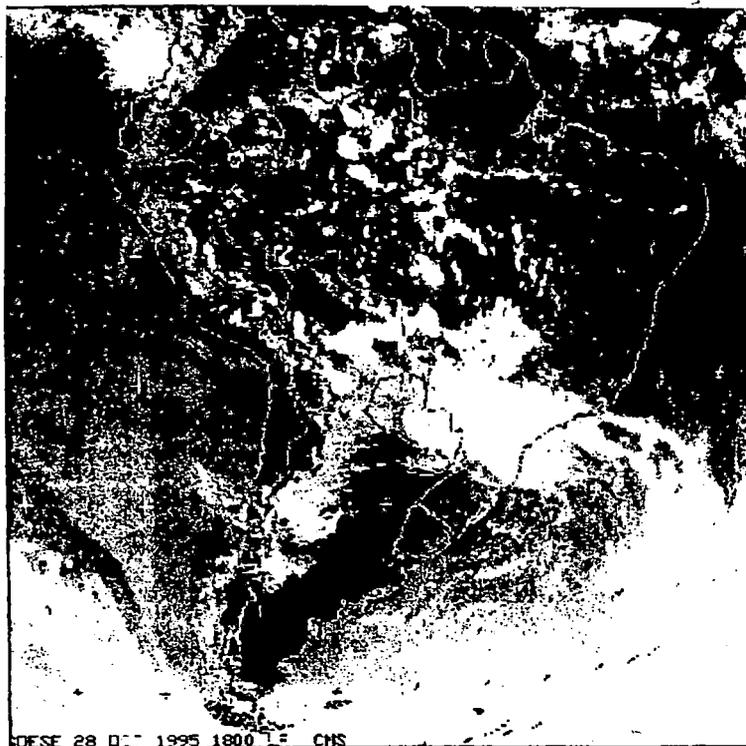


FIGURA 124 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 28/10/1995 às 0900 UTC.

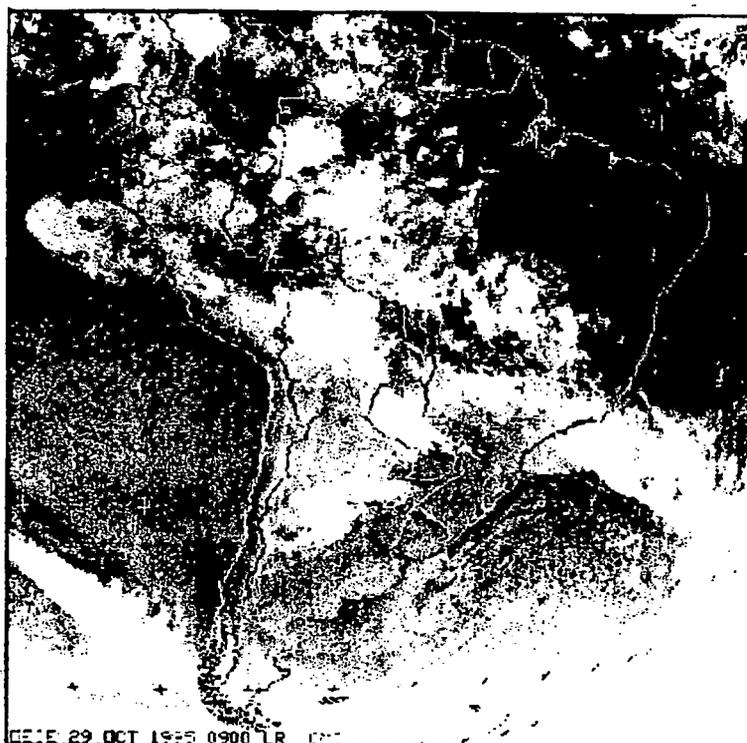


FIGURA 125 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 28/10/1995 às 1800 UTC.

O Sistema Frontal sofre uma ligeira desintensificação sobre o continente, estando sua parte mais ativa localizada sobre o Oceano Atlântico no horário das 1200 UTC (FIGURA 126).

Observa-se também, nos dois horários, sobre o Oceano Atlântico Norte, atividades convectivas associadas a ZCIT, sendo que no horário das 0900 UTC esta atividade é mais intensa e parece influenciar as condições meteorológicas da costa Norte do Nordeste do Brasil.

Durante o período analisado tivemos a penetração de dois sistemas frontais, o primeiro no início do experimento, no dia 23/10/1995, o qual alcançou menores latitudes. O segundo no dia 25/10/1995, menos intenso que o primeiro.

A zona de Convergência Intertropical esteve presente durante todo o período, sobre o Oceano Atlântico Norte, tendo a sua atividade convectiva variado de moderada a fraca, não influenciando diretamente as condições meteorológicas da região de estudo.

A precipitação pluviométrica ocorrida no dia 27/11/95 parece estar associada, possivelmente, às atividades convectivas locais, muito intensa nesta época do ano.

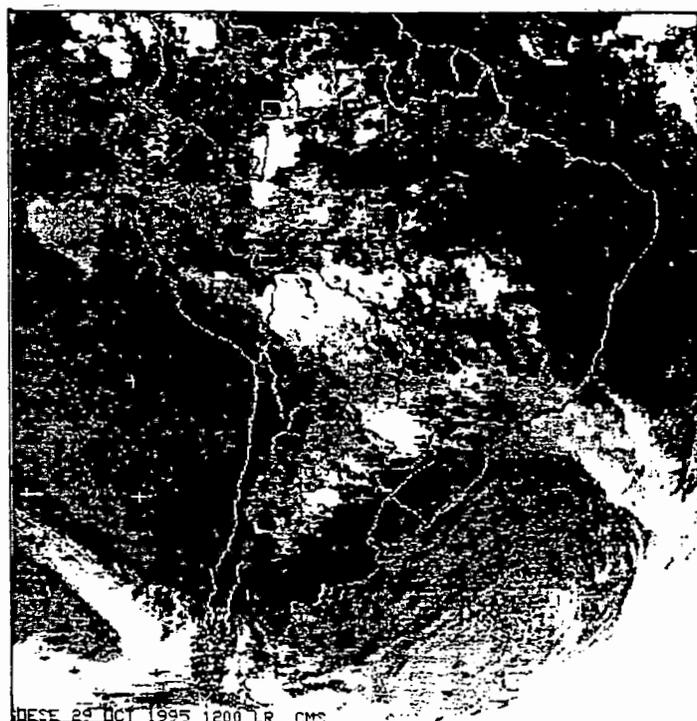


FIGURA 126 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/10/1995 às 0900 UTC.

4.2.2. SEGUNDA FASE EXPERIMENTAL

4.2.2.1. TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA MÉDIA HORÁRIA DO AR

A segunda fase experimental foi realizada no período de 26 a 29 de fevereiro de 1996, no período chuvoso da Região, onde foram realizadas observações meteorológicas em 12 locais distintos. A temperatura média horária do ar apresentou, em todos os locais, um comportamento bastante peculiar daquela estação, isto é, sofreu um aumento gradativo desde as primeiras horas da manhã até atingir um máximo, que oscilou entre 12:00 e 13:00 horas, sofrendo em seguida um declínio acentuado devido a ocorrência de precipitação pluviométrica, que em muitos casos, proporcionou uma queda da ordem de 10,0°C, dependendo da intensidade e duração do evento. Este declínio manteve-se até as primeiras horas da manhã, com valores mínimos por volta das 06:00 horas, basicamente em todos os locais (FIGURA 127 a 138).

Em relação a umidade relativa do ar, esta apresentou um padrão bem definido, sendo bastante elevado durante todo o dia, embora os menores valores tenham sido atingidos no intervalo que vai das 11:00 às 13:00 horas, onde a partir daí sofreram um considerável aumento, devido principalmente, às condições de precipitação pluviométrica. Os valores mais elevados ocorrem durante a madrugada, persistindo até as primeiras horas do dia (FIGURAS 127 a 138). Devido às características climatológicas persistentes durante essa época do ano, os valores médios diários de umidade relativa do ar foram bastante elevados na área urbana de Belém, oscilando entre um mínimo de 85% no bairro da Condor até um máximo de 91% no bairro do Curió-Utinga. Durante essa fase as amplitudes médias diárias foram relativamente menores, quando comparadas com àquelas da fase anterior, tendo os valores mínimos absolutos alcançado 55%, durante as horas mais quentes do dia e em bairros desprovidos de arborização e com intensa atividade urbana.

4.2.2.2 TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DO AR

Em relação aos valores das temperaturas médias diárias observadas nos diversos locais amostrados, esses apresentaram pequenas variações, devido aos efeitos amenizantes da umidade atmosférica, apesar das grandes diferenças encontradas na tipologia de uso e ocupação do ambiente urbano estudado. Durante essa fase foi observado que os maiores valores médios ocorreram nos bairros mais afastados, com características de cobertura vegetal deficiente e edificações basicamente horizontais, ao passo que os menores continuaram a ocorrer nos locais periféricos e providos de grande arborização. O máximo valor de temperatura média diária foi de 27,3°C, encontrado no bairro do Souza, enquanto que o mínimo foi de 26,2°C, observado no bairro do Umarizal, localizado em uma praça com razoável porcentagem de arborização (FIGURA 139).

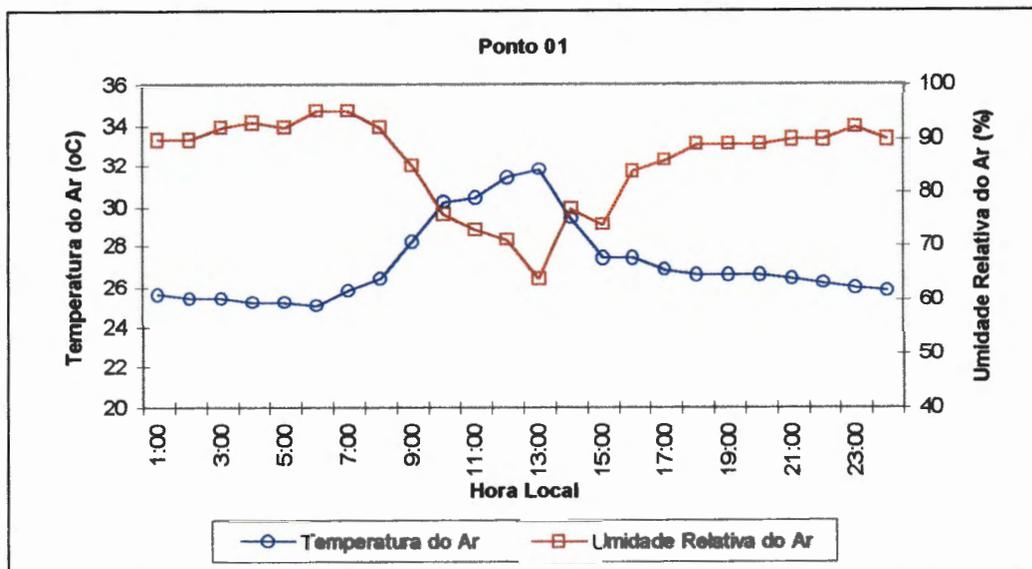


FIGURA 127 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Condor)

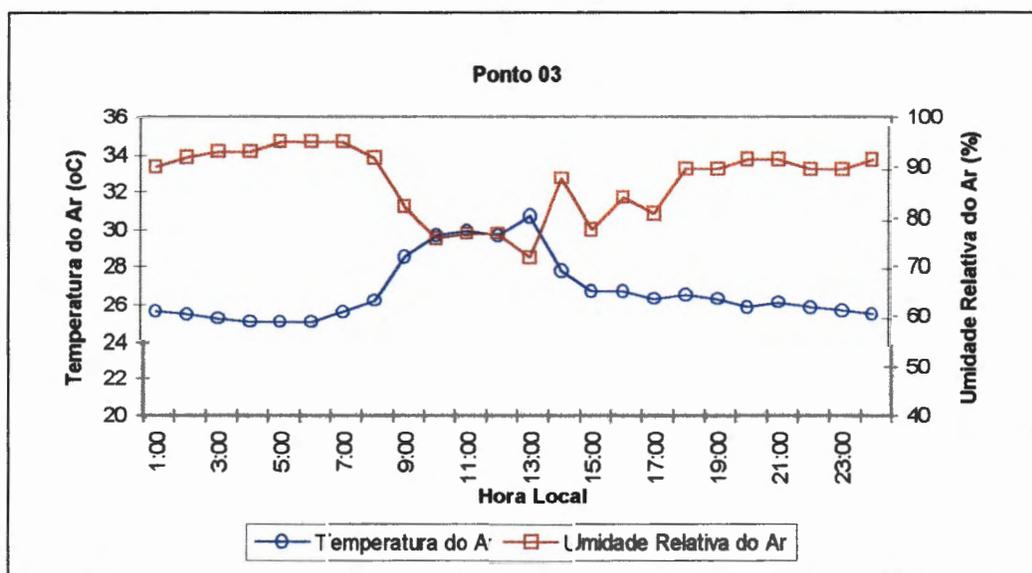


FIGURA 128 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Jurunas I)

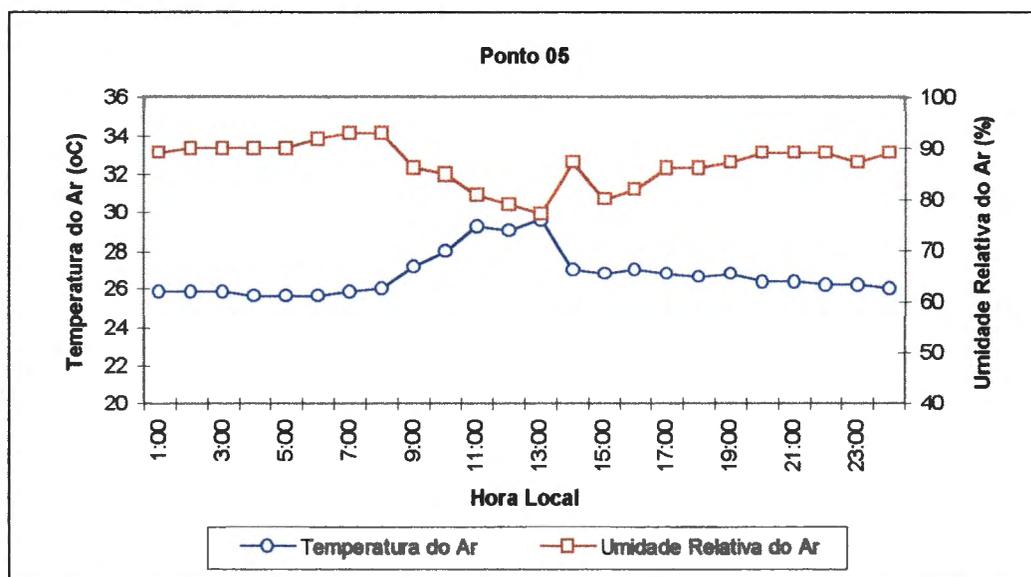


FIGURA 129 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Campina)

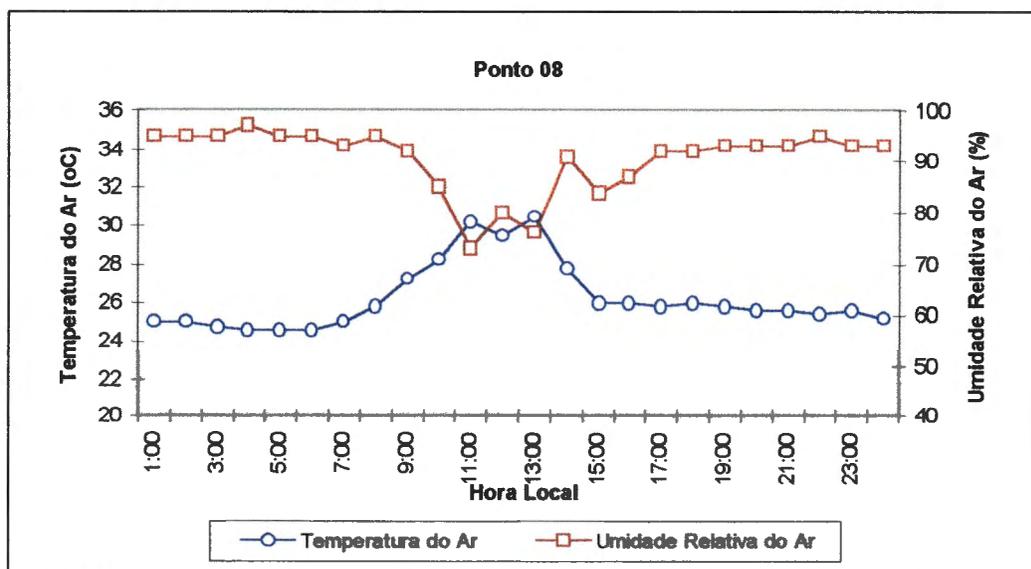


FIGURA 130 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Umarizal)

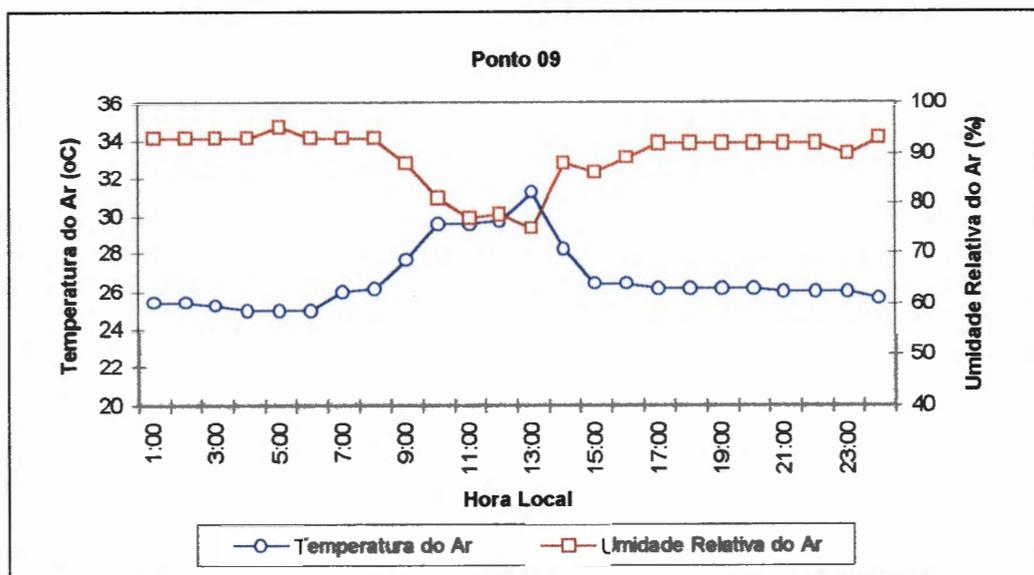


FIGURA 131- Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro de Nazaré)

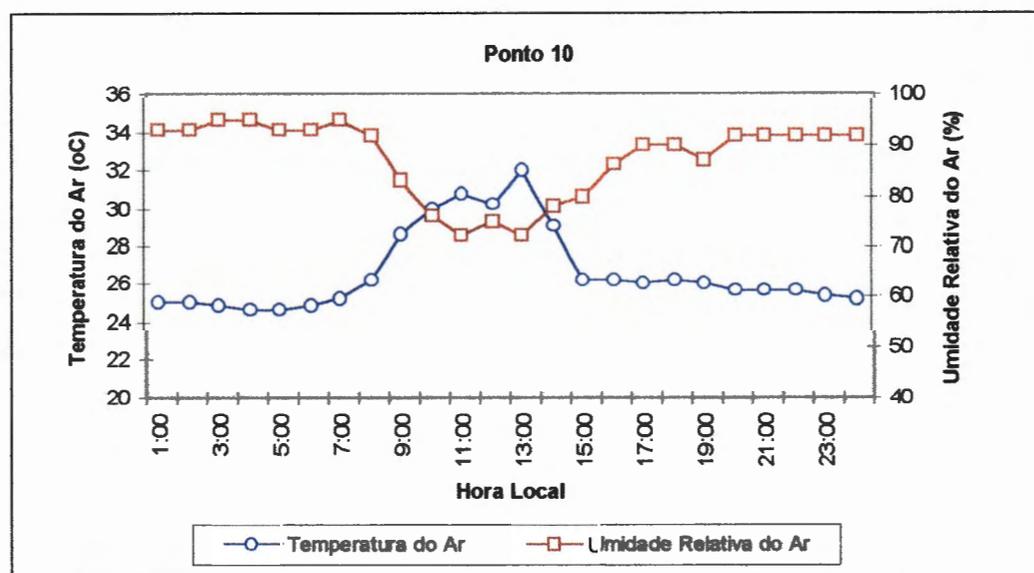


FIGURA 132 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro de São Brás)

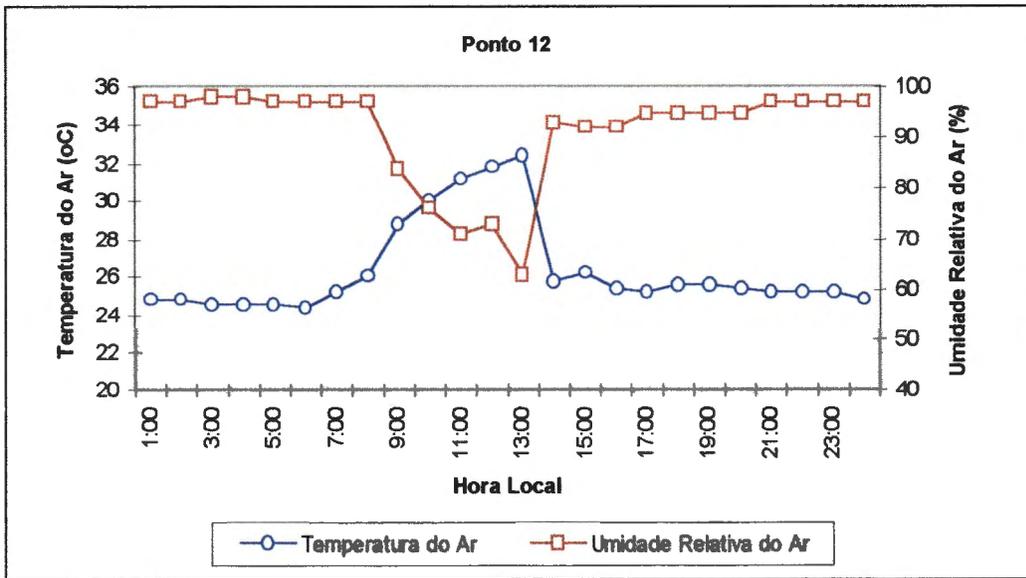


FIGURA 133 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Terra Firme)

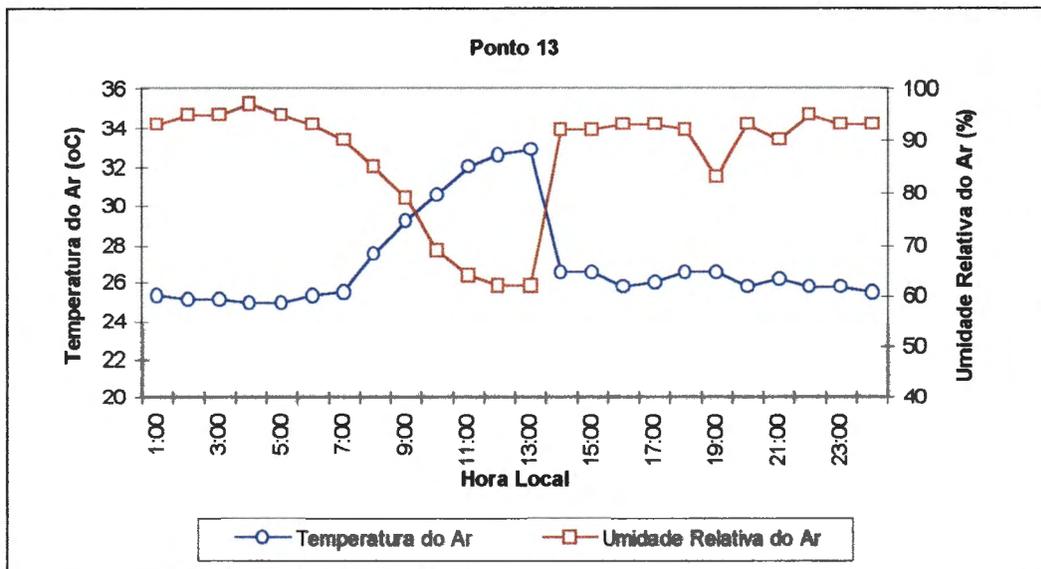


FIGURA 134 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Marco)

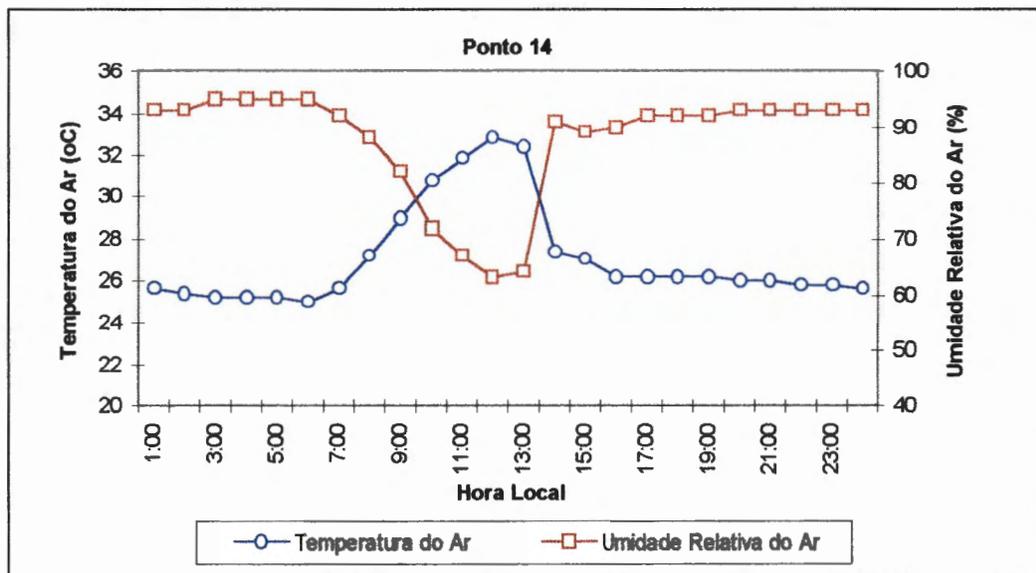


FIGURA 135 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Pedreira)

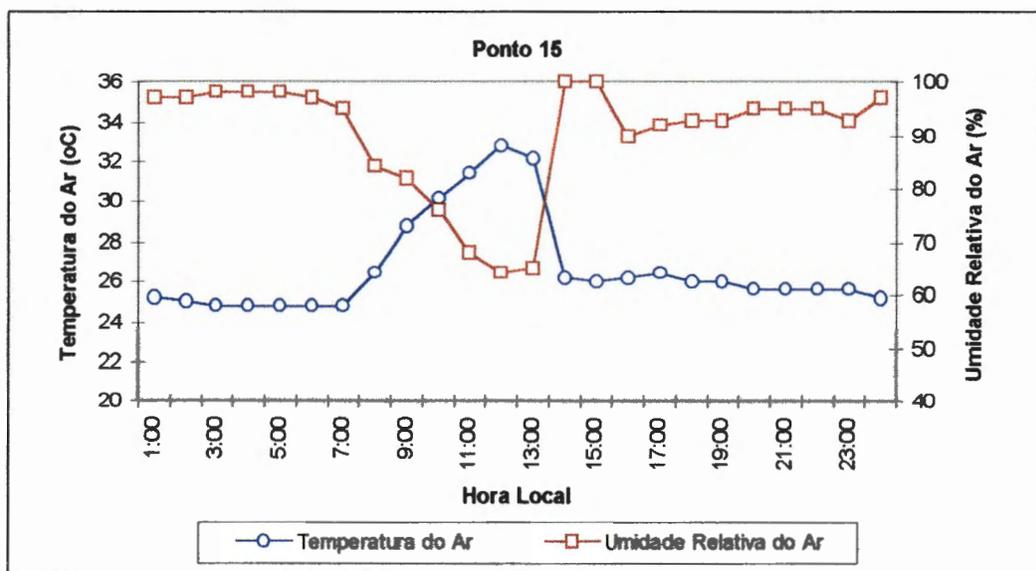


FIGURA 136 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Telégrafo)

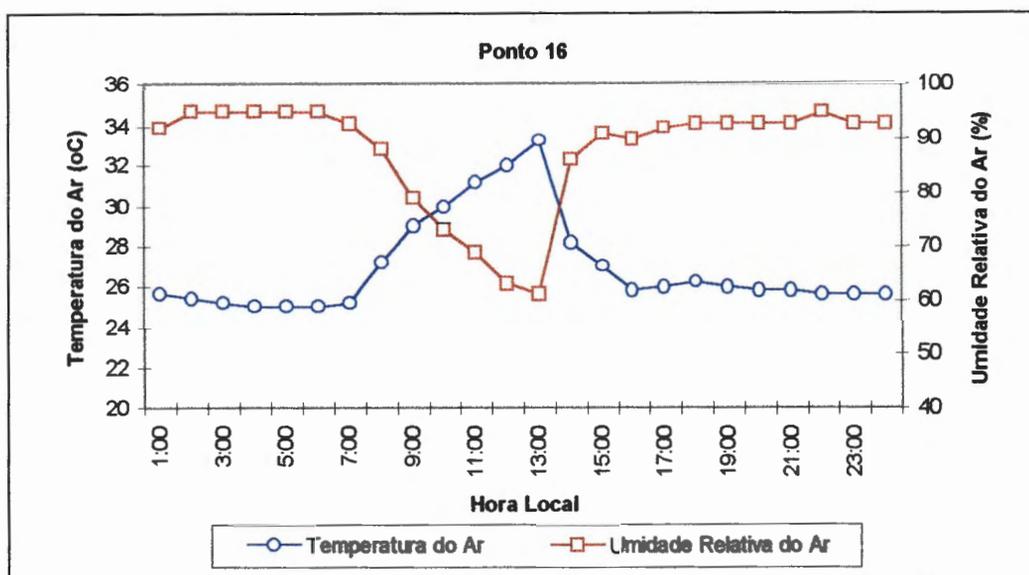


FIGURA 137 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Sacramento)

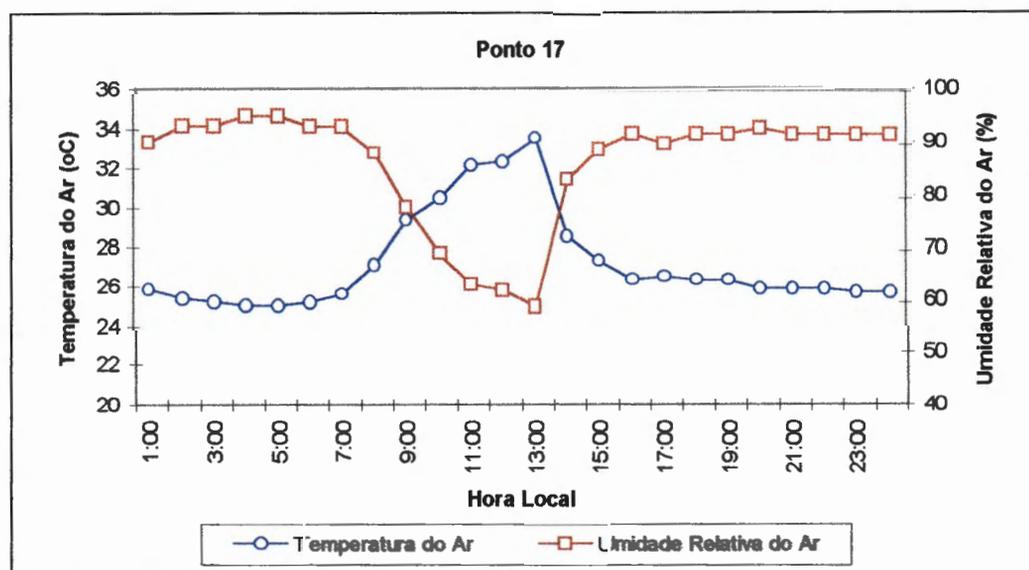


FIGURA 138 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Souza)

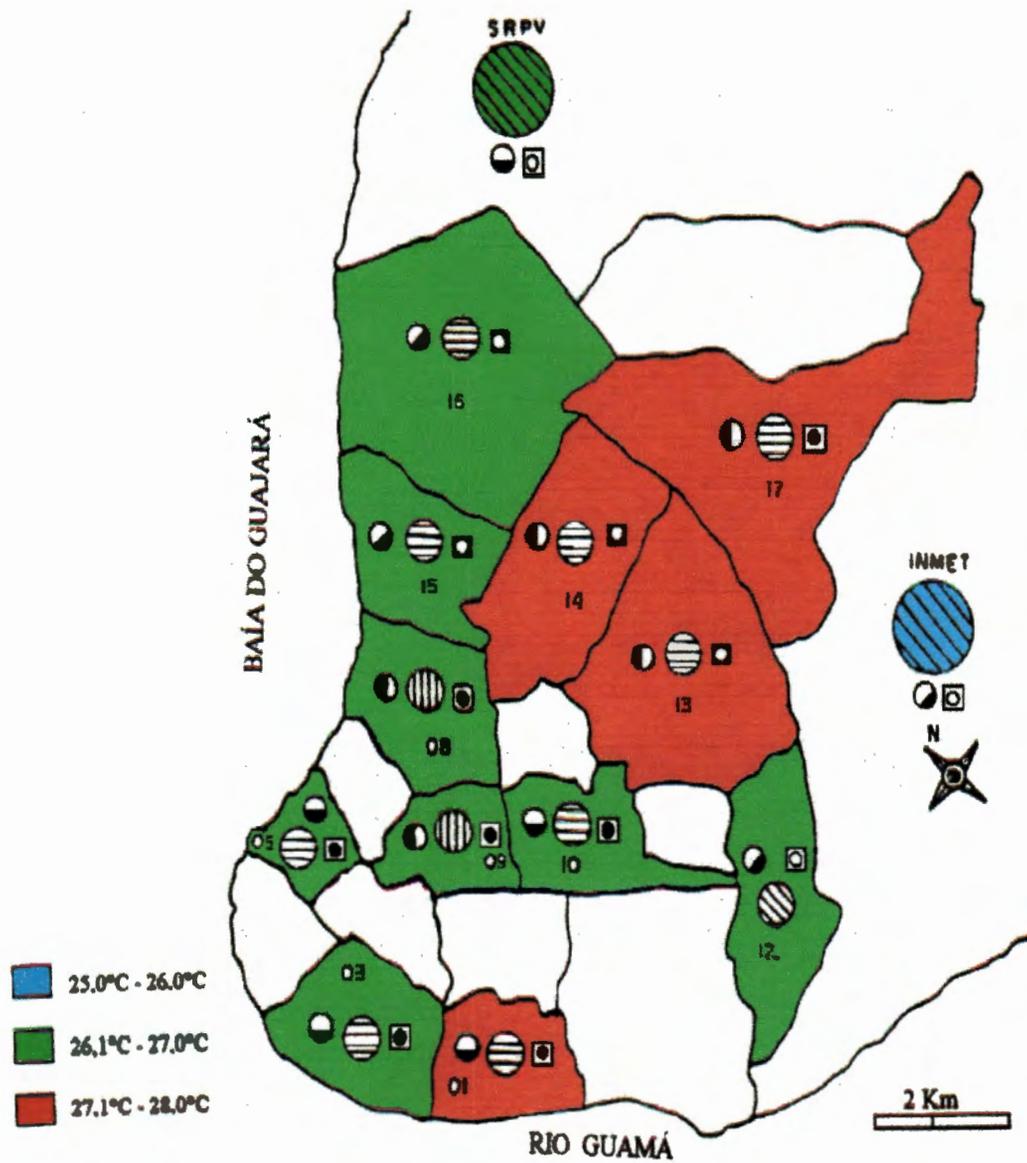
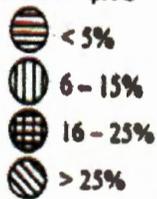
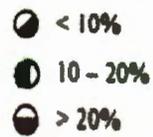
**VEGETAÇÃO****CALÇAMENTO****EDIFICAÇÕES**

FIGURA 139 Distribuição da temperatura média do ar - Fase II

4.2.2.3. TEMPERATURA MÁXIMA DIÁRIA DO AR

Em relação às temperaturas máximas do ar, estas apresentaram diferenças relativamente maiores quando comparadas com aquelas da primeira fase experimental. De uma forma geral, os maiores valores ocorreram nos bairros mais periféricos, tais como, Terra Firme, Marco, Souza, Pedreira, Telégrafo e Sacramento, enquanto que os menores valores foram observados justamente nos bairros mais intensamente urbanizados, tais como, Campina e Umarizal. Nesse caso, elas variaram desde um máximo absoluto de 33,6°C, verificado no bairro do Souza, bairro este caracterizado por apresentar mínima porcentagem de arborização urbana e grande atividade antrópicas, até um mínimo de 29,6°C, verificado no bairro da Campina, também caracterizado por apresentar mínima porcentagem de arborização e intensa atividade antrópica. Este comportamento anômalo das temperaturas máximas, certamente está diretamente relacionado com a distribuição diária da nebulosidade sobre os diferentes partes da cidade, uma vez que o bairro da Campina fica localizado às margens da Baía do Guajará, apresentando sempre grande porcentagem de cobertura de nuvens nessa época do ano (FIGURA 140).

4.2.2.4. TEMPERATURA MÍNIMA DIÁRIA DO AR

Em relação às temperaturas mínimas observadas durante esta fase experimental, elas variaram de um máximo de 25,6°C, verificado no bairro do Campina, bairro este tipicamente horizontal e com mínima porcentagem de arborização urbana, até um valor mínimo de 24,4°C no bairro da Terra Firme, onde predomina a grande porcentagem de arborização e pequena urbanização. De um modo geral, a maioria dos bairros apresentaram valores muito próximos, e oscilando entre 24,6°C e 25,0°C (FIGURA 141).

4.2.2.5. AMPLITUDE TÉRMICA

As amplitudes térmicas durante esta fase da pesquisa sofreram variações bem menores que àquelas observadas na primeira fase, sendo o valor máximo de 8,6°C, observado no bairro do Souza, enquanto que a mínima foi de 4,0°C, verificada no bairro da Campina. Esse comportamento relativamente anômalo, certamente está associado com a grande nebulosidade diária naquela época do ano nessa Região, o que contribui, não somente para o menor aquecimento diurno da superfície, como também para a intensificação do “efeito estufa” noturno, uma vez que, a grande porcentagem de cobertura do céu, dificulta as perdas radiativas noturnas.

Os valores diários das temperaturas médias, máximas e mínimas, assim como, do desvio padrão, coeficiente de variação e amplitudes térmicas dos diferentes ambientes estudados são apresentados na TABELA 04.

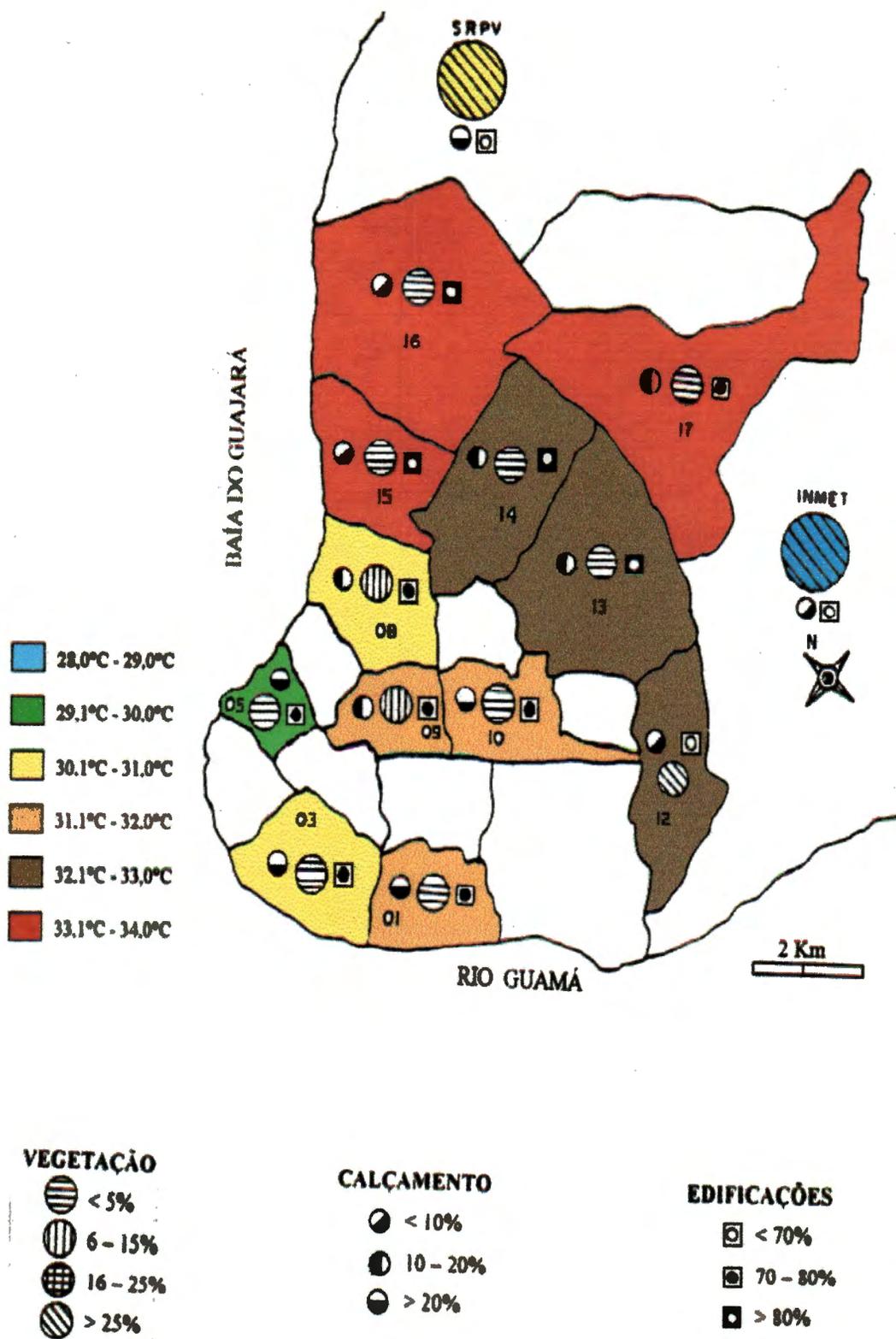


FIGURA 140 - Distribuição da temperatura máxima diária do ar - Fase II

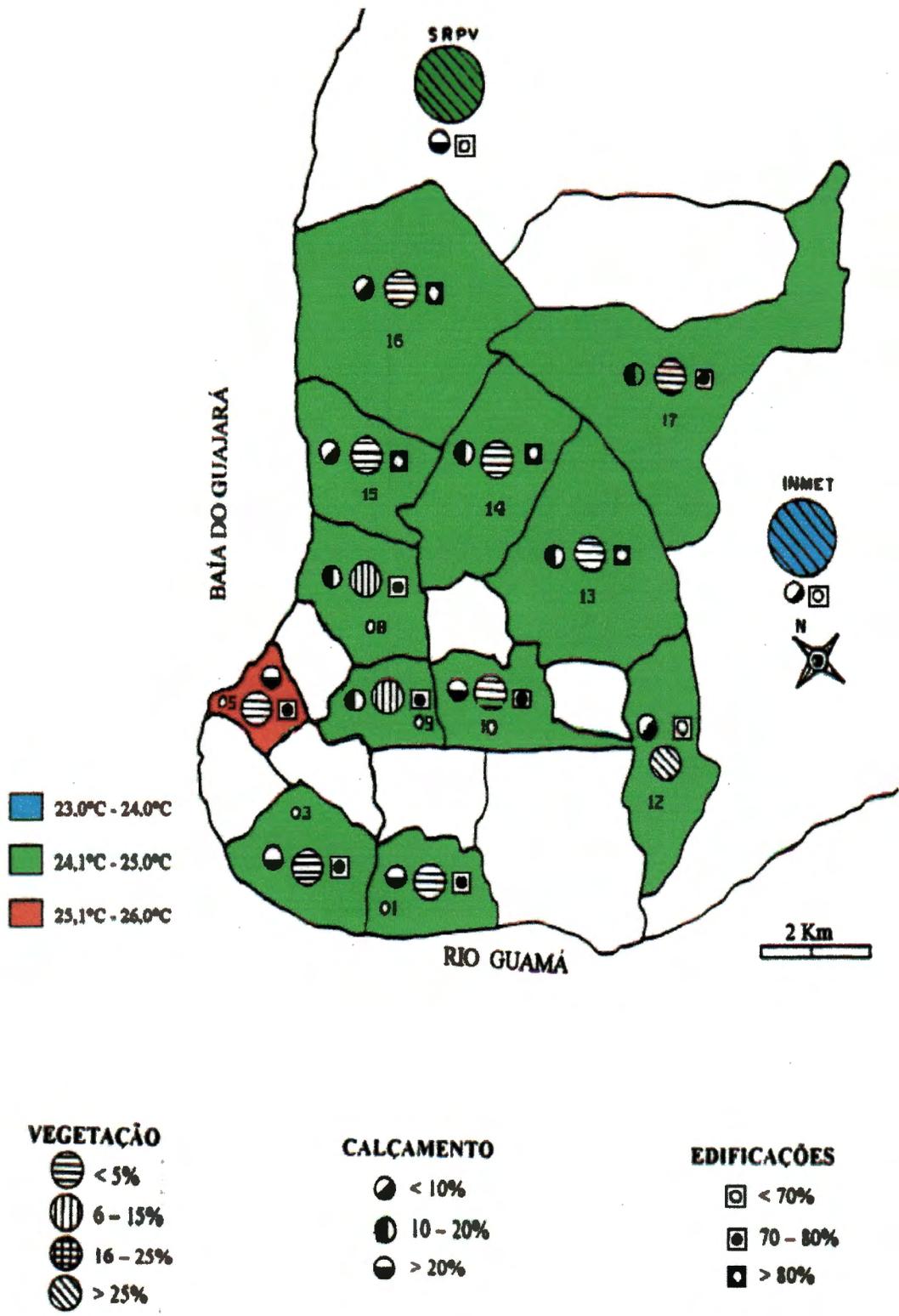


FIGURA 141 - Distribuição da temperatura mínima diária do ar - Fase II

TABELA 04 - Valores médios diários da temperatura do ar - Fase II

Ponto	Temperatura média do ar (°C)	Desvio Padrão (%)	Coefficiente de Variação (%)	Temperatura máxima do ar (°C)	Temperatura mínima do ar (°C)	Amplitude Térmica (°C)
01	27.1	2.0	7.4	31.8	25.0	6.8
03	26.8	1.7	6.3	30.8	25.0	5.8
05	26.8	1.2	4.5	29.6	25.6	4.0
08	26.2	1.7	6.5	30.4	24.6	5.8
09	26.7	1.7	6.4	31.2	25.0	6.2
10	26.6	2.7	10.2	32.0	24.6	7.4
12	26.4	2.5	9.5	32.4	24.4	8.0
13	27.1	2.5	9.2	32.8	25.0	7.8
14	27.1	2.4	8.9	32.8	25.0	7.8
15	26.7	2.5	9.4	33.2	24.8	8.4
16	26.9	2.3	8.6	33.2	25.0	8.2
17	27.3	2.5	9.2	33.6	25.0	8.6
SRPV	26.4	2.0	7.6	30.9	24.0	6.9
INMET	25.2	1.8	7.1	28.5	23.1	5.4

4.2.2.6. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA DO AR

01:00 às 03:00 horas

Nesse horário as temperaturas apresentaram-se relativamente baixas, com os menores valores, da ordem de 24,0°C, ocorrendo nos bairros mais periféricos da cidade, onde a pequena verticalização associada com a proximidade de grandes massas verdes proporciona um maior resfriamento noturno. Observa-se no centro comercial da cidade um pequeno núcleo com temperatura máxima da ordem de 26,0°C, associado, certamente, com a ausência de arborização e o grande acúmulo diário de energia por parte da estrutura urbana (FIGURA 142).

04:00 às 06:00 horas

Nesse horário a distribuição térmica espacial mantém basicamente o mesmo padrão verificado nas horas anteriores, embora as temperaturas tenham alcançado os menores valores do dia. Os bairros periféricos ainda apresentam os menores valores, com média de 23,5°C, enquanto que os maiores, da ordem de 25,5°C, ocorrem no bairro comercial. Apesar deste relativo resfriamento, os bairros mais verticalizados ainda apresentam temperaturas mínimas superiores aos demais bairros (FIGURA 143).

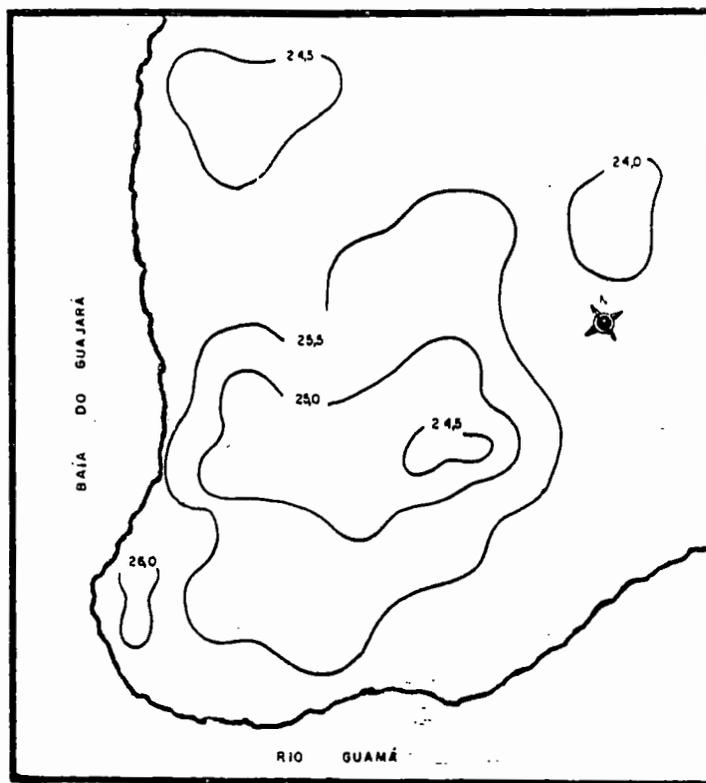


FIGURA 142 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 01:00 às 03:00 horas, durante a segunda fase experimental.

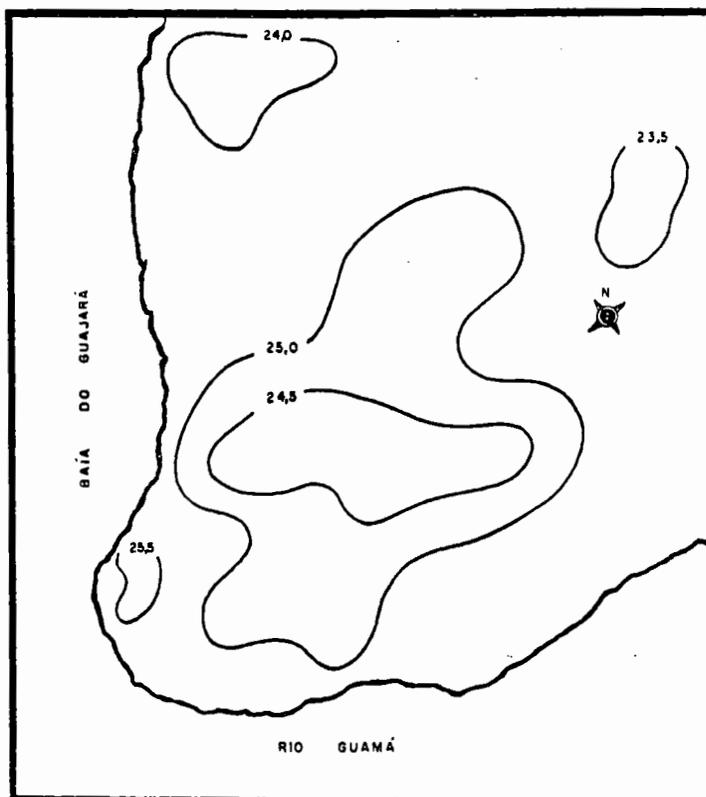


FIGURA 143 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 04:00 às 06:00 horas, durante a segunda fase experimental.

07:00 às 09:00 horas

Nesse horário, como efeito do primeiro aquecimento solar, a temperatura começa a sofrer elevação nos diferentes bairros, sendo notado, entretanto, que nos bairros menos arborizados, as temperaturas alcançam os maiores valores, com média de 27,0°C (FIGURA 144).

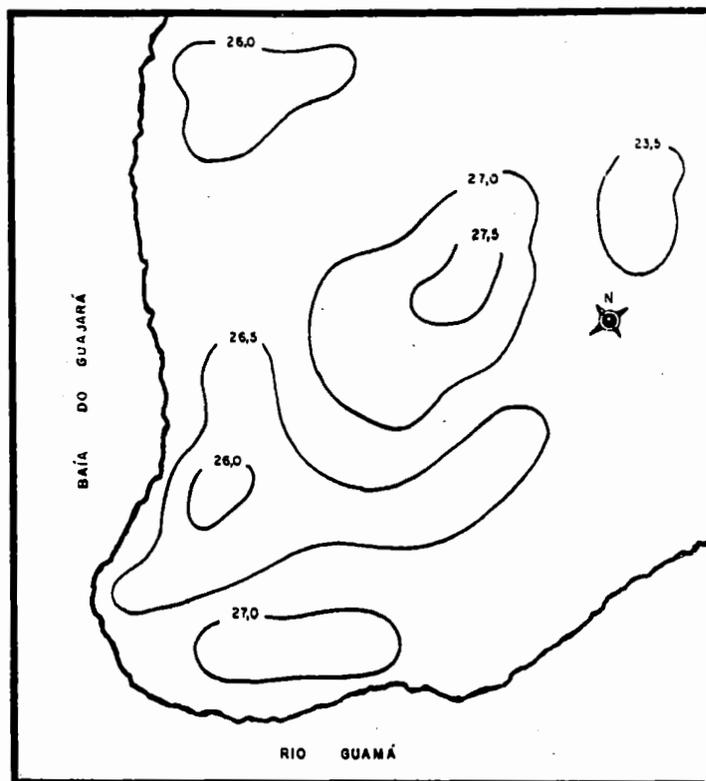


FIGURA 144 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 07:00 às 09:00 horas, durante a segunda fase experimental.

10:00 às 12:00 horas

Neste horário já é verificado grande aquecimento em todos os bairros, sendo que os bairros centrais já apresentam aquecimento diferenciado, sendo este maior que os bairros periféricos, e atingindo valores da ordem de 32,0°C. Observa-se a formação de alguns núcleos de baixas temperaturas, variando em função da arborização e da estrutura urbana, e com valores da ordem de 28,5°C. Nesse horário o ambiente rural apresenta temperatura sensivelmente inferior, com média de 26,5°C (FIGURA 145).

13:00 às 15:00 horas

Nesse horário as temperaturas apresentam-se relativamente bem distribuídas em todos os bairros, não sendo destacado nenhum núcleo com temperaturas superiores a 1,5°C. Esta relativa homogeneidade deve-se, certamente, aos efeitos das precipitações pluviométricas que tem sua máxima atividade justamente nesse intervalo de tempo (FIGURA 146).

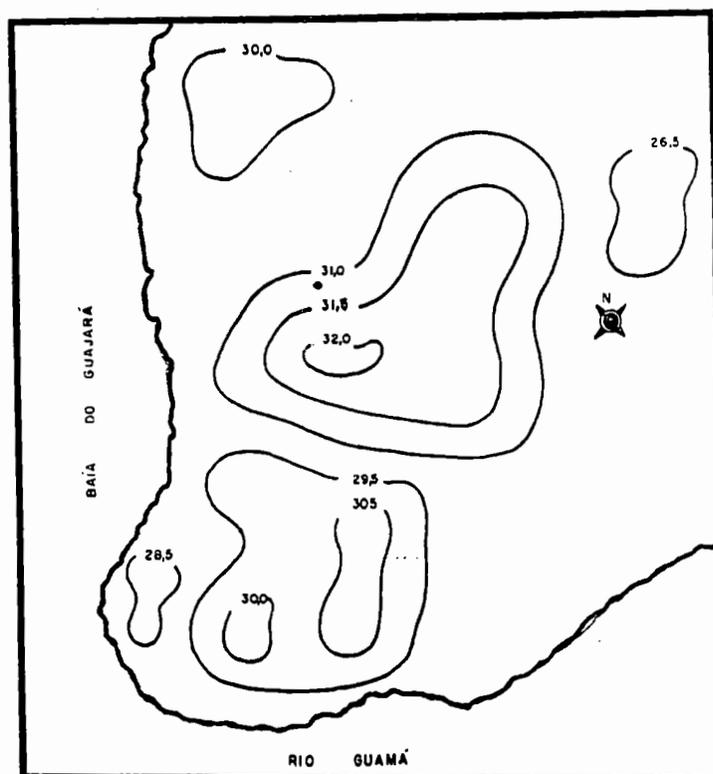


FIGURA 145 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 10:00 às 12:00 horas, durante a segunda fase experimental.

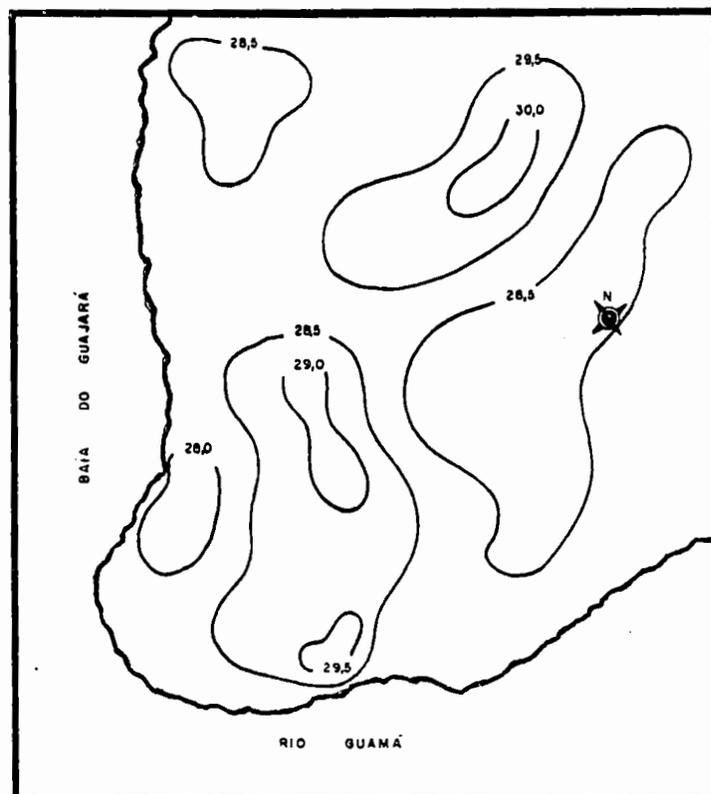


FIGURA 146 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 13:00 às 15:00 horas, durante a segunda fase experimental.

16:00 às 18:00 horas

Com a ocorrência de precipitações pluviométricas associadas ao declínio solar, é verificado nesse horário um acentuado resfriamento em todos os bairros da cidade, com a temperatura oscilando entre 25,5°C e 27,0°C, sendo que, nos bairros com grande porcentagem de edificações e outros materiais absorventes de energia, este resfriamento se dá de forma menos acentuada, quando comparados com os bairros periféricos (FIGURA 147).

19:00 às 21:00 horas

Nesse horário o padrão de distribuição da temperatura do ar é relativamente semelhante ao do horário anterior, sendo as diferenças encontradas da ordem de apenas 0,5°C. Nessa época do ano intensidade da “ilha de calor urbana”, é desprezível, uma vez que, as precipitações pluviométricas proporcionam um resfriamento relativamente simultâneo em todos os ambientes da cidade, assim como, na área rural (FIGURA 148).

22:00 às 24 horas

Aqui as diferenças térmicas encontradas entre os diversos bairros continuam praticamente desprezíveis, embora perceba-se um pequeno contraste térmico quando consideramos os bairros centrais em relação ao ambiente rural, certamente causado pelas diferentes características físicas de ambos os ambientes (FIGURA 149).

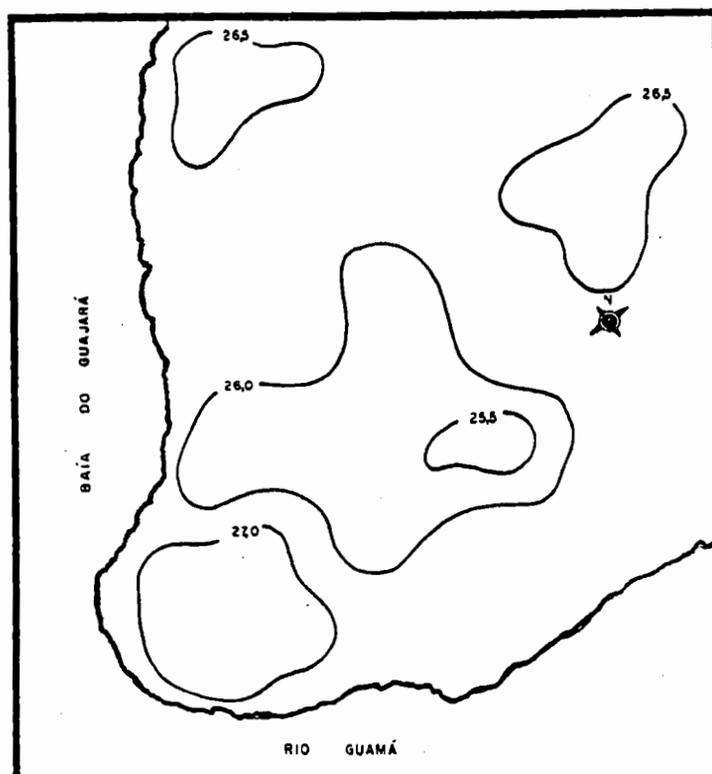


FIGURA 147 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 16:00 às 18:00 horas, durante a segunda fase experimental.

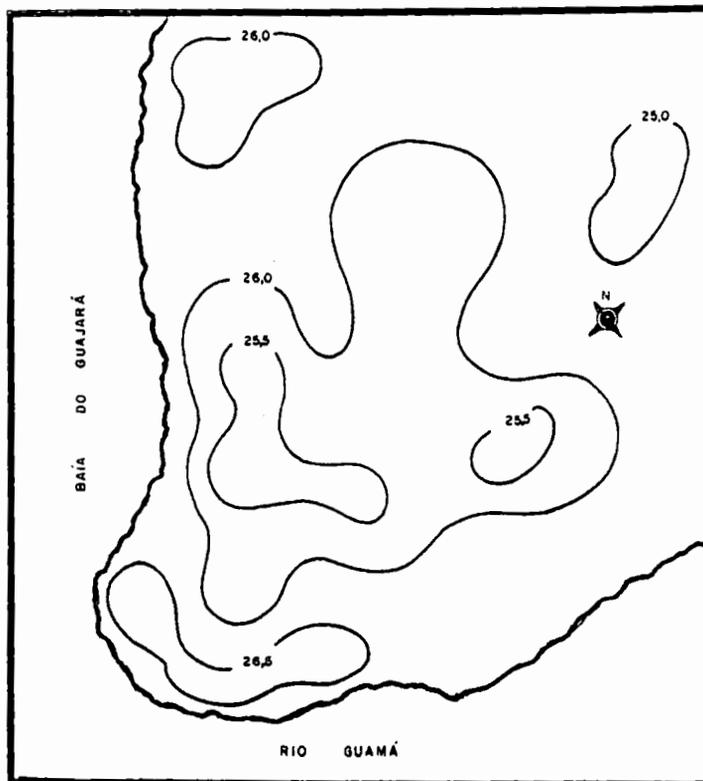


FIGURA 148-Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 19:00 às 21:00 horas, durante a segunda fase experimental.

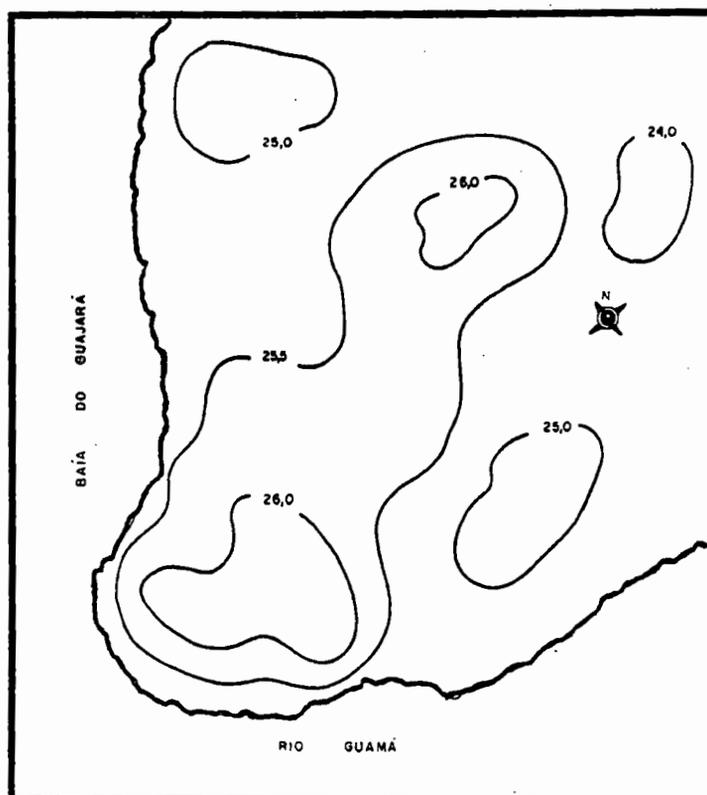


FIGURA 149 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo de 22:00 às 24:00 horas, durante a segunda fase experimental.

4.2.2.7. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA UMIDADE RELATIVA DO AR

01:00 às 03:00 horas

Nesse horário a umidade relativa do ar apresentou-se bastante elevada em todos os locais estudados, com valores de 100% nos bairros mais periféricos e próximos de grandes áreas verdes (FIGURA 150).

04:00 às 06:00 horas

O padrão de distribuição espacial da umidade relativa do ar não sofreu alteração, quando comparado ao horário anterior, sendo os maiores valores observados ainda nos bairros mais periféricos e próximos a grandes áreas verdes (FIGURA 151).

07:00 às 09:00 horas

Com o nascer do sol, e conseqüente aquecimento nos diferentes bairros, a umidade relativa do ar sofre um ligeiro decréscimo. Entretanto, nos bairros mais arborizados ela ainda mantém-se bastante elevada, alcançando o valor de 100%. Nos bairros mais urbanizados, devido á intensificação das atividades urbanas, a umidade tende a apresentar menores valores (FIGURA 152).

10:00 às 12:00 horas

Nesse horário, devido ao intenso aquecimento da cidade, a umidade relativa do ar alcança baixos valores, sendo que nos bairros carentes de arborização esses valores oscilam em torno de 65%. Observa-se também a formação de alguns núcleos diferenciados, influenciados pela proximidade de grandes áreas arborizadas (FIGURA 153).

13:00 às 15:00 horas

Com a ocorrência da precipitação pluviométrica nesse horário, a umidade relativa do ar sofre um acentuado aumento, principalmente nos locais onde tal fenômeno é acentuado, embora não apresente um padrão bem definido na sua distribuição (FIGURA 154).

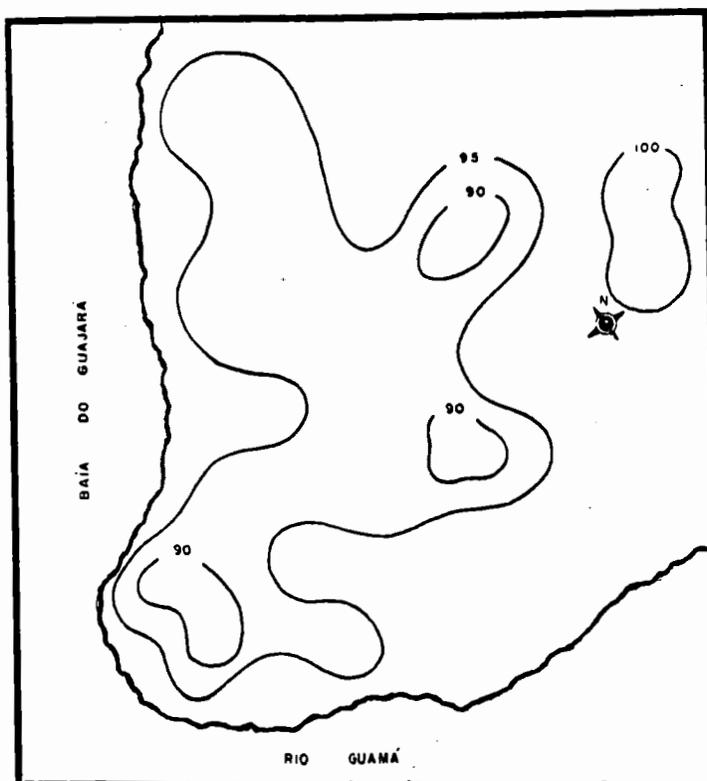


FIGURA 150-Distribuição espacial da umidade relativa do ar intervalo de 01:00 às 03:00 horas, durante a segunda fase experimental.

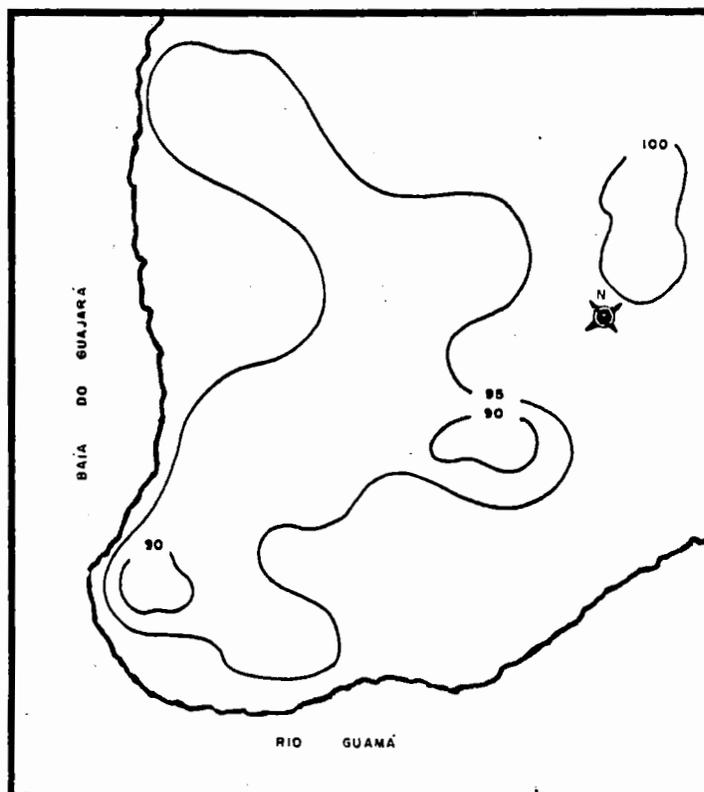


FIGURA 151- Distribuição espacial da umidade relativa do ar intervalo de 04:00 às 06:00 horas, durante a segunda fase experimental.

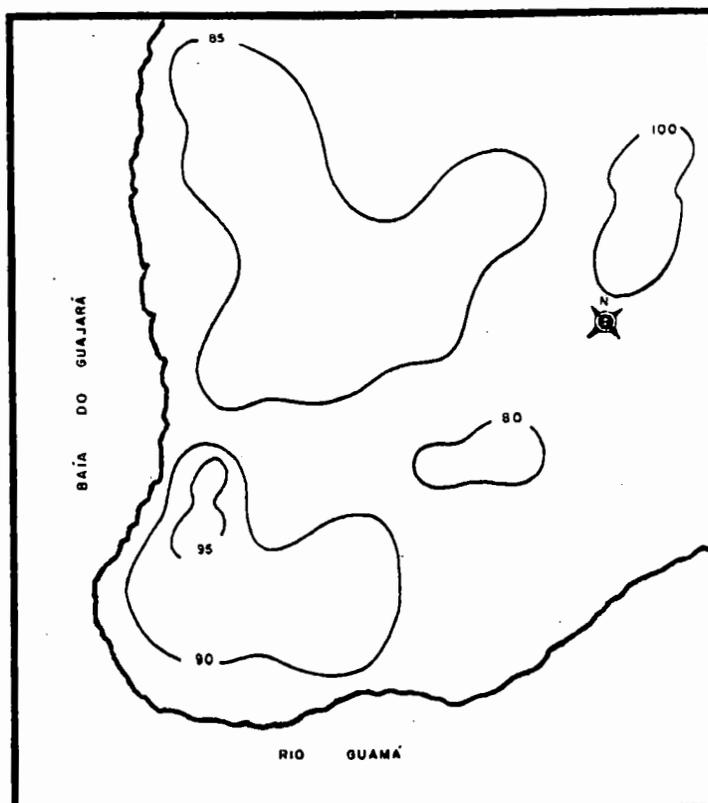


FIGURA 152- Distribuição espacial da umidade relativa do ar intervalo de 07:00 às 09:00 horas, durante a segunda fase experimental.

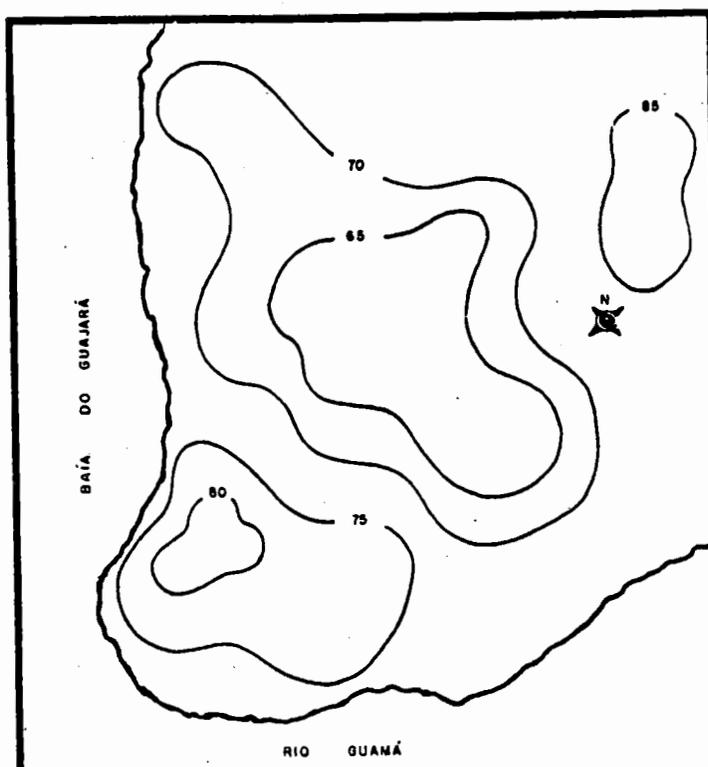


FIGURA 153- Distribuição espacial da umidade relativa do ar intervalo de 10:00 às 12:00 horas, durante a segunda fase experimental.

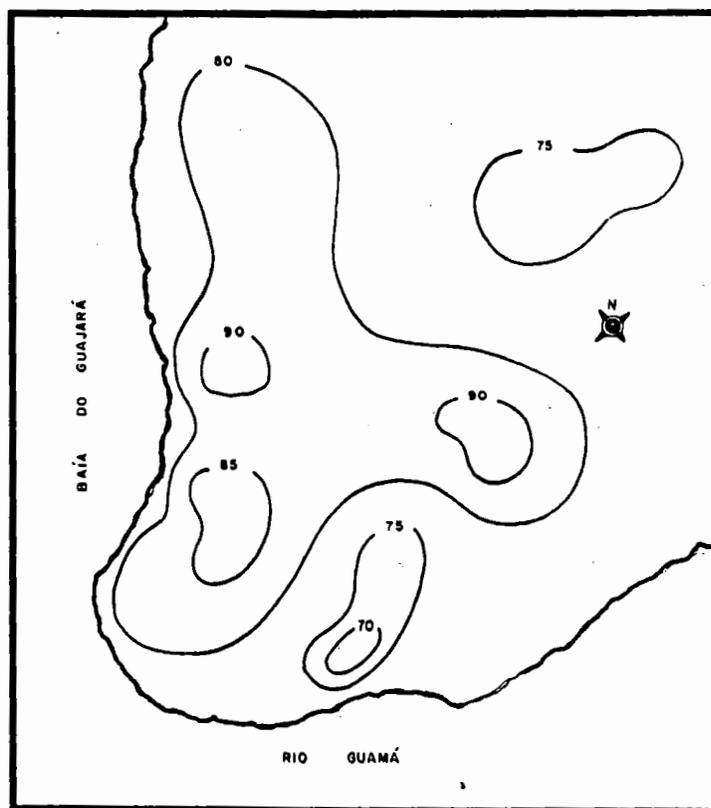


FIGURA 154- Distribuição espacial da umidade relativa do ar intervalo de 13:00 às 15:00 horas, durante a segunda fase experimental.

16:00 às 18:00 horas

Com o resfriamento gradativo da cidade começa a ocorrer um aumento considerável nos valores da umidade relativa do ar, sendo estes valores sempre superiores a 85% em todos os bairros (FIGURA 155).

19:00 às 21:00 horas

Nesse horário já é configurado um grande núcleo de umidade relativa do ar, com valores superiores a 90% cobrindo todos os bairros, o que indica a grande influência da precipitação pluviométrica no sentido de minimizar as diferenças termohigrométricas entre os diferentes bairros estudados (FIGURA 156).

22:00 às 24 horas

Os elevados valores de umidade relativa do ar permanecem ao longo desse horário, independente da estrutura urbana, o que caracteriza a grande influência da precipitação pluviométrica na homogeneização dos valores de umidade (FIGURA 157).

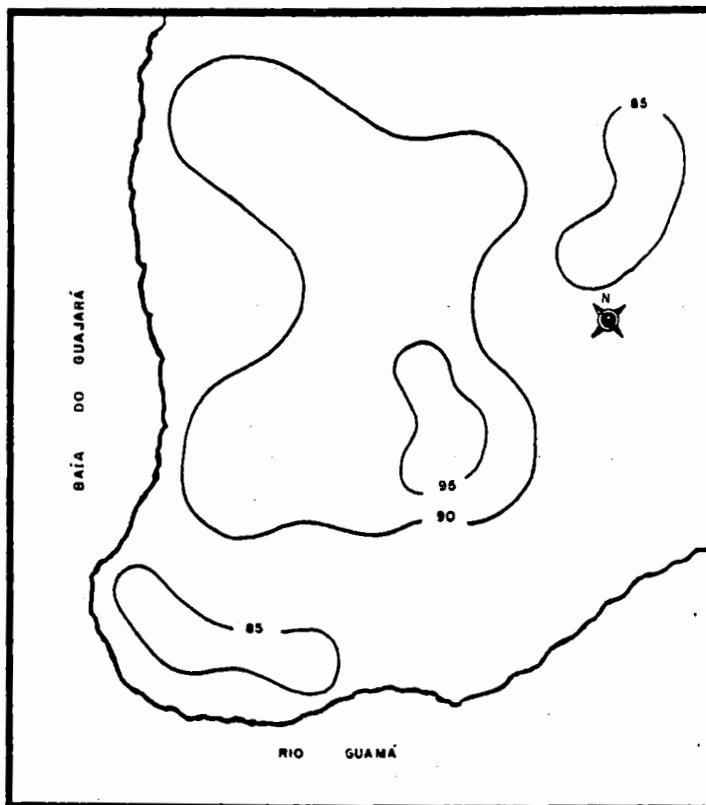


FIGURA 155- Distribuição espacial da umidade relativa do ar intervalo de 16:00 às 18:00 horas, durante a segunda fase experimental.

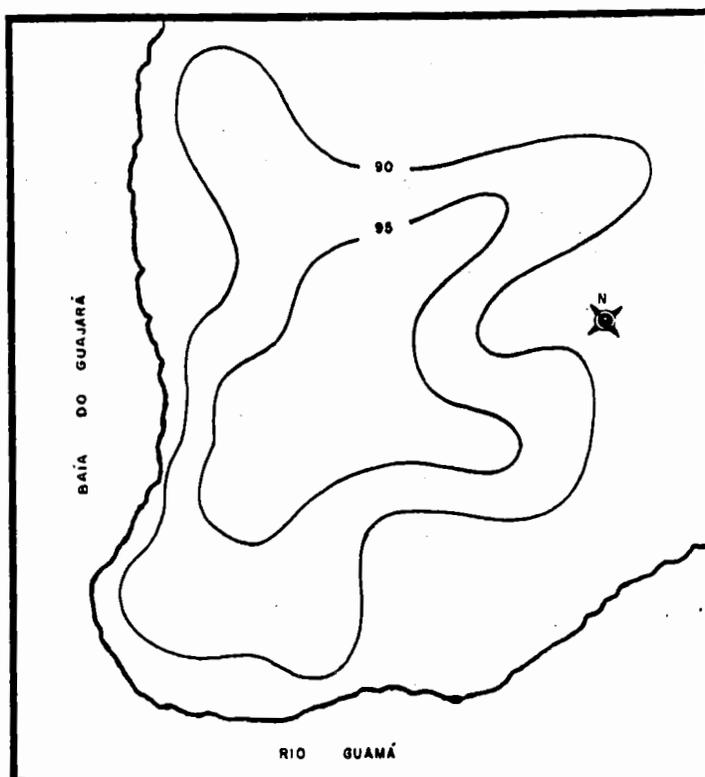


FIGURA 156- Distribuição espacial da umidade relativa do ar intervalo de 19:00 às 21:00 horas, durante a segunda fase experimental.

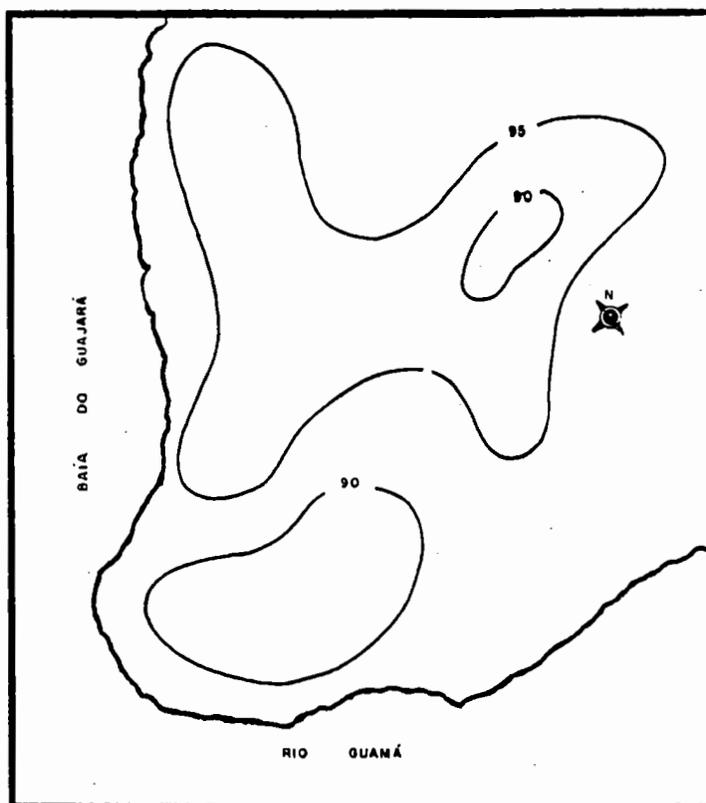


FIGURA 157- Distribuição espacial da umidade relativa do ar intervalo de 22:00 às 24:00 horas, durante a segunda fase experimental.

4.2.2.8. DIFERENÇAS TERMO-HIGROMÉTRICAS ENTRE AMBIENTES URBANOS E RURAL

Na análise das variações termo-higrométricas entre os diferentes ambientes urbanos estudados em relação ao ambiente rural (FIGURAS 158 a 181), foi observado que, de um modo geral, as maiores diferenças ocorrem nos bairros carentes de arborização e dotados de grandes atividades antrópicas, muito embora essas diferenças sejam bem menores do que aquelas verificadas durante a primeira fase experimental. Essa menor diferença deve-se, certamente, aos efeitos associados da grande nebulosidade e precipitação pluviométrica, que proporcionaram menor aquecimento em todos os locais estudados.

Na análise do comportamento médio horário da umidade relativa do ar, foi observado que, de um modo geral, os maiores valores sempre foram verificados no ambiente rural, sendo que os menores valores ocorreram nos locais com pouca ou nenhuma arborização e intensa urbanização..

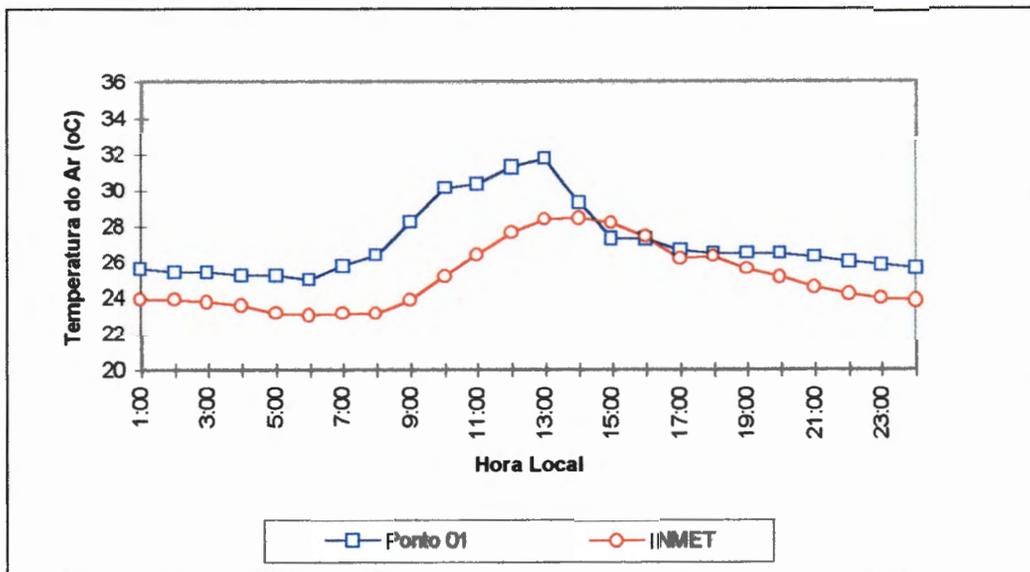


FIGURA 158 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Condor)

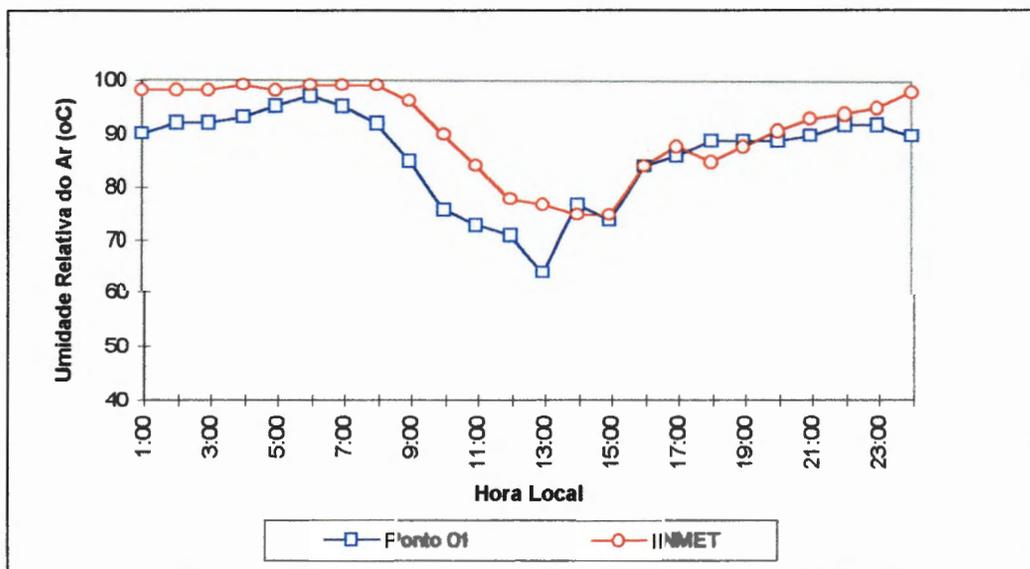


FIGURA 159 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Condor)

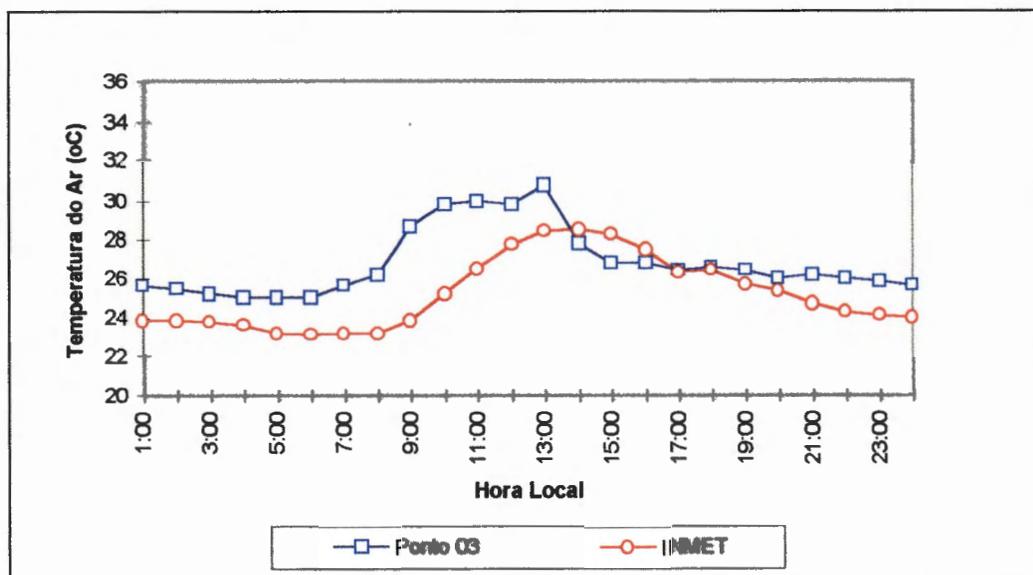


FIGURA 160 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Jurunas)

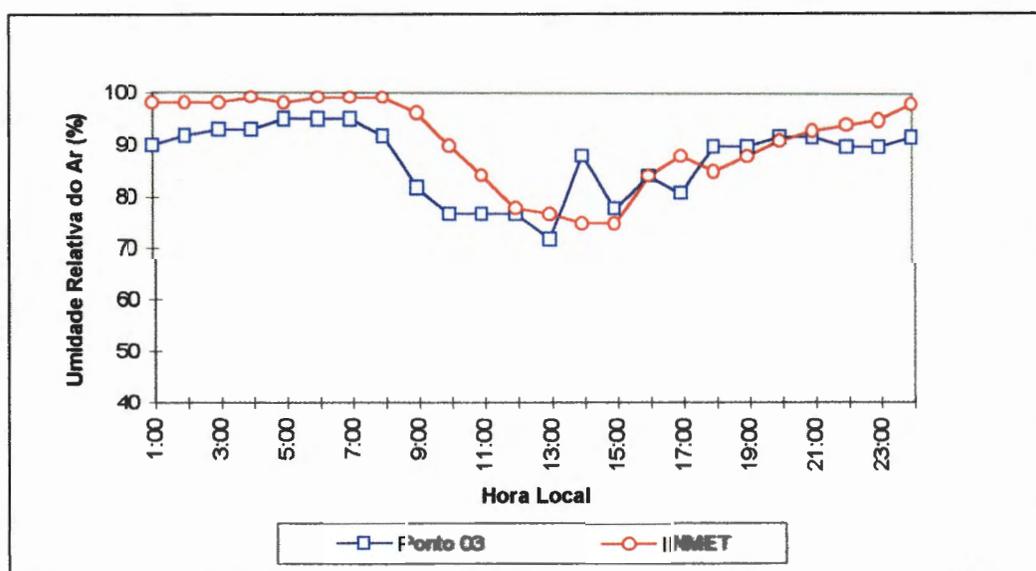


FIGURA 161 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Jurunas)

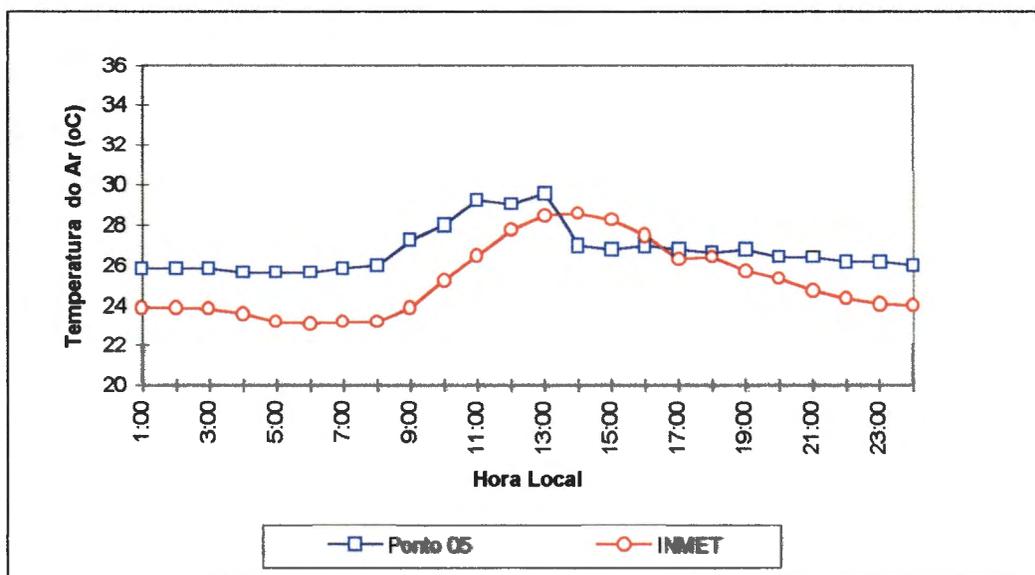


FIGURA 162 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Campina)

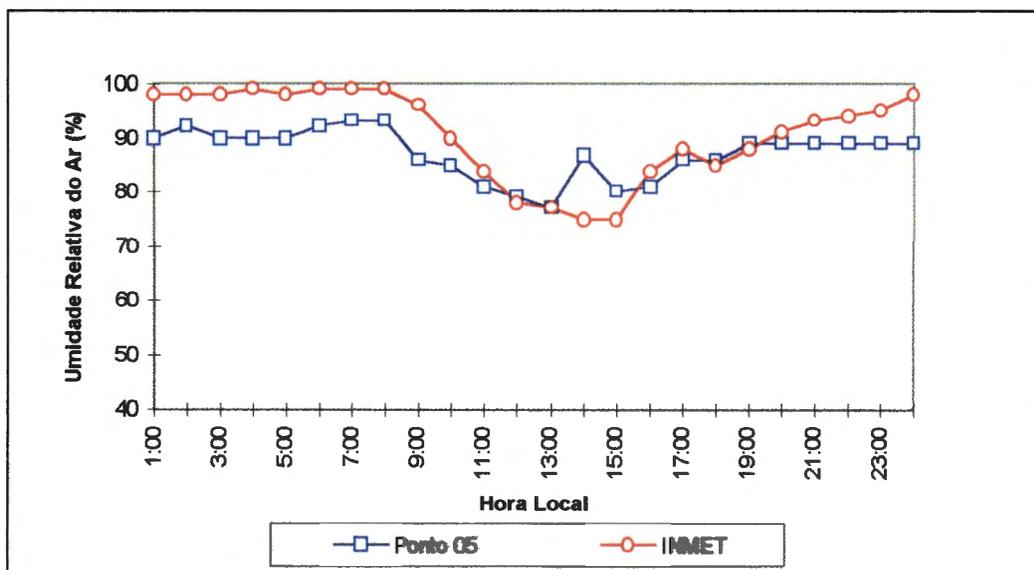


FIGURA 163 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Campina)

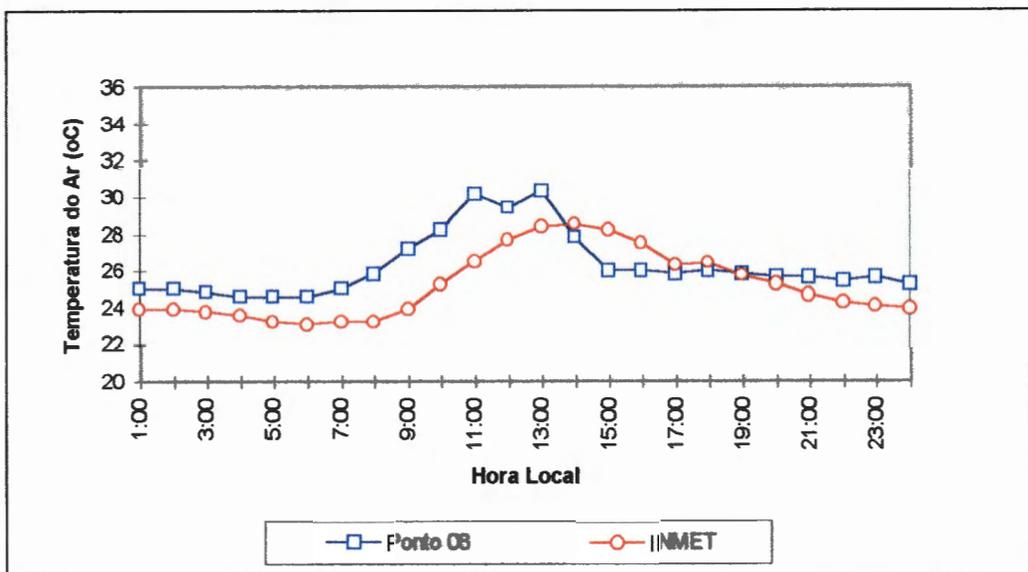


FIGURA 164 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Umarizal)

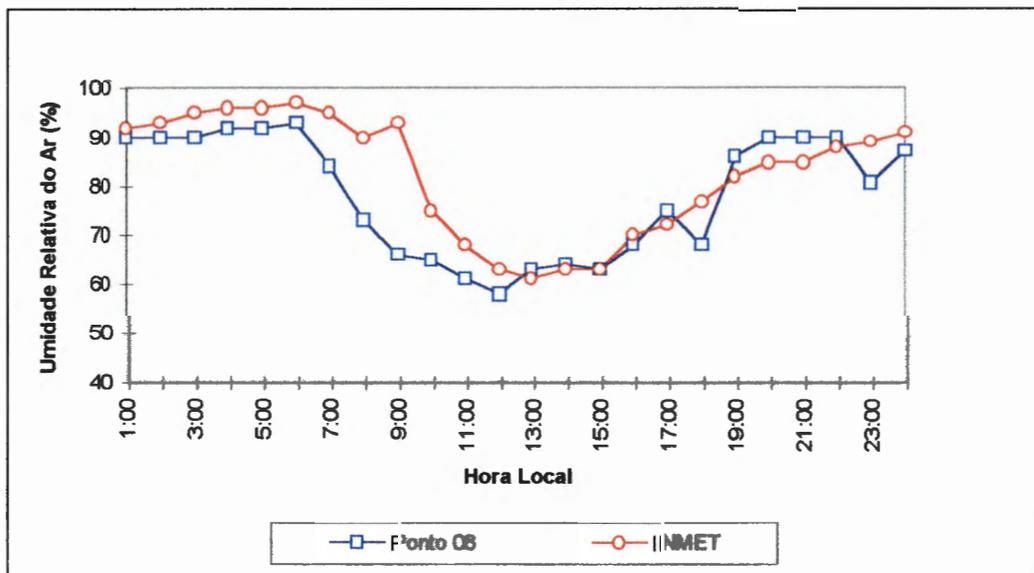


FIGURA 165 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Umarizal)

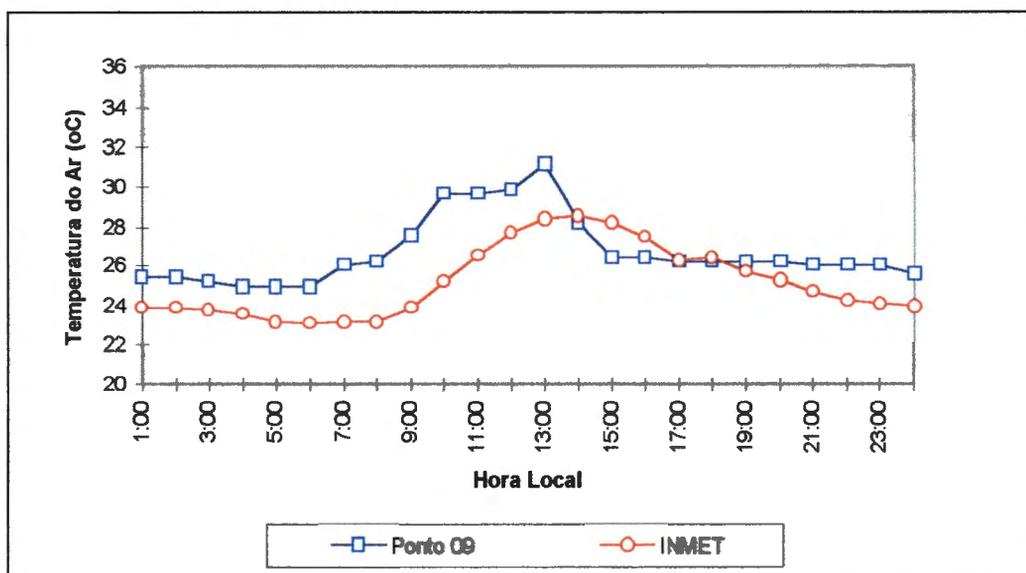


FIGURA 166 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro de Nazaré)

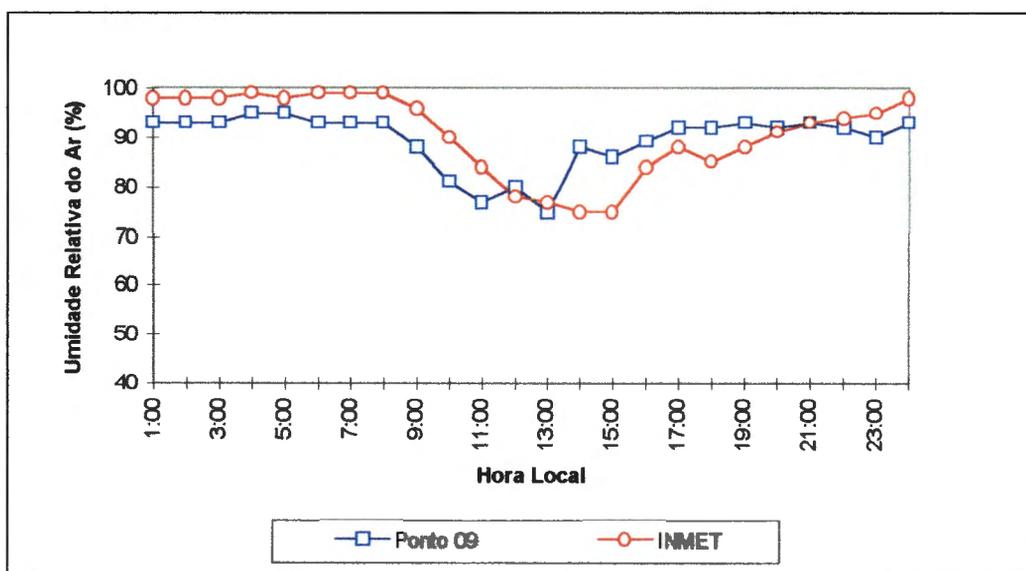


FIGURA 167 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro de Nazaré)

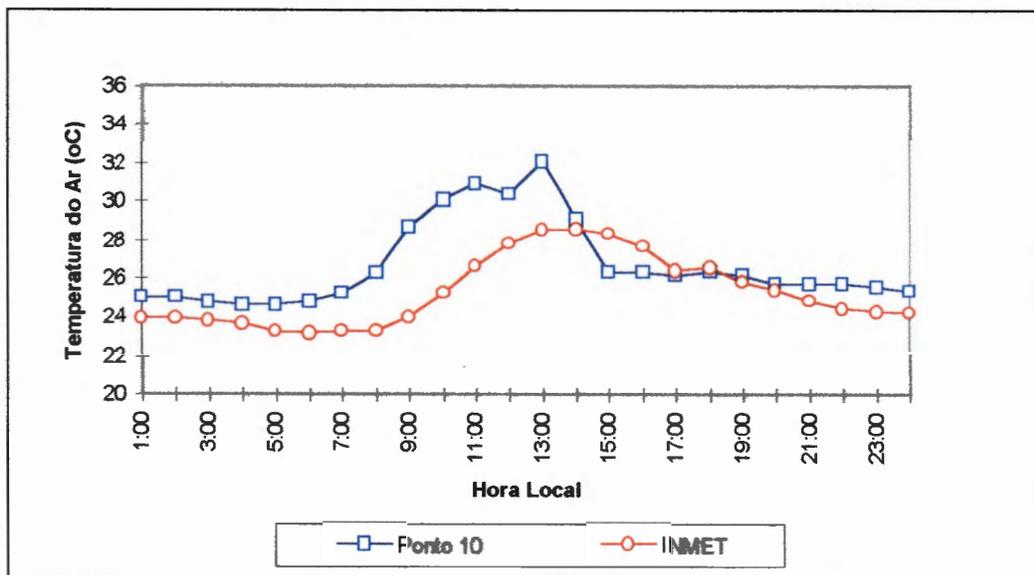


FIGURA 168 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro de São Brás)

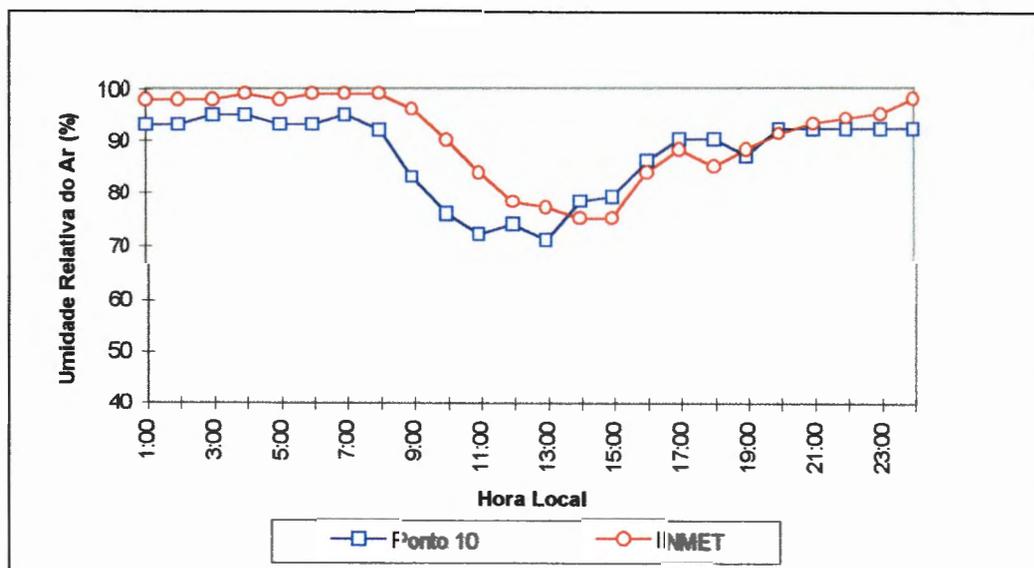


FIGURA 169 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro de São Brás)

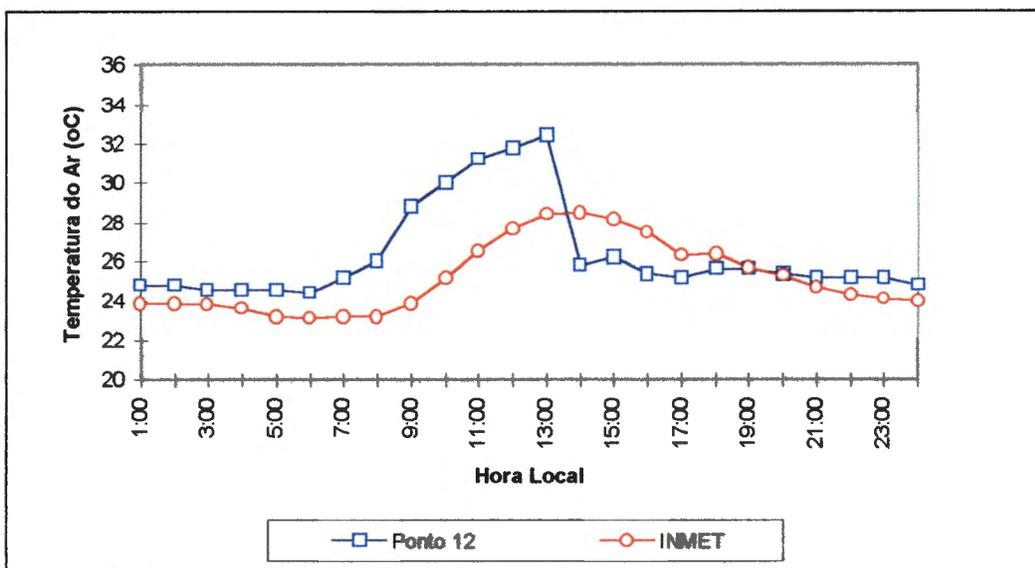


FIGURA 170 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Terra Firme)

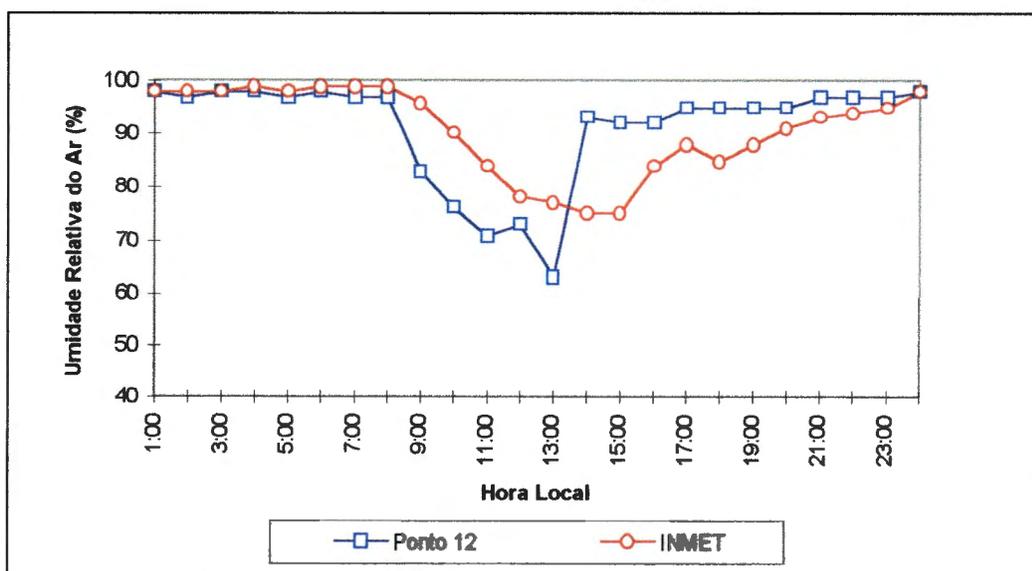


FIGURA 171 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Terra Firme)

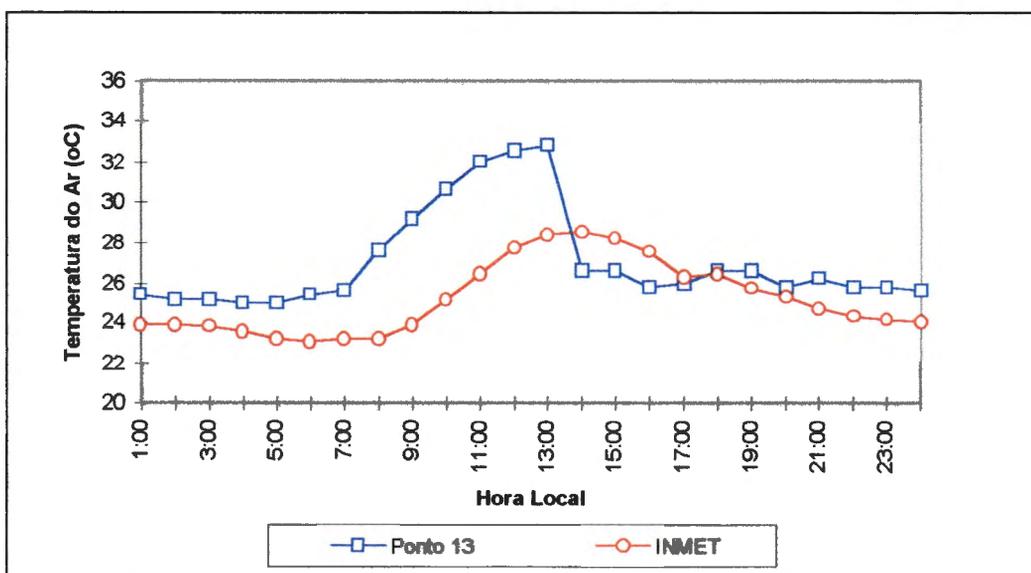


FIGURA 172 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Marco)

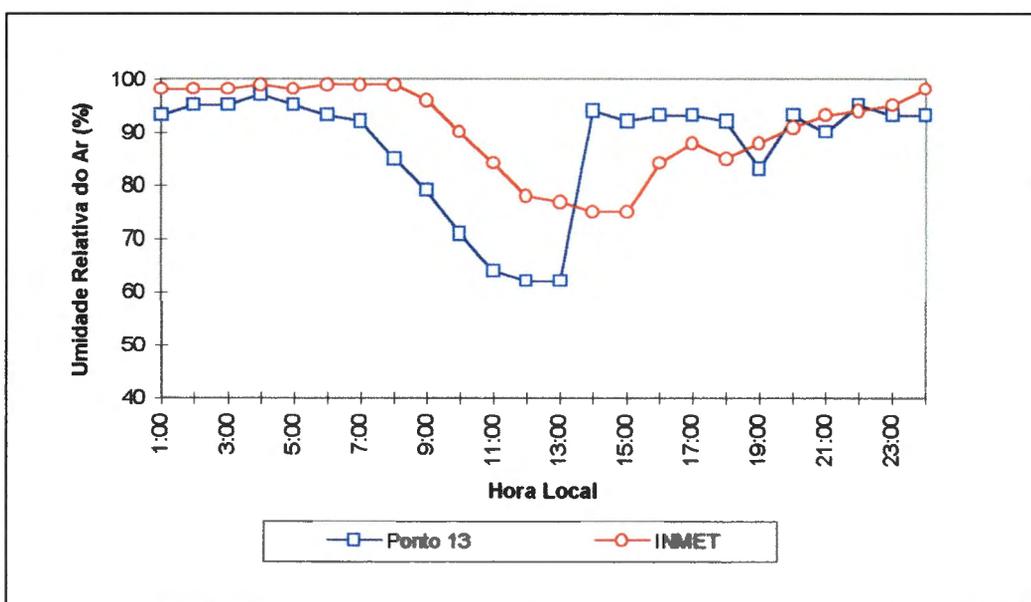


FIGURA 173 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Marco)

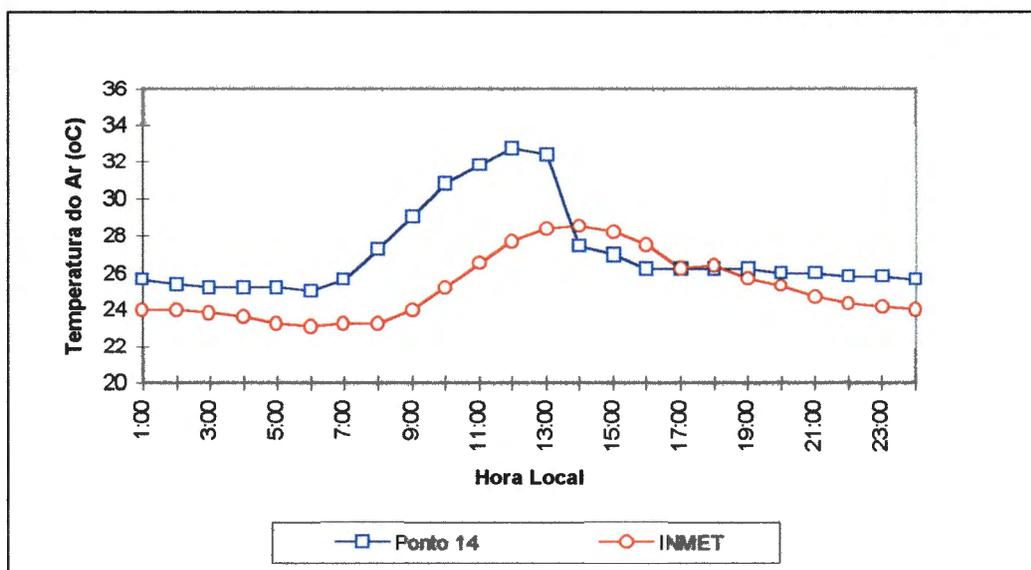


FIGURA 174 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Pedreira)

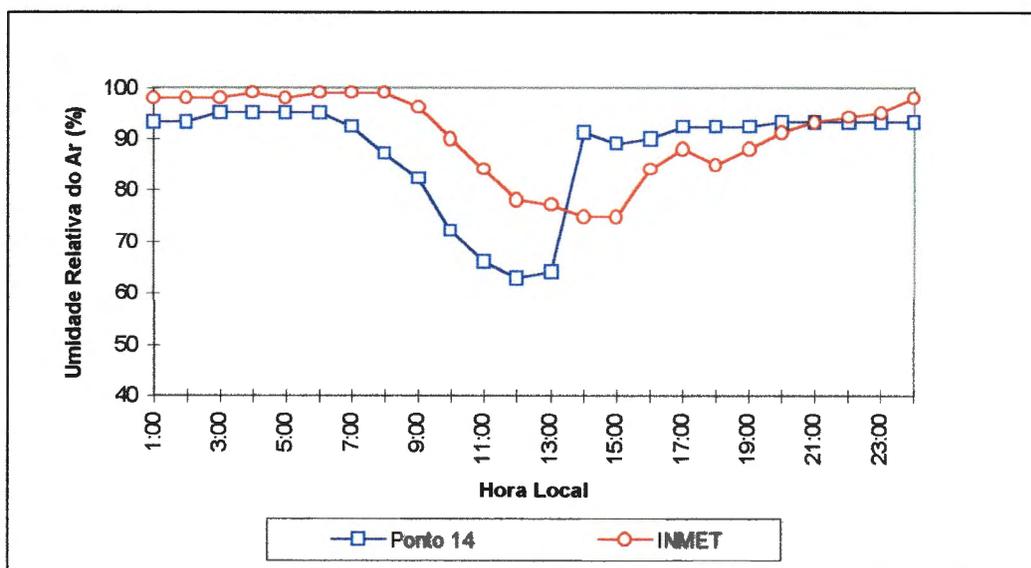


FIGURA 175 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Pedreira)

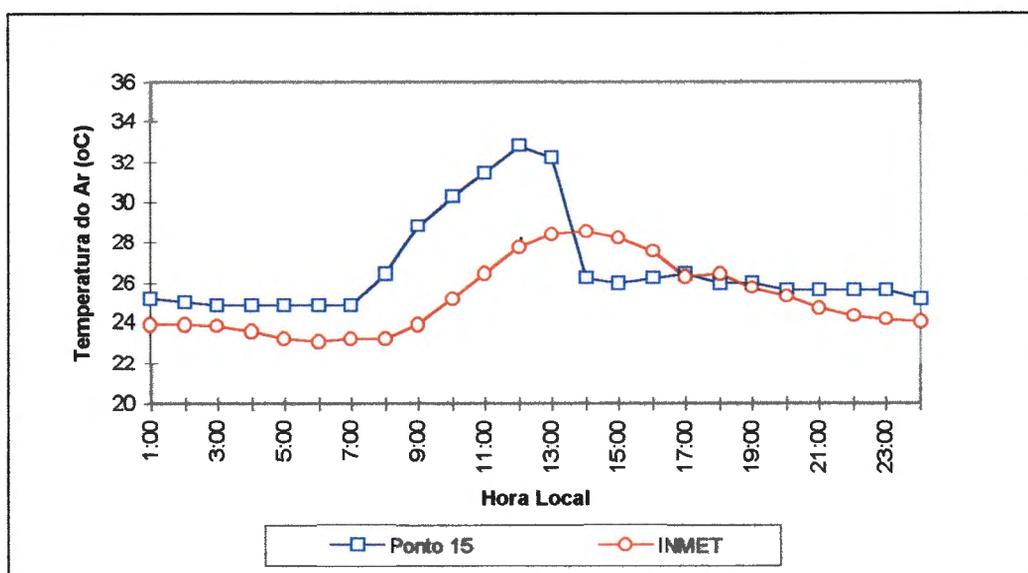


FIGURA 176 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Telégrafo)

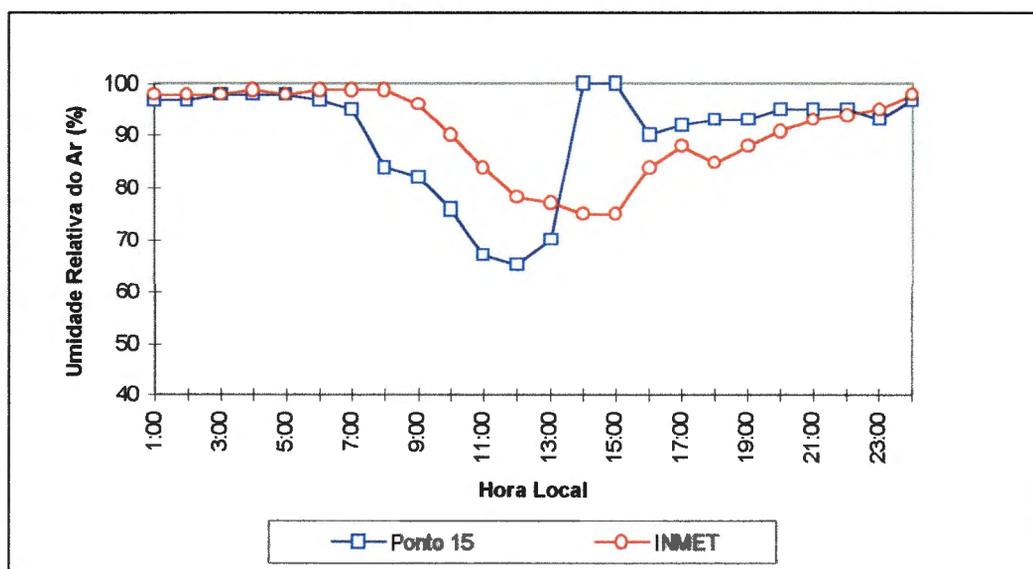


FIGURA 177 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Telégrafo)

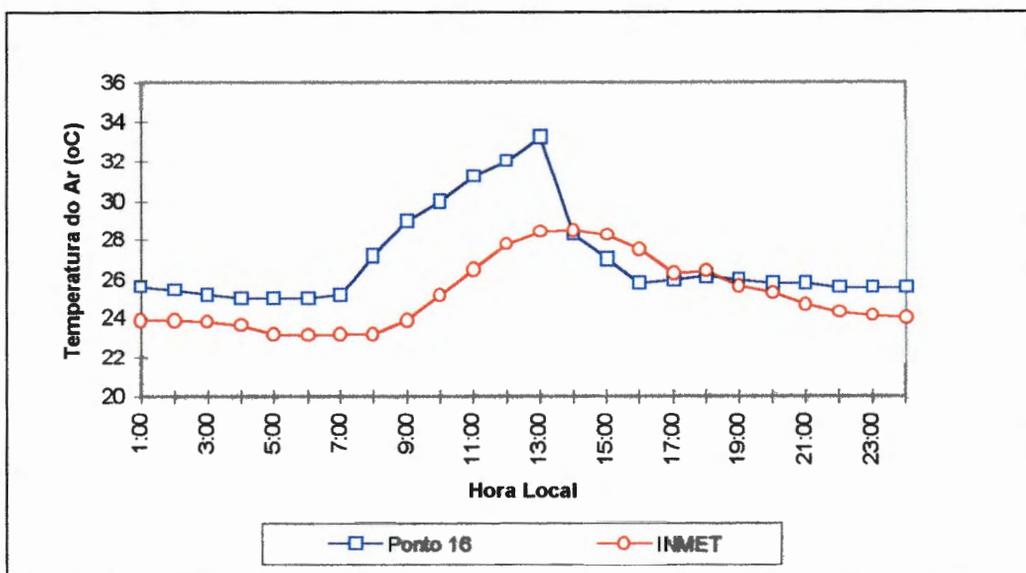


FIGURA 178 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Sacramento)

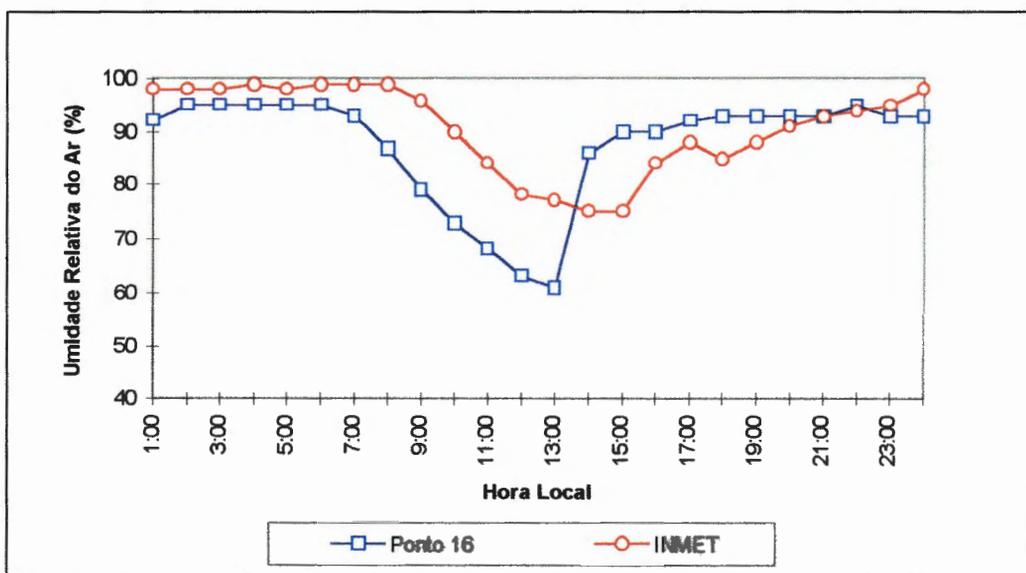


FIGURA 179 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Sacramento)

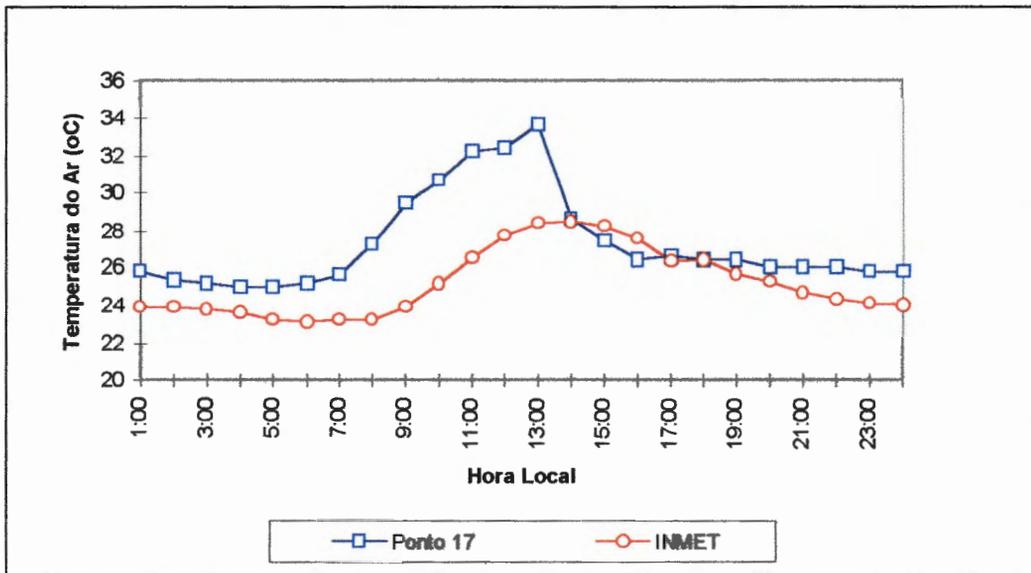


FIGURA 180 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Souza)

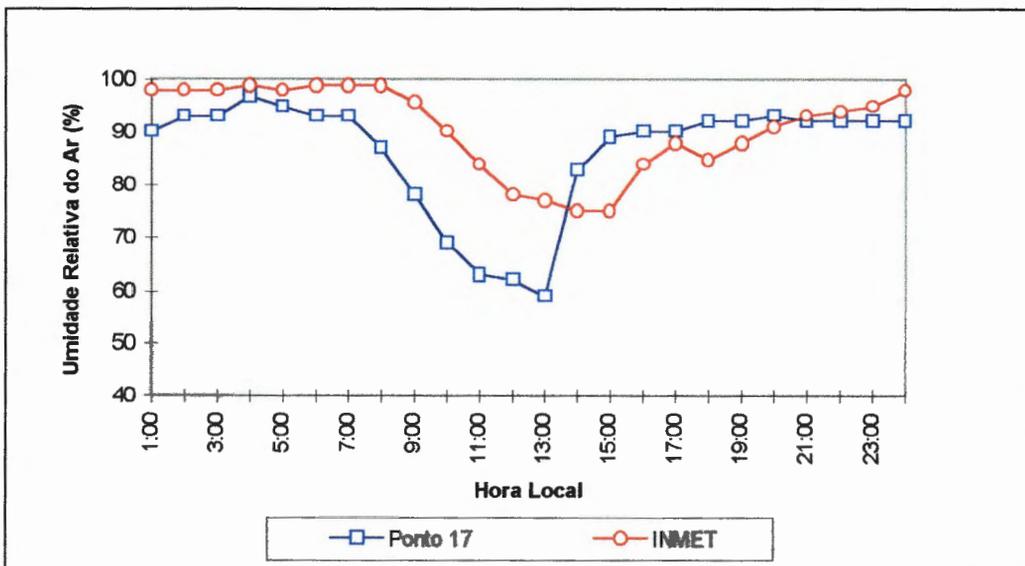


FIGURA 181 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Souza)

4.2.2.9. UMIDADE ESPECÍFICA E UMIDADE ABSOLUTA DO AR

A umidade específica do ar apresentou nessa fase valores ligeiramente superiores àqueles observados durante a fase anterior, tendo variado entre um mínimo de 17,8 g/Kg até um máximo de 21,2 g/Kg. Essa pequena elevação deve-se, certamente, à ocorrência de precipitações pluviométricas intensas no decorrer dessa fase experimental. Apesar dessas diferenças, não foi possível caracterizar um padrão de distribuição média horária bem definido (ANEXO C).

A exemplo da umidade específica do ar, a umidade absoluta do ar durante essa fase também apresentou valores ligeiramente superiores àqueles verificados por ocasião da primeira fase, embora não tenha apresentado um padrão de distribuição média horária bem definido (ANEXO C). Os valores máximos observados foram de 23,8 g/m³ ao passo que os mínimos foram de 20,7 g/m³.

4.2.2.10. NEBULOSIDADE

Durante essa fase experimental a nebulosidade total apresentou-se bastante elevada em todos os locais, muito embora tenha mostrado uma grande variabilidade média horária (ANEXO B), em função, basicamente, das condições de tempo meteorológico atuantes na Região durante aquela época do ano. De um modo geral, a nebulosidade é pequena durante as primeiras horas do dia, até aproximadamente as 06:00 horas da manhã, em todos os locais estudados. Com o decorrer do dia, a nebulosidade apresenta um grande aumento, culminando, em muitos casos, com a cobertura total do céu e com a ocorrência de precipitações pluviométricas intensas.

4.2.2.11. DIREÇÃO E VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO

Nessa fase experimental, apesar das características urbanas predominantes nos diversos ambientes urbanos estudados, a direção predominante do vento apresentou-se quase que invariavelmente de Nordeste, o que indica a predominância do fluxo de grande escala nesta época do ano (FIGURA 182).

Em relação à velocidade do vento, também estimada através da escala de Beaufort, foi observado que nessa época do ano esse elemento não apresentou um padrão de distribuição bem definido. As diferenças encontradas entre os diversos ambientes estudados foram pequenas, oscilando entre 0,0 e 1,5 m/s. No que se refere ao comportamento médio horário, constatou-se que, basicamente, as maiores velocidades foram observadas no período diurno, sendo os menores valores observados no período noturno. Em termos absolutos, as menores velocidades ocorreram no intervalo das 22:00 às 06:00 horas, enquanto que os maiores valores foram observados no período das 10:00 às 15:00 horas, estando associados com a maior incidência de precipitações pluviométricas e suas manifestações.

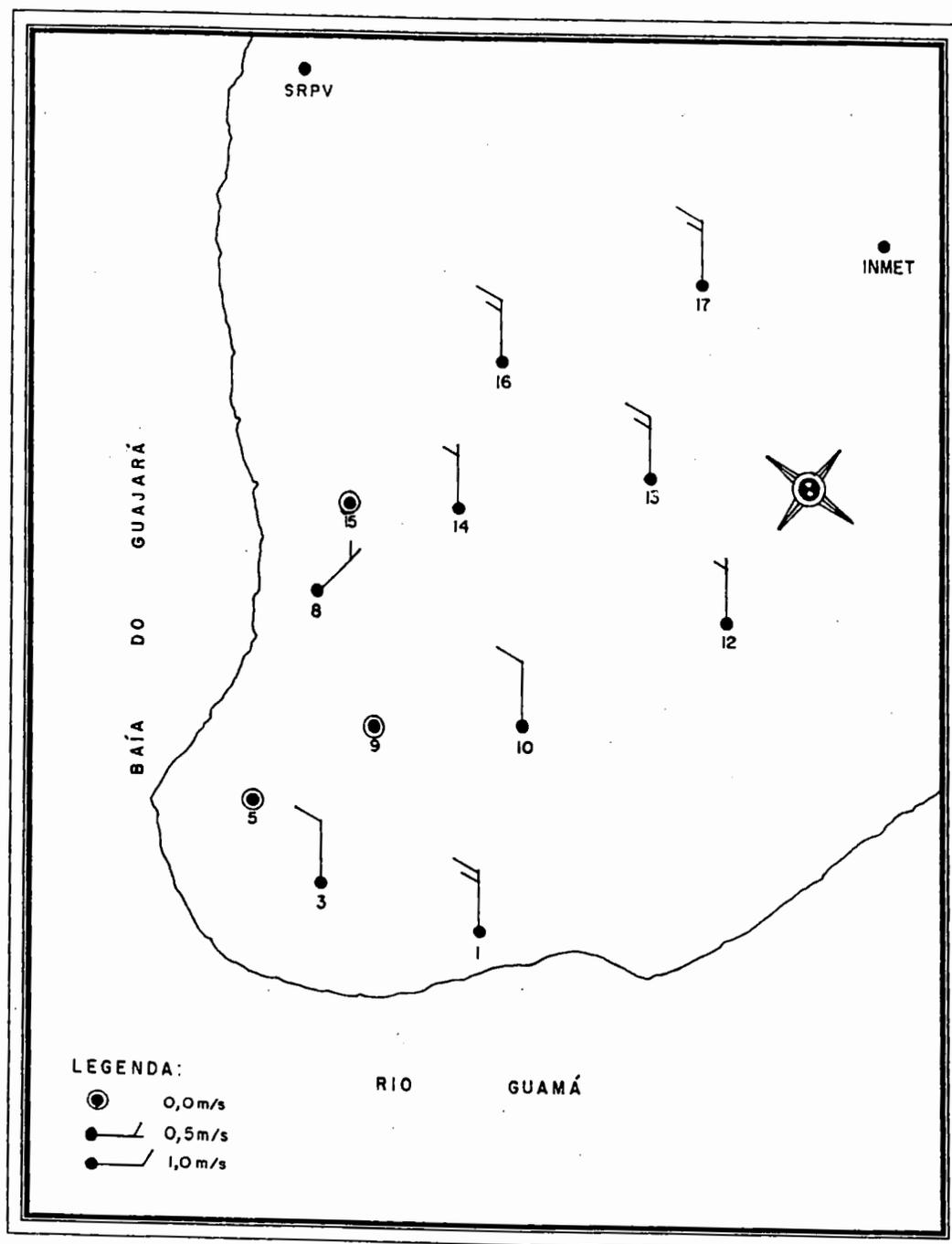


FIGURA 182 - Distribuição média diária da direção e velocidade do vento - Fase II.

4.2.2.12. CONDIÇÕES SINÓTICAS

Climatologicamente, durante o verão no Hemisfério Sul, sobre a Amazônia se instala um sistema de baixas pressões ao nível da superfície e, por continuidade da atmosfera, um sistema de altas pressões em altos níveis. Nessa Região, a convergência e os movimentos verticais ascendentes são grandes, gerando bastante precipitação pluviométrica. Os sistemas frontais oriundos das latitudes extratropicais, quando alcançam latitudes mais baixas, perturbam a atmosfera tropical, tornando-a instável. Outro fator meteorológico relevante nas condições de tempo são os ventos de Leste, provenientes do Oceano Atlântico Sul, que penetram na região com grande quantidade de umidade.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é o sistema mais importante nessa época do ano, na produção de precipitação pluviométrica sobre o Norte e Nordeste do Brasil. O efeito de convecção diurna, sobre o continente, também é um fator de grande importância nas condições de tempo para a região de Belém. Essa região está sujeita também, às condições de tempo originários dos sistemas de Brisas, quer sejam marítimas ou terrestres.

Com base no exposto acima, e utilizando-se imagens do satélite geostacionário GOES, na banda do infravermelho, procedeu-se a análise das condições meteorológicas predominantes para a região de Belém, por ocasião de realização da segunda fase experimental, realizada no período de 26 a 29/02/1996.

ANÁLISE DO DIA 26/02/1996 (0000; 1200; 2100 UTC)

Na imagem das 0000 UTC (FIGURA 183), observa-se um sistema frontal já enfraquecido na região Sul do Brasil. A região de Belém apresenta grande nebulosidade, com nuvens convectivas localizadas mais a Sudoeste da região. Grande parte do Brasil encontra-se coberto por grandes sistemas nebulosos.

Na imagem das 1200 UTC (FIGURA 184), a Amazônia apresenta-se praticamente encoberta por nuvens baixas. Sobre a região de Belém, o tempo apresenta-se nublado, onde podemos identificar células convectivas sobre esta região. A atividade convectiva associada com a ZCIT, sobre o Oceano Atlântico, próximo a costa Norte e Nordeste do Brasil, apresenta uma ligeira intensificação, quando comparada com a imagem das 0000UTC.

O sistema frontal localizado no Sul do País, na imagem das 2100 UTC (FIGURA185), já apresenta uma ruptura na banda de nuvens que se estende do continente para o oceano. O aquecimento diurno intensificou a convecção sobre o continente, sendo observada grande nebulosidade na maior parte do continente Sul Americano.

Aparentemente, o efeito do aquecimento diurno é o grande responsável pelas atividades convectivas que são observadas sobre a região de Belém, e também grande parte do Estado do Pará. Pode-se observar uma Linha de Instabilidade que se estende desde a costa Norte do Pará até o Maranhão.

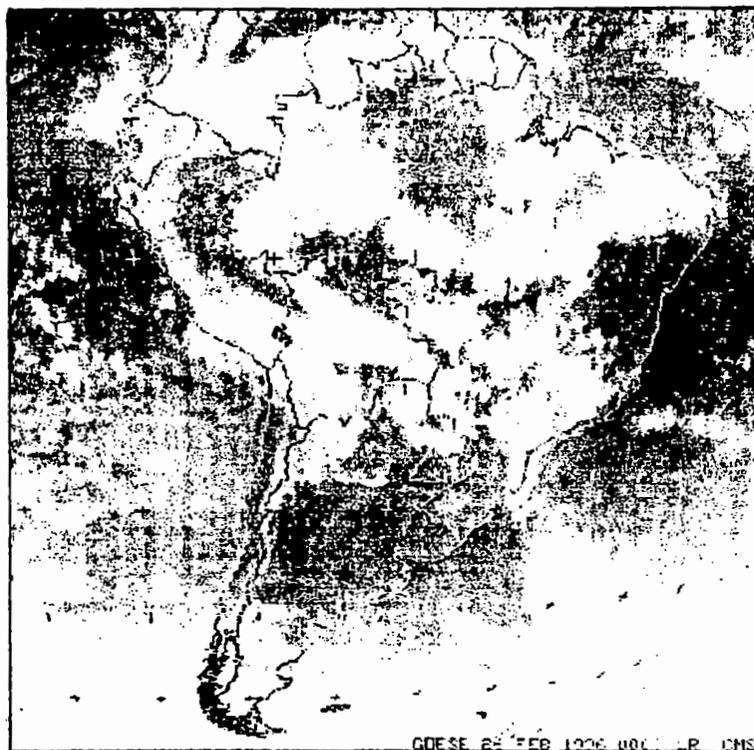


FIGURA 183 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 26/02/1996 às 0000UTC.

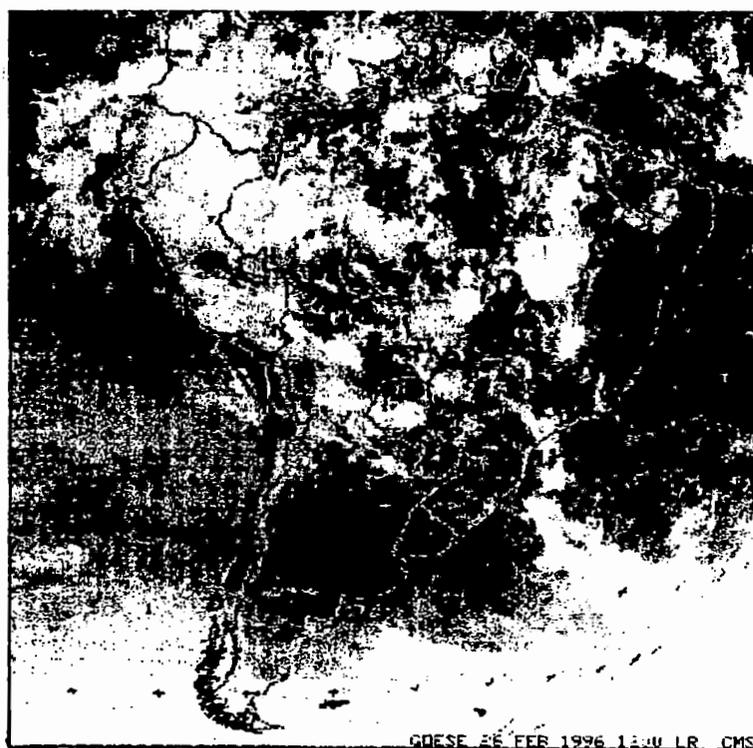


FIGURA 184 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 26/02/1996 às 1200UTC.

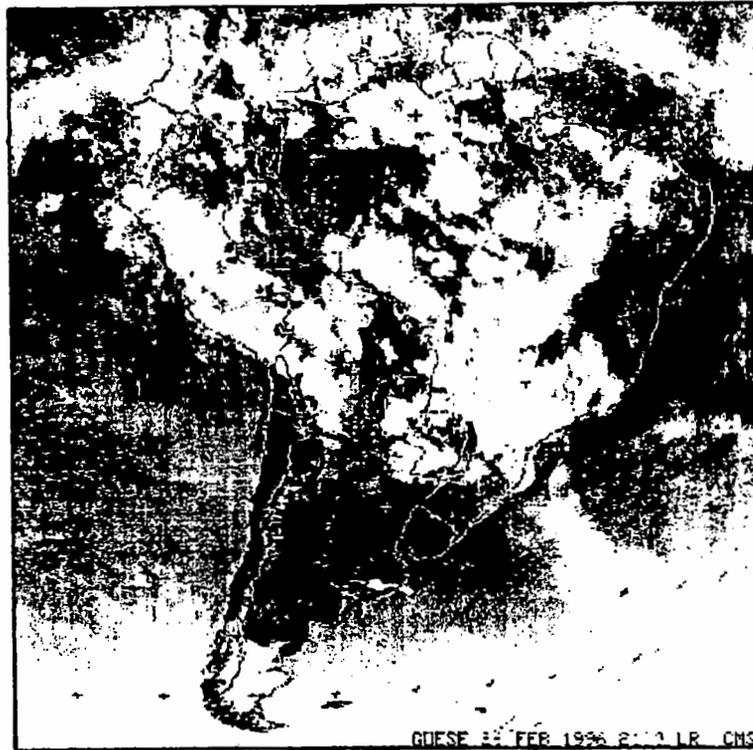


FIGURA 185 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 26/02/1996 às 2100UTC.

ANÁLISE DO DIA 27/02/1996 (0000; 0300; 1500; 1800)

Na imagem das 0000 UTC (FIGURA 186) a atmosfera sobre grande parte do Brasil permanece instável. A região de Belém apresenta-se nublada. A Linha de Instabilidade observada na imagem anterior permanece ativa, porém a mesma sofreu um ligeiro deslocamento continente a dentro.

Na imagem das 0300 UTC (FIGURA 187) a Linha de Instabilidade que se estendia do norte do Pará até o Maranhão, sofreu uma desintensificação com respeito ao horário anterior. A região de Belém ainda apresenta-se bastante nublada.

Na imagem das 1500 UTC (FIGURA 188) a região de Belém ainda apresenta-se com bastante nuvens, embora em grande parte do Brasil tenha ocorrido uma considerável diminuição na nebulosidade. A ZCIT aproximou-se mais da costa Norte do Estado do Pará, porém com fraca intensidade.

As 1800 UTC (FIGURA 189) podemos observar intensa atividade convectiva sobre Belém e grande parte da Amazônia, devido, certamente, ao grande aquecimento diurno.

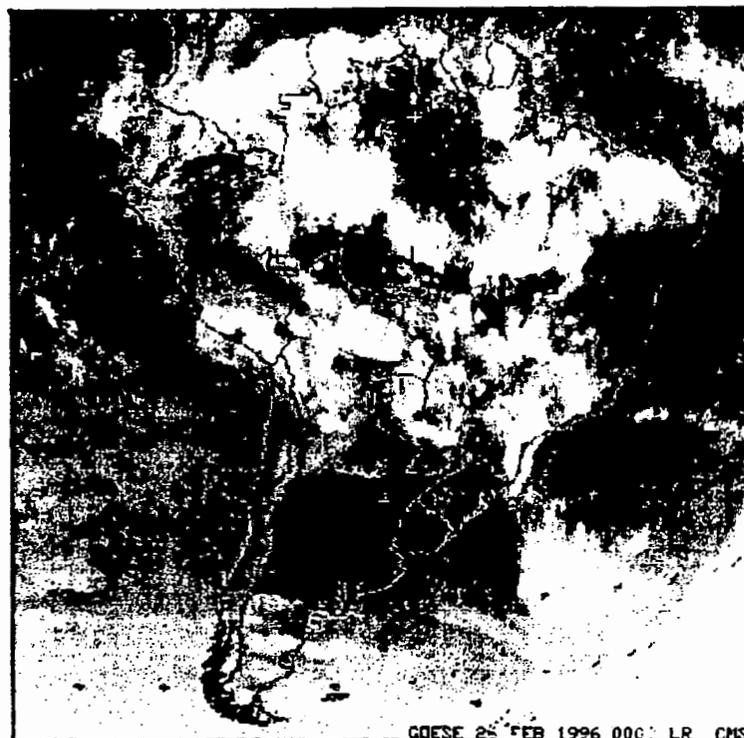


FIGURA 186 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 27/02/1996 às 0000UTC.



FIGURA 187 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 27/02/1996 às 0300 UTC.

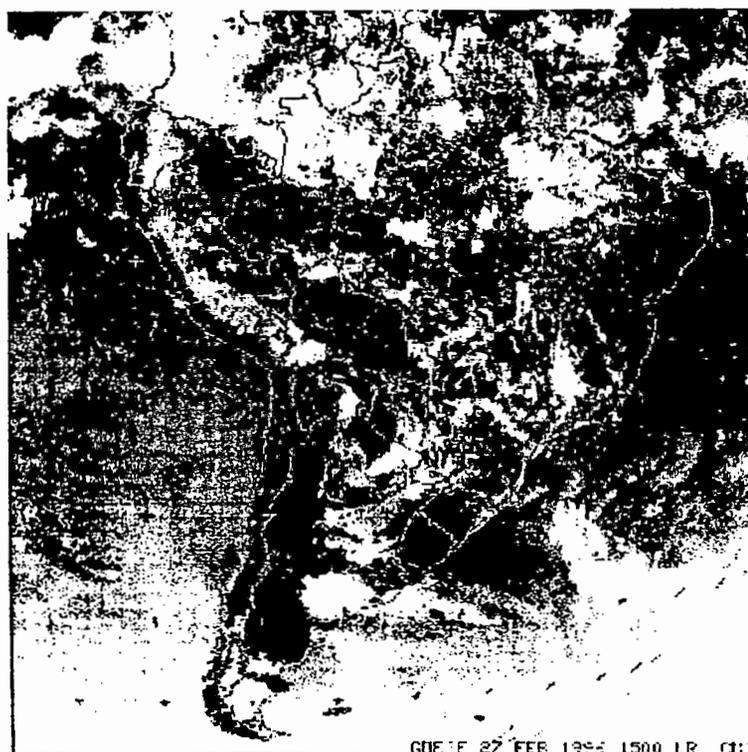


FIGURA 188 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 27/02/1996 às 1500 UTC.

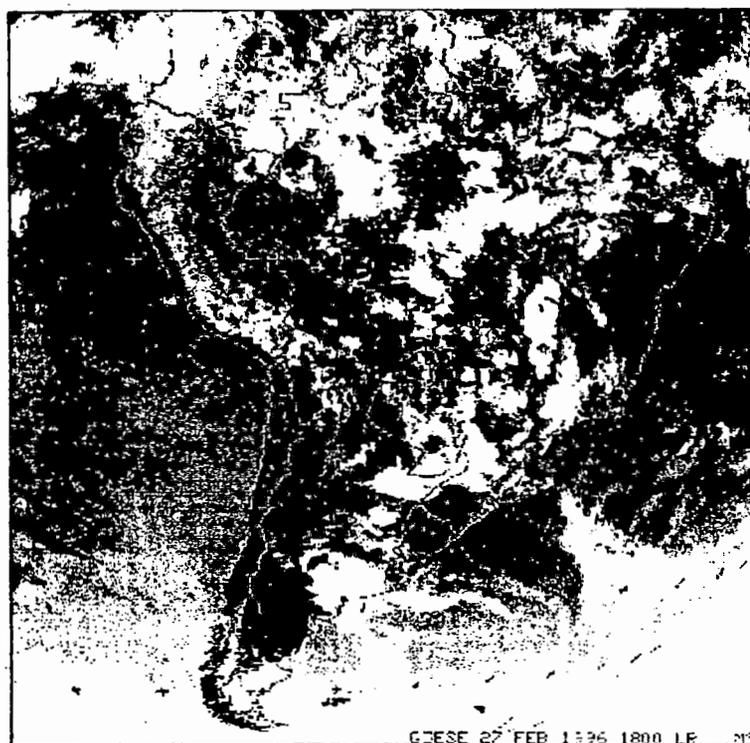


FIGURA 189 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 27/02/1996 às 1800 UTC.

ANÁLISE DO DIA 28/02/1996 (1200; 1800; 2100 UTC)

Na imagem das 1200UTC (FIGURA 190) Belém apresenta-se com tempo bom, apesar de serem observadas nuvens baixas na região. Podemos identificar também um sistema frontal sobre o Uruguai, estando este influenciando as condições de tempo sobre a região Oeste do Rio Grande do Sul.

As 1800 UTC (FIGURA 191) todo o Estado do Rio Grande do Sul encontra-se sob influência do sistema frontal. Sobre grande parte do Brasil, pode-se observar grande atividade convectiva, devido ao efeito diurno associado a instabilidade gerada pelo sistema frontal, com exceção do litoral Sudeste e parte do Nordeste do Brasil. A região de Belém encontra-se completamente encoberta por células convectivas.

As condições de tempo observadas as 2100 UTC (FIGURA 192) ainda são de instabilidade sobre grande parte do País. Sobre a região de Belém a atividade convectiva sofreu um considerável aumento.

ANÁLISE DO DIA 29/02/1996 (0900; 1200; 1500; 1800; 2100 UTC)

Nos horários das 0900 UTC (FIGURA 193), 1200 UTC (FIGURA 194) e 1500 UTC (FIGURA 195) as condições de tempo para a região de Belém são de tempo nublado a parcialmente nublado. A atividade convectiva sobre o oceano, associada à ZCIT, sofreu uma pequena intensificação.

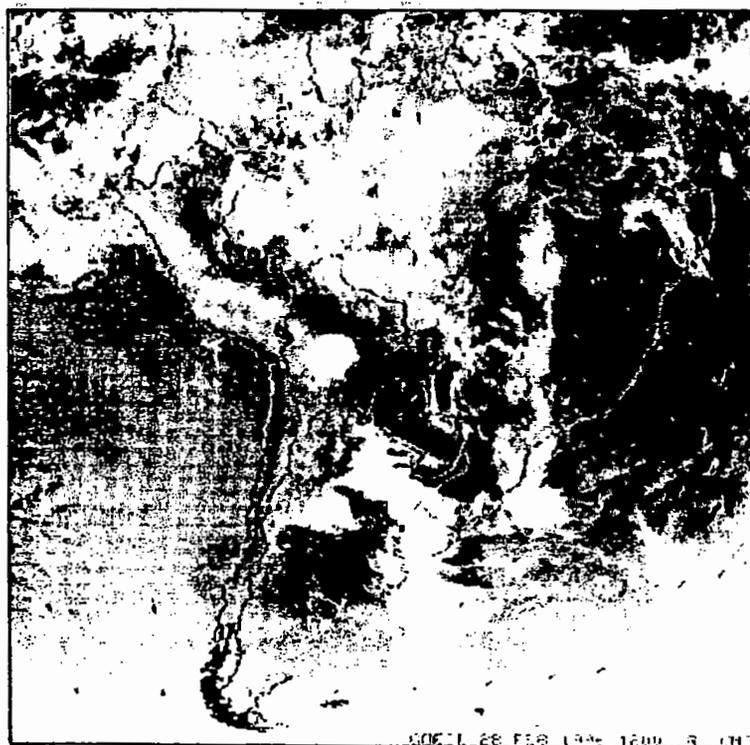


FIGURA 190 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 28/02/1996 às 1200 UTC.



FIGURA 191 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 28/02/1996 às 1800 UTC.

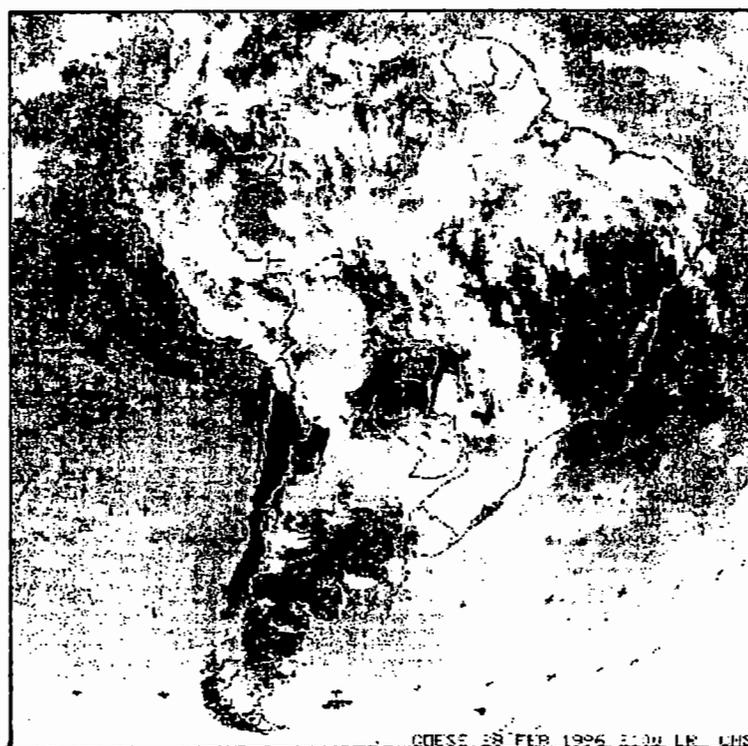


FIGURA 192 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 28/02/1996 às 2100 UTC.

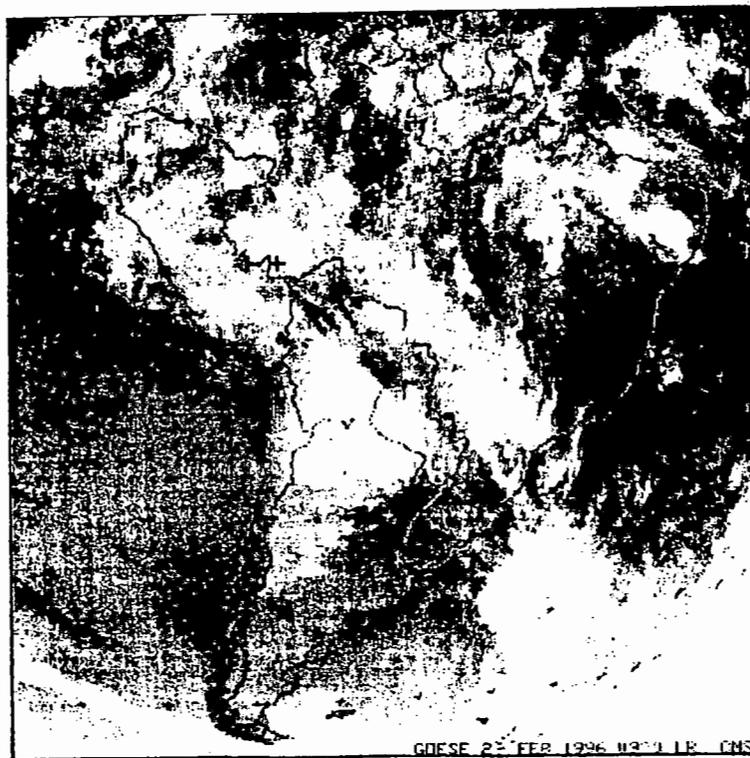


FIGURA 193 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/02/1996 às 0900 UTC.

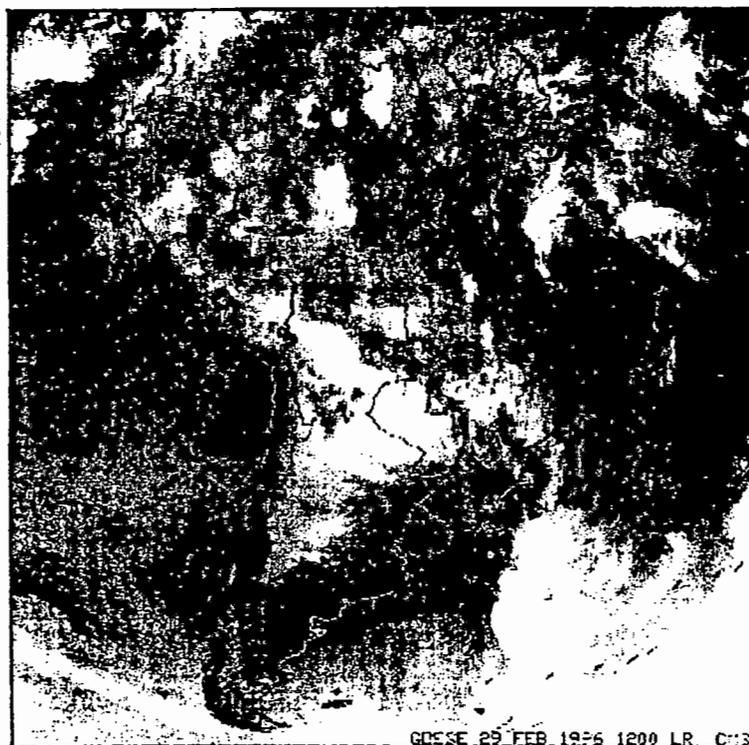


FIGURA 194 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/02/1996 às 1200 UTC.

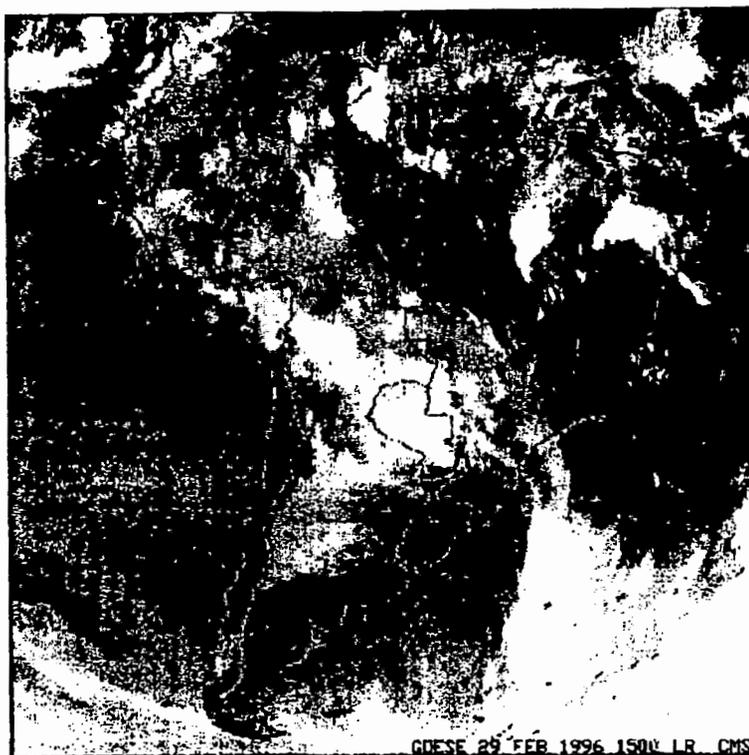


FIGURA 195 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/02/1996 às 1500 UTC.

O sistema frontal localizado no Sul do Brasil está ligeiramente enfraquecido, embora tenha apresentado um pequeno deslocamento em direção ao Norte.

O efeito de aquecimento diurno sobre o continente parece ter intensificado o sistema frontal, que na imagem das 1800 UTC (FIGURA 196) já se encontra sobre o Estado do Paraná. A associação destes dois fatores instabilizou praticamente todo o Brasil, com exceção de uma grande região que compreende parte do Sudeste e Nordeste Brasileiro.

A região de Belém apresenta-se completamente encoberta, por nuvens baixas e células de cumulonimbus. As condições de tempo resultantes nesta região parecem estar associadas com os efeitos combinados da presença da ZCIT, do aquecimento diurno e com o sistema frontal que instabilizou grande parte do Brasil.

As condições de tempo observadas na imagem anterior foram intensificadas no horário das 2100 UTC (FIGURA 197). A região de Belém está completamente encoberta, certamente devido ao efeito conjunto da grande atividade convectiva e da ZCIT. As condições são propícias para a ocorrência de precipitações pluviométricas.

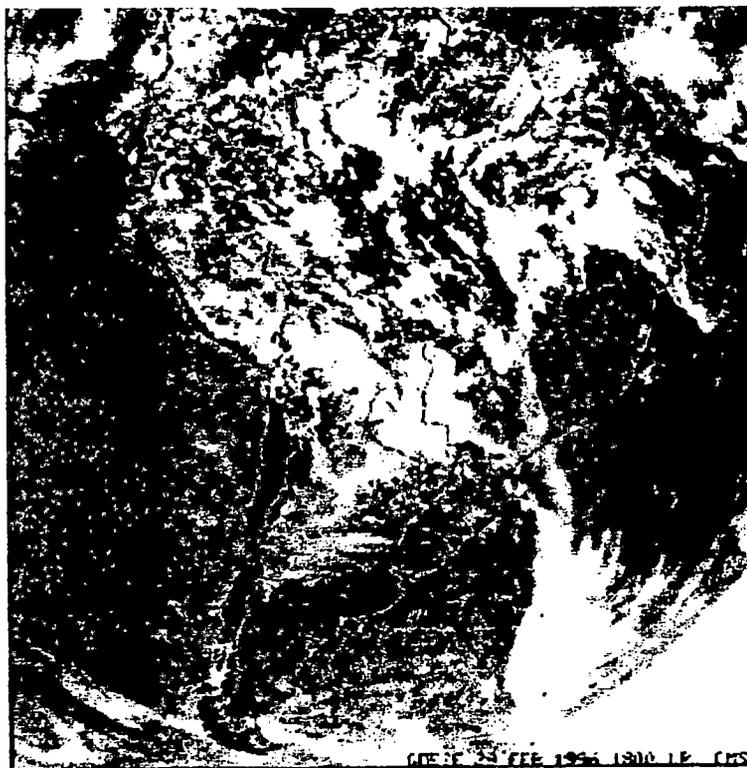


FIGURA 196 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/02/1996 às 1800 UTC.

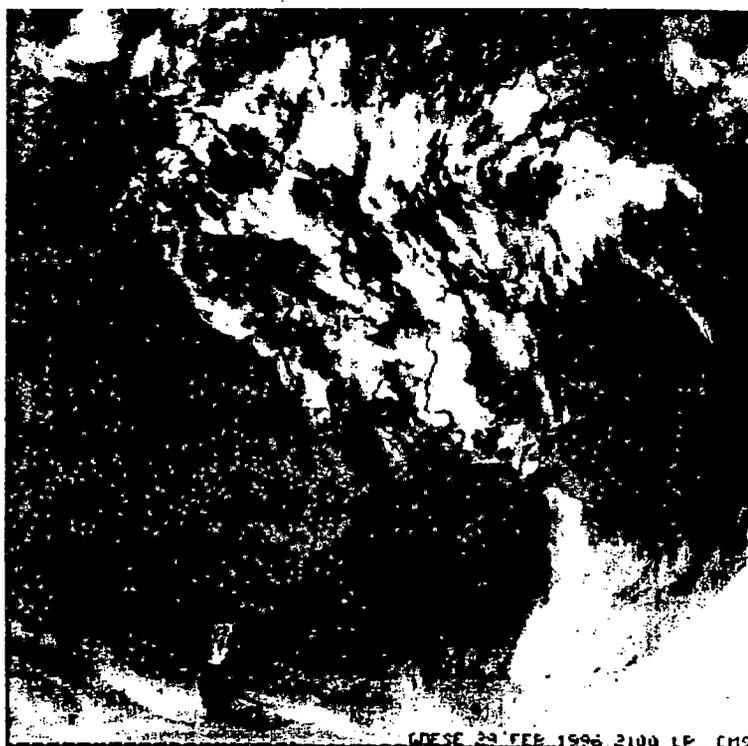


FIGURA 197 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/02/1996 às 2100 UTC.

4.2.3. TERCEIRA FASE EXPERIMENTAL

4.2.3.1. TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA MÉDIA DIÁRIA DO AR

Na terceira fase experimental, realizada no período de 27 a 30 de outubro de 1996, no período menos chuvoso, foram realizadas observações simultâneas em nove locais, sendo que desses, três novos foram introduzidos. A temperatura média horária do ar voltou a apresentar, em todos os locais, o comportamento padrão para a Região Equatorial, isto é, apresentou um aumento gradativo até atingir os máximos valores em torno das 14:00 horas, sofrendo a partir daí um declínio progressivo, até culminar com mínimos valores por volta das 06:00 horas (FIGURAS 198 a 206).

O padrão do comportamento médio horário da umidade relativa do ar apresentou-se bem definido, com os menores valores ocorrendo em torno das 13:00 às 15:00 horas, sofrendo a partir daí um aumento gradativo, atingindo maiores valores por volta das 06:00 horas da manhã (FIGURAS 198 a 206). Os valores médios diários de umidade relativa do ar apresentaram-se bastante elevados na área urbana de Belém, oscilando entre um mínimo de 64 % no bairro da Pedreira, até um máximo de 74 % no bairro de Nazaré. Apesar desta característica geral, durante esta fase da pesquisa foram observadas grandes amplitudes no comportamento médio horário da umidade relativa do ar, sendo alcançado o valor absoluto foi de 51% no bairro da Pedreira, durante as horas mais quentes do dia.

4.2.3.2. TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DO AR

Em relação aos valores das temperaturas médias diárias, esses não apresentaram grandes variações, apesar das grandes diferenças encontradas na tipologia de uso e ocupação do ambiente urbano estudado. Entretanto, foi mantida a tendência dos maiores valores ocorrerem justamente nos locais com deficiente cobertura vegetal e grande atividade antrópicas. O máximo valor de temperatura média diária observado foi de 30,5°C, encontrado no bairro do Jurunas, enquanto que o mínimo valor foi de 28,5°C, observado no interior do Parque Zoobotânico do Museu Paraense Emílio Goeldi, em uma área bastante arborizada, apesar da grande atividade antrópica nas suas proximidades (FIGURA 207).

4.2.3.3. TEMPERATURA MÁXIMA DO AR

As temperaturas máximas apresentaram grandes variações entre os diversos ambientes estudados, variando desde um máximo de 34,1°C, verificado no bairro do Jurunas, caracterizado por apresentar mínima porcentagem de arborização urbana, até um mínimo de 30,5°C verificado no bairro de Nazaré, no interior do Parque Zoobotânico do Museu Paraense Emílio Goeldi, ambiente dotado de grande arborização (FIGURA 208).

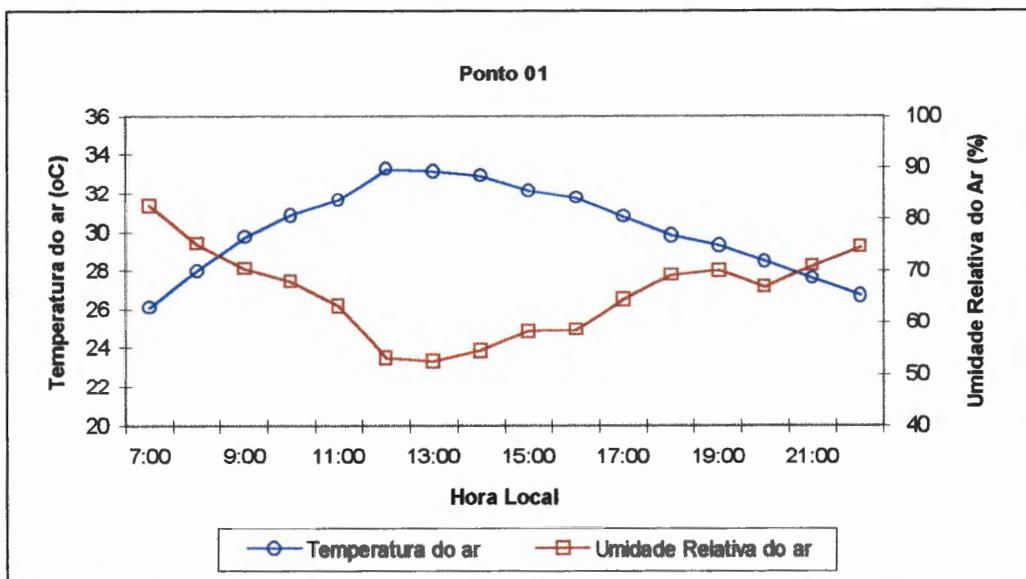


FIGURA 198 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Condor)

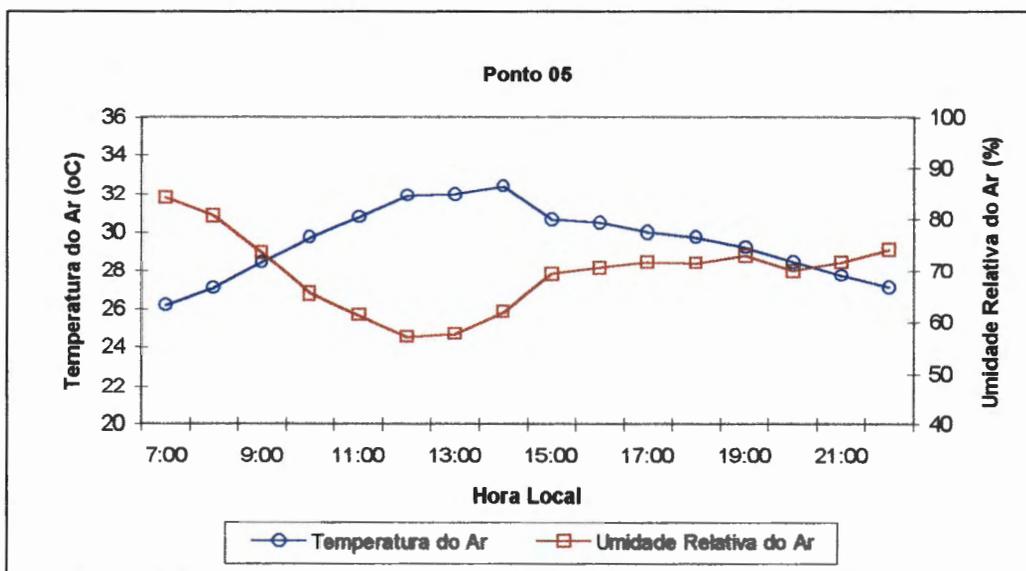


FIGURA 199 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Campina)

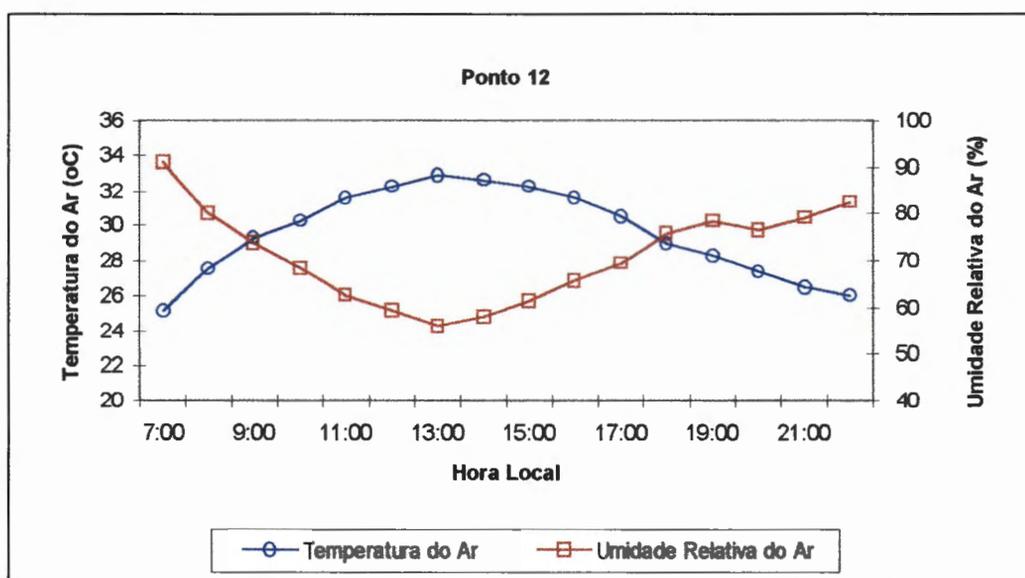


FIGURA 200 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Terra Firme)

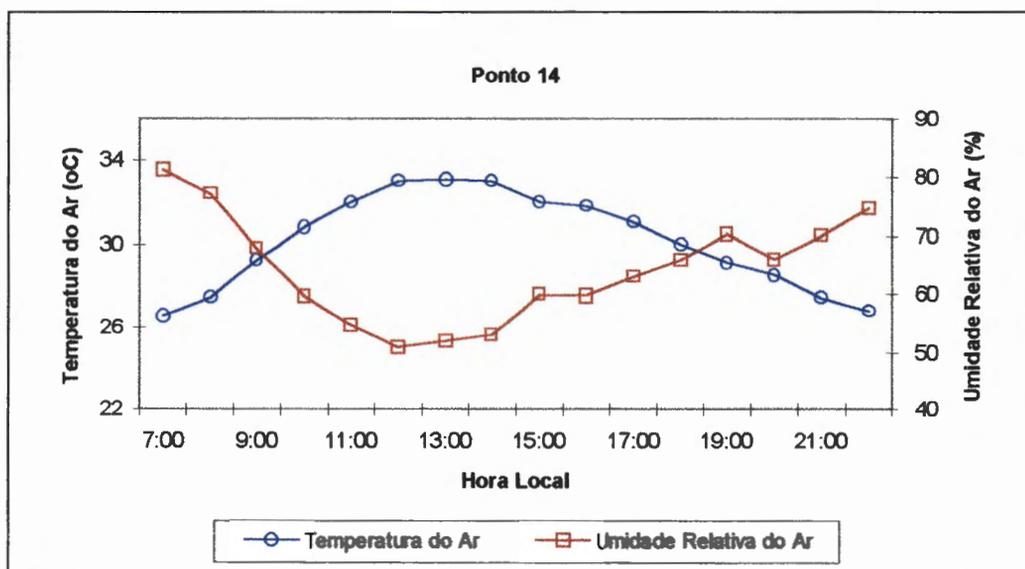


FIGURA 201 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro da Pedreira)

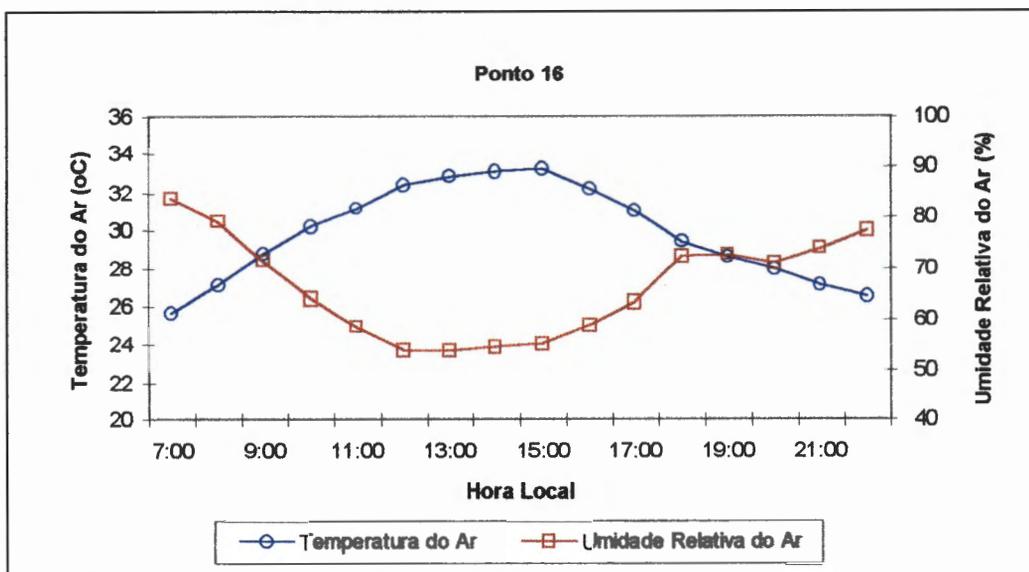


FIGURA 202 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Sacramento)

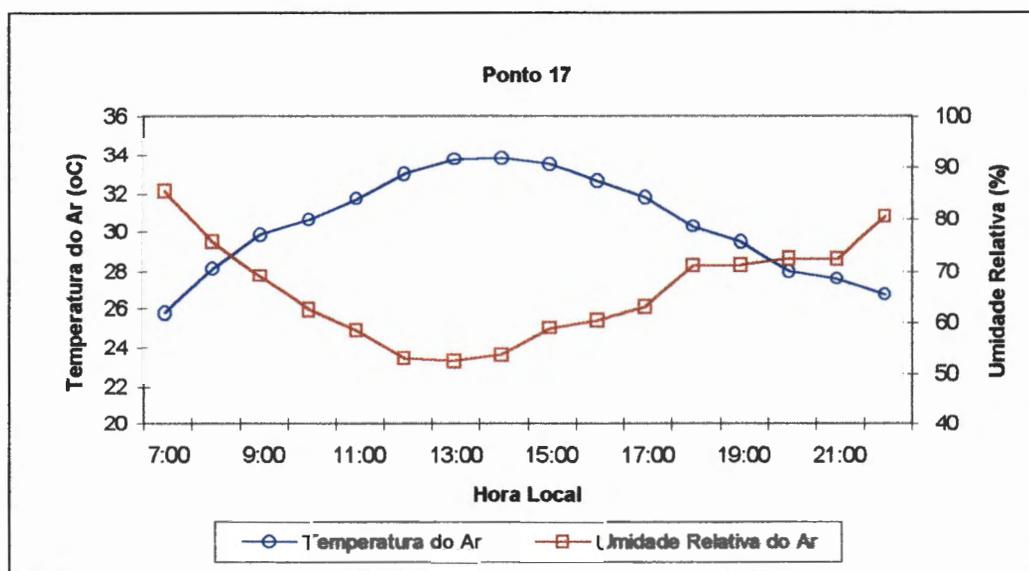


FIGURA 203 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Marco)

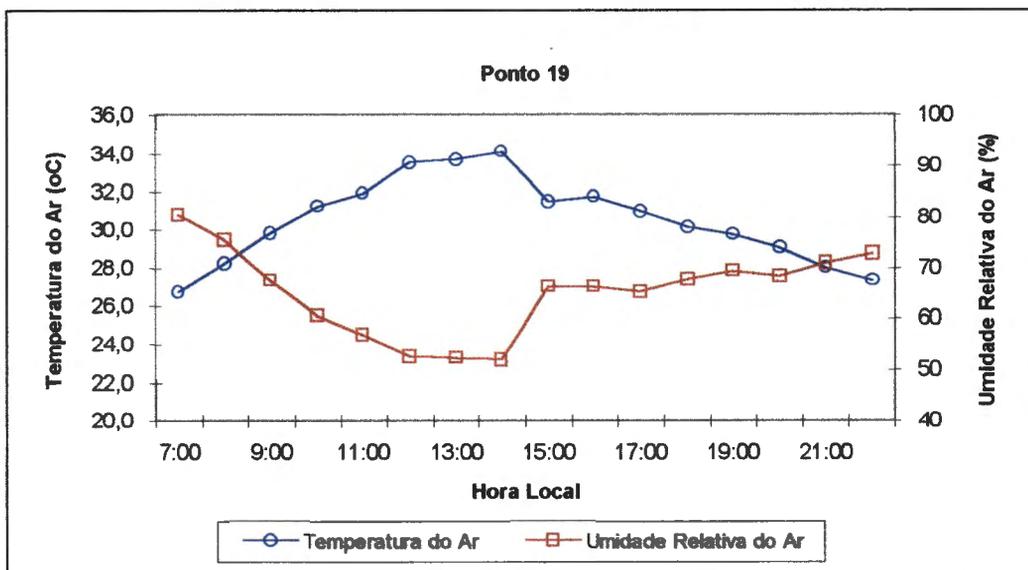


FIGURA 204 - Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Jurunas)

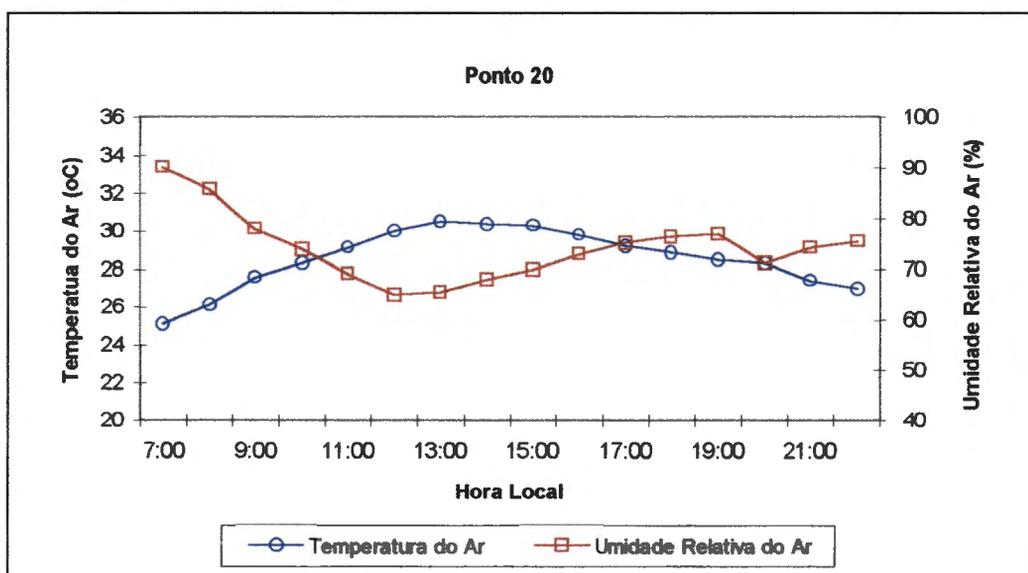


FIGURA 205- Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro de Nazaré)

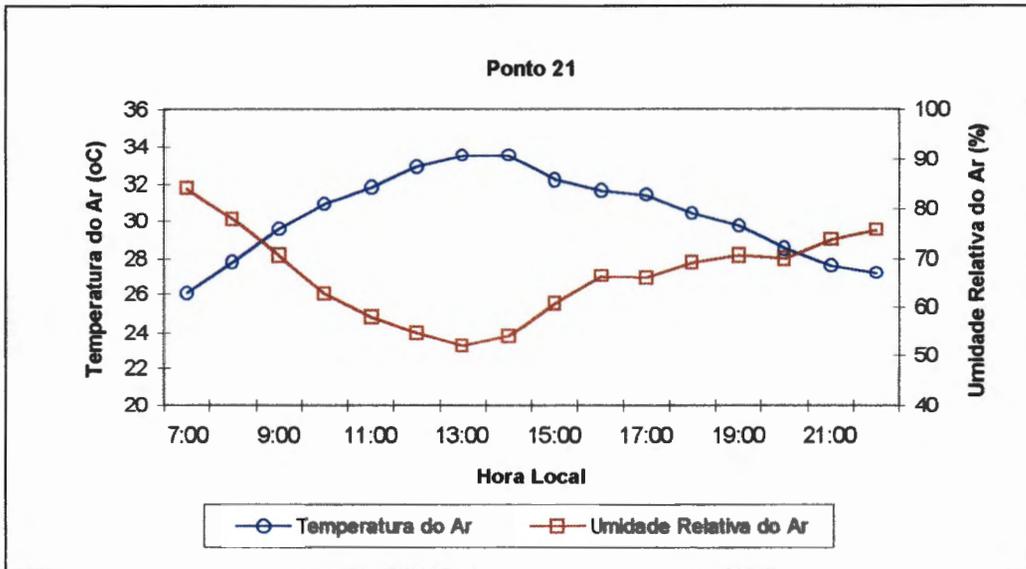


FIGURA 206- Distribuição média horária da temperatura e umidade relativa do ar (Bairro do Marco)

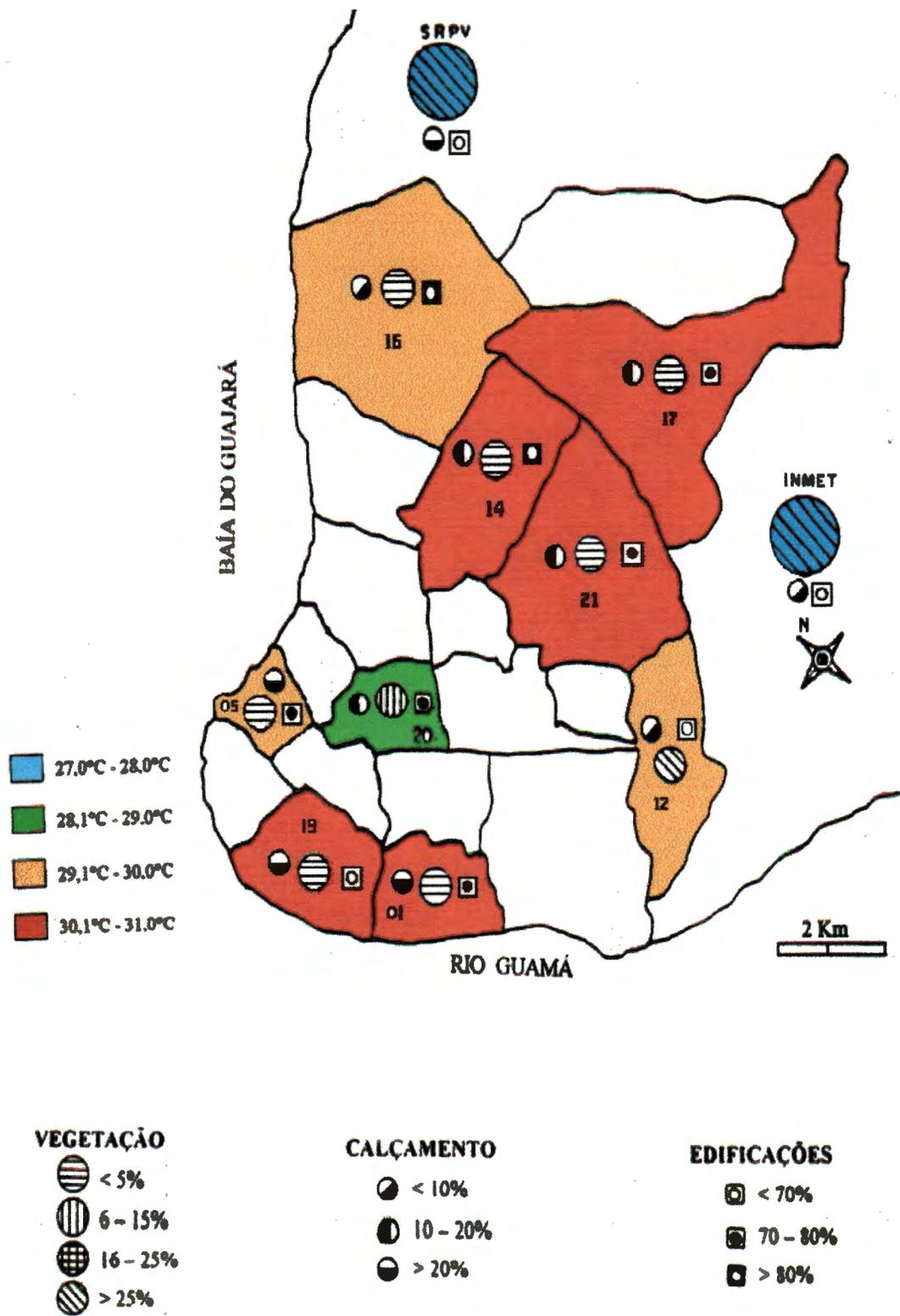


FIGURA 207 - Distribuição da temperatura média diária do ar - Fase III

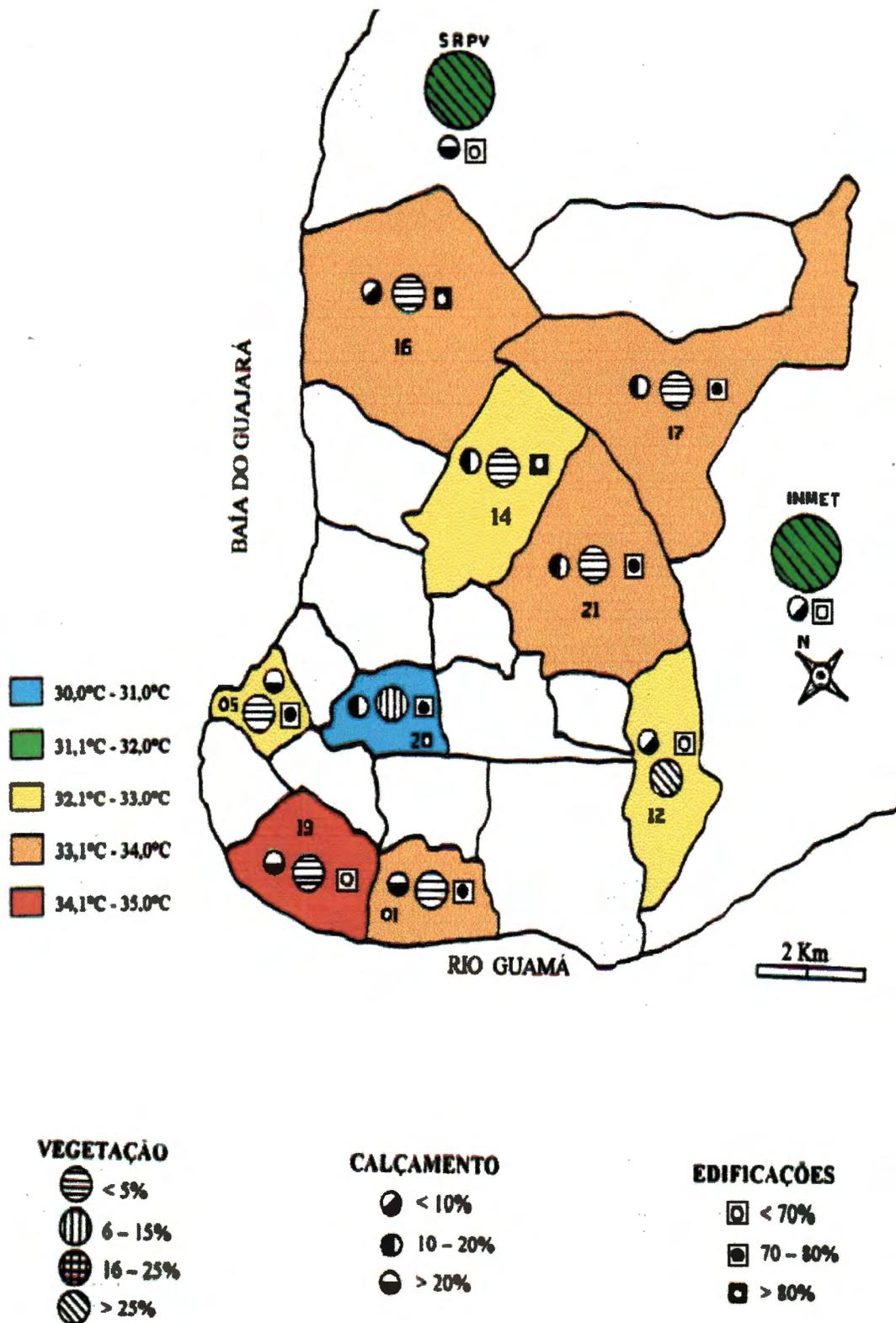


FIGURA 208 - Distribuição da temperatura máxima diária do ar - Fase III

4.2.3.4. TEMPERATURA MÍNIMA DIÁRIA DO AR

Em relação às temperaturas mínimas observadas, essas variaram de um máximo de 26,7°C, verificada no bairro do Jurunas, até um valor mínimo de 25,1°C no bairro de Nazaré. Nesse caso, é importante salientar a ocorrência dos valores térmicos extremos justamente nesses dois bairros, fato justificado pelas características urbanas extremas de ambos (FIGURA 209)

4.2.3.5 AMPLITUDE TÉRMICA

As amplitudes térmicas sofreram variações relativamente menores, quando comparadas com a primeira fase experimental, tendo o valor máximo de 8,0°C ocorrido no bairro do Souza, onde a ausência quase que total de vegetação associado com a característica de construções predominantemente horizontais facilitaram um grande aquecimento durante as horas diurnas, ao passo que durante as horas noturnas essa energia é facilmente liberada para o espaço, acarretando, deste modo, um grande resfriamento.

Os valores diários das temperaturas médias, máximas e mínimas, assim como, do desvio padrão, coeficiente de variação e amplitudes térmicas dos diferentes ambientes estudados são apresentados na TABELA 05.

TABELA 05 - Valores médios diários da temperatura do ar - Fase III

Ponto	Temperatura média do ar (°C)	Desvio Padrão (%)	Coefficiente de Variação (%)	Temperatura máxima do ar (°C)	Temperatura mínima do ar (°C)	Amplitude térmica (°C)
01	30.1	2.3	7.6	33.2	26.1	7.1
05	29.5	1.9	6.3	32.4	26.2	6.2
12	29.6	2.5	8.6	32.9	25.1	7.8
14	30.1	2.3	7.6	33.0	26.6	6.4
16	29.8	2.5	8.5	33.2	25.7	7.5
17	30.4	2.6	8.5	33.8	25.8	8.0
19	30.5	2.3	7.4	34.1	26.7	7.4
20	28.5	1.6	5.6	30.5	25.1	5.4
21	30.3	2.3	7.7	33.5	26.1	7.4
SRPV	27.3	2.8	10.3	31.5	23.4	8.1
INMET	27.5	2.8	10.2	31.6	23.6	8.0

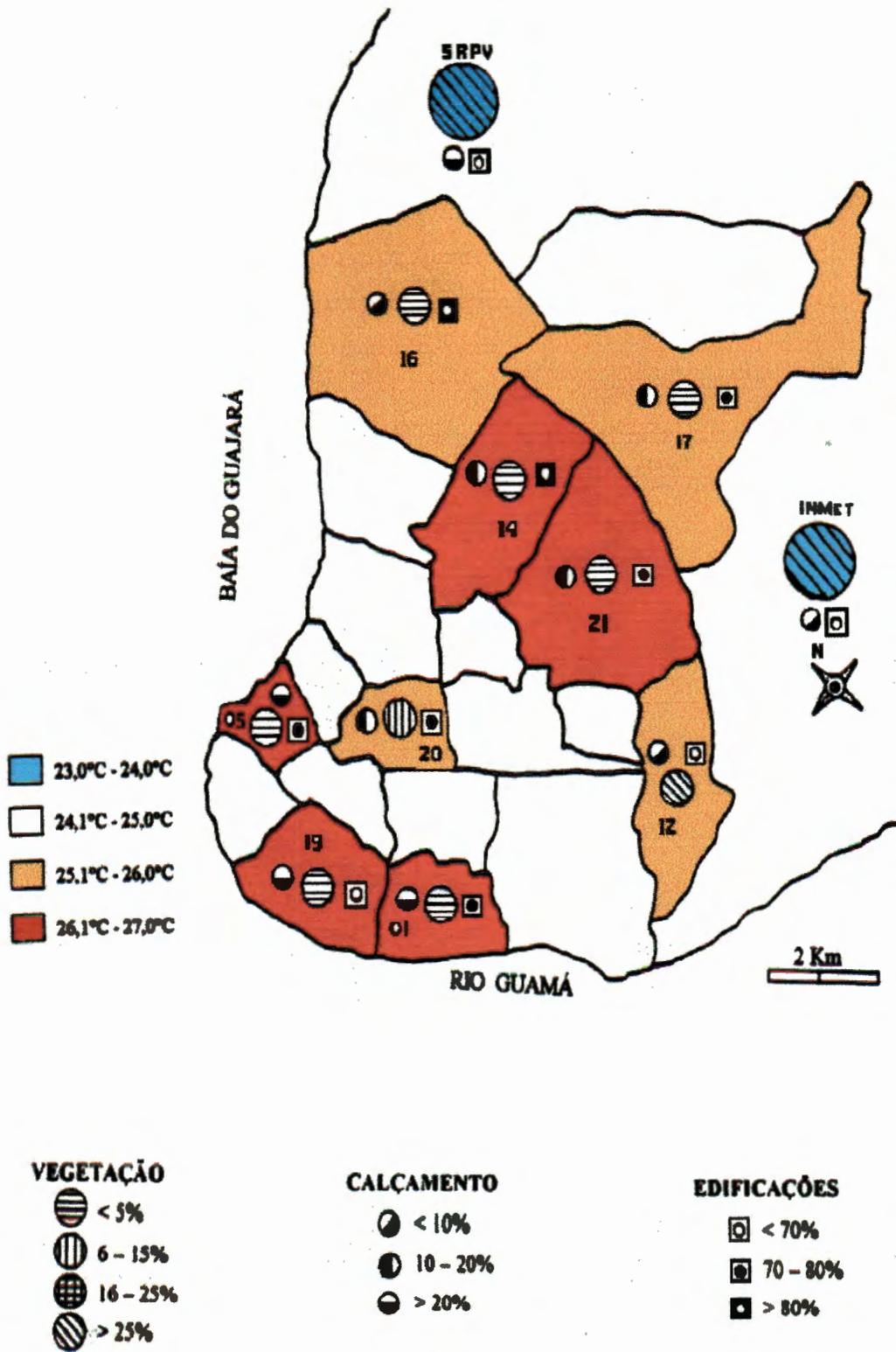


FIGURA 209 - Distribuição da temperatura mínima diária do ar - Fase III

4.2.3.6. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA DO AR

07:00 às 09:00 horas

Nesse horário, com o aquecimento solar inicial, verifica-se a presença de um grande núcleo de 28,0°C cobrindo grande parte da cidade, com exceção dos bairros periféricos e arborizados, onde as temperaturas são sensivelmente menores, oscilando entre 25,0°C e 26,5°C. Localizado em um bairro com intensa atividade urbana, o Parque Zoobotânico do Museu Paraense Emílio Goeldi apresenta valores sensivelmente menores que aqueles verificados nas suas proximidades, fato este justificado pela intensa arborização deste Parque, proporcionando a reflexão de grande parte da radiação solar global (FIGURA 210).

10:00 às 12:00 horas

O padrão de distribuição espacial da temperatura do ar é mantido nesse horário, com elevação da ordem de 4,0°C na grande maioria dos bairros. A exceção foi observada no MPEG, que sofreu um aumento de apenas 2,5°C, evidenciando a grande influência da arborização no sentido de amenizar as temperaturas máximas (FIGURA 211).

13:00 às 15:00 horas

Nesse horário são verificadas as temperaturas mais elevadas do dia, embora o padrão de distribuição espacial ainda apresente-se bem definido, com um grande núcleo de temperaturas elevadas cobrindo grande parte da cidade, e dois núcleos de baixas temperaturas bem definidos em ambientes com alta porcentagem de arborização. O MPEG ainda apresenta a menor temperatura urbana, embora essa diferença seja de apenas 2,5°C em relação aos valores máximos (FIGURA 212).

16:00 às 18:00 horas

Nesse horário é observado um leve declínio na temperatura do ar em todos os ambientes, embora as diferenças não apresentem-se pronunciadas, sendo da ordem de 1,5°C. O padrão de distribuição espacial da temperatura do ar mantém-se basicamente inalterado, sendo que os valores da temperatura do ar no interior do Parque Zoobotânico do MPEG apresentam-se semelhantes aos da área periférica e arborizada (FIGURA 213).

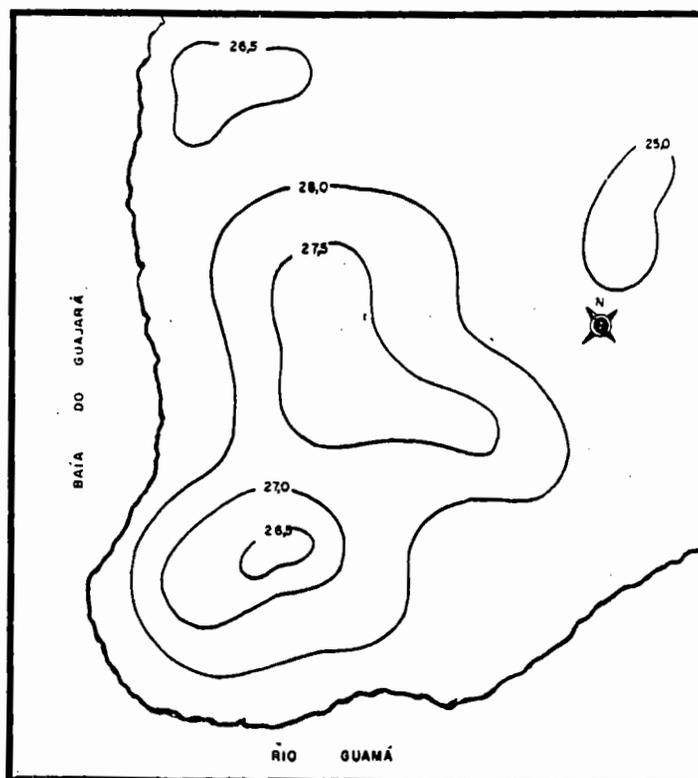


FIGURA 210 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 07:00 às 09:00 horas, durante a terceira fase experimental.

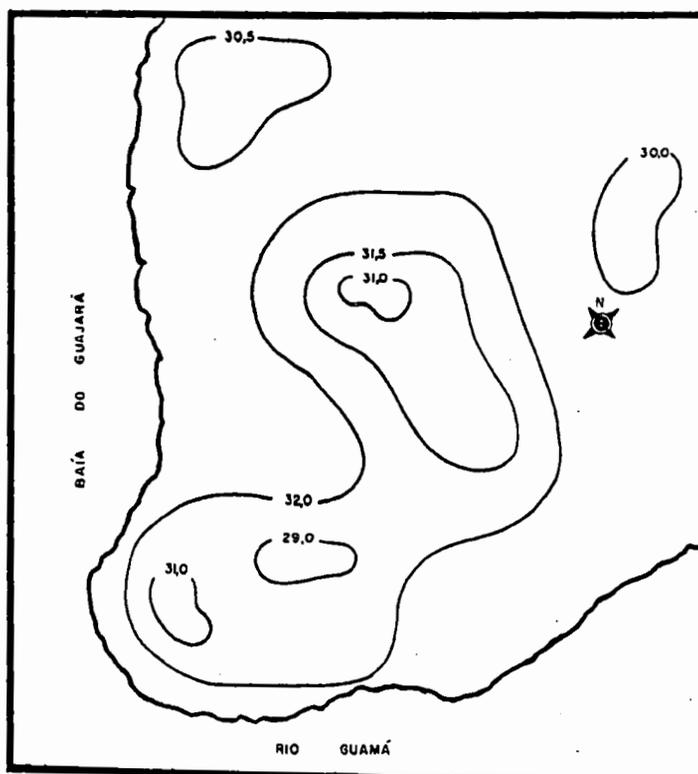


FIGURA 211 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 10:00 às 12:00 horas, durante a terceira fase experimental.

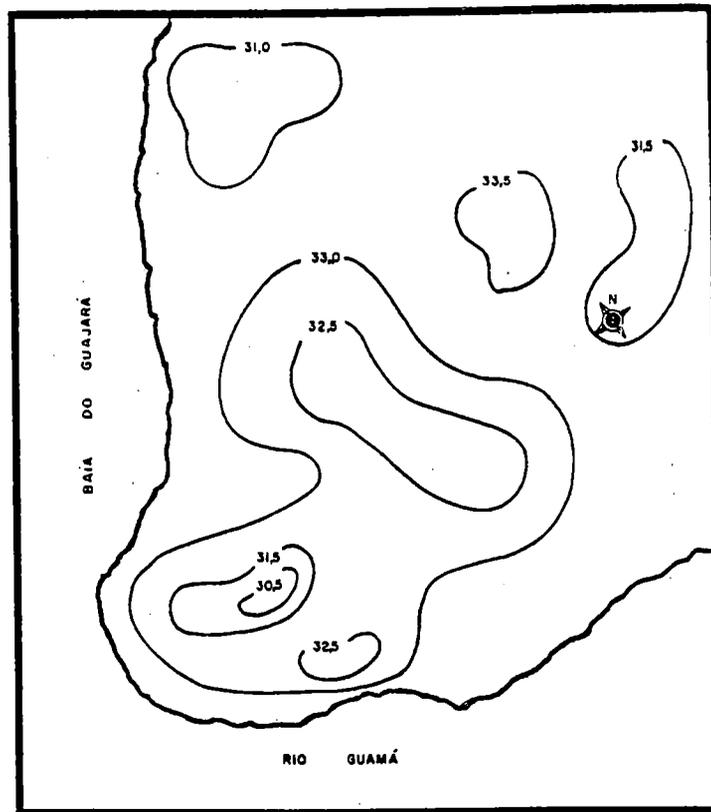


FIGURA 212 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 13:00 às 15:00 horas, durante a terceira fase experimental.

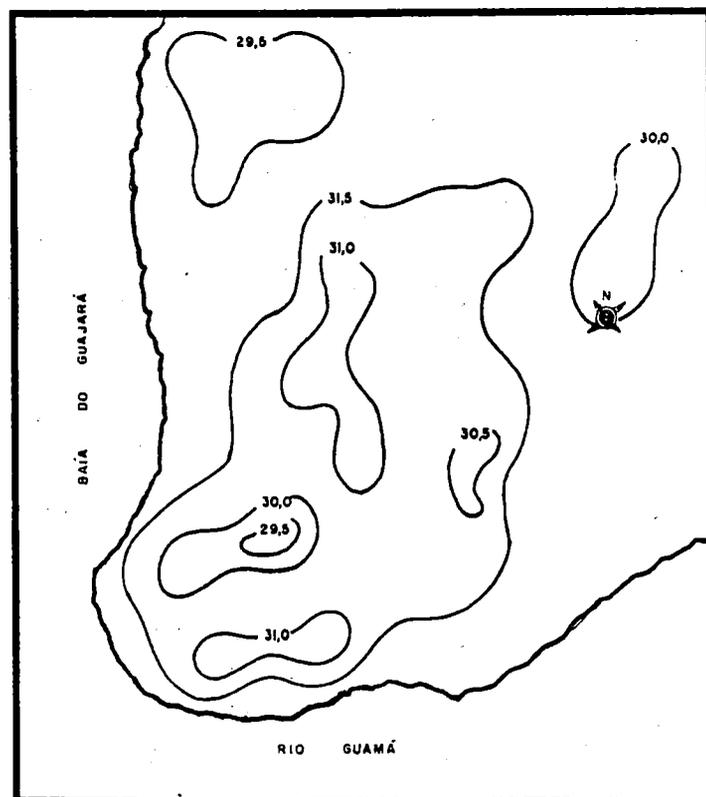


FIGURA 213 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 16:00 às 18:00 horas, durante a terceira fase experimental.

19:00 às 22:00 horas

Nesse horário é verificado um sensível resfriamento em todos os ambientes, sendo que os menores valores são observados nos bairros periféricos e próximos a grandes áreas verdes. A configuração da “ilha de calor urbana” nesse horário pode ser considerada desprezível, uma vez que os seus valores são da ordem de apenas 1,0 °C (FIGURA 214).

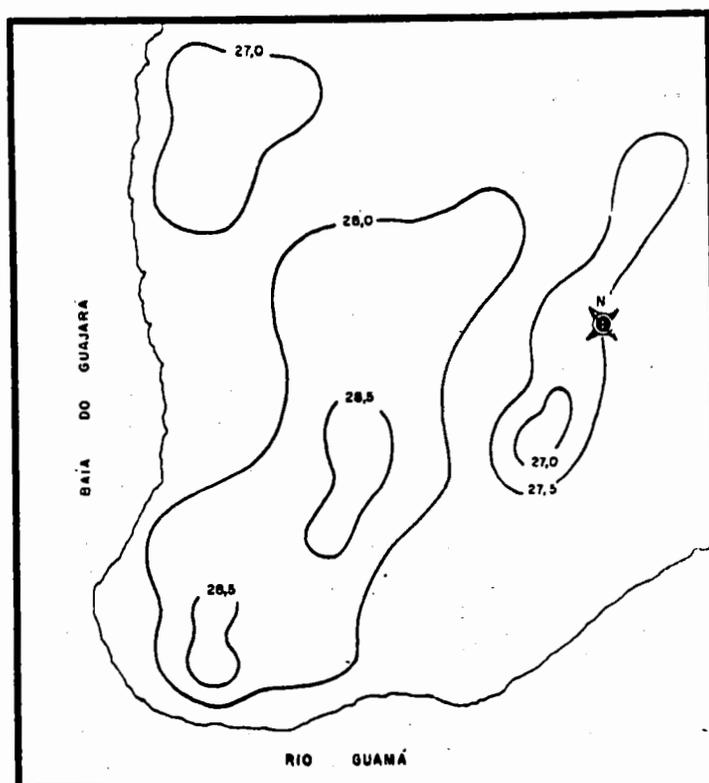


FIGURA 214 - Distribuição espacial da temperatura média do ar no intervalo das 19:00 às 22:00 horas, durante a terceira fase experimental.

4.2.3.7. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA UMIDADE RELATIVA DO AR

07:00 às 09:00 horas

Nesse horário, com o início do aquecimento solar, observam-se diversos núcleos bem definidos com valores elevados de umidade relativa do ar, predominando em torno de ambientes com alta porcentagem de arborização, e apresentando valores superiores a 85%. Os demais ambientes apresentam valores que oscilam entre 75% e 80% (FIGURA 215).

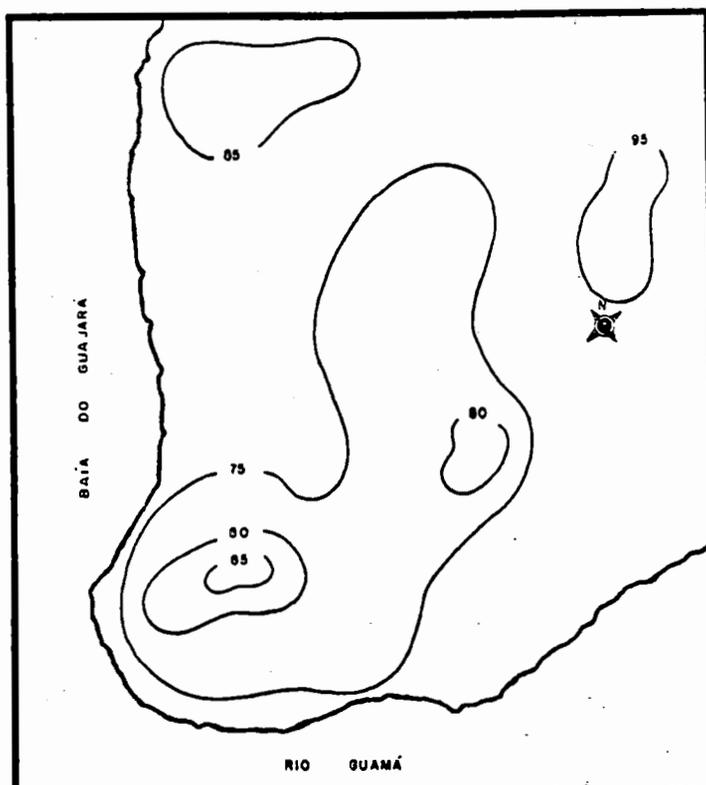


FIGURA 215 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 07:00 às 09:00 horas, durante a terceira fase experimental.

10:00 às 12:00 horas

Nesse horário a umidade relativa do ar apresenta um sensível declínio, com vários núcleos oscilando entre 55% e 60%, cobrindo grande parte da cidade. Apenas os bairros periféricos e próximos a grandes áreas arborizadas apresentam valores médios da ordem de 65%, sendo o máximo valor, de 70%, observado no interior do Parque Zoobotânico do MPEG (FIGURA 216).

13:00 às 15:00

Nesse horário todos os valores apresentam-se ainda menores que o horário anterior, com a caracterização de um grande núcleo de baixos valores cobrindo grande parte da cidade, e com valores médios de 55%. Os maiores valores continuam ocorrendo no interior do Parque Zoobotânico do MPEG, com valores de 70% (FIGURA 217).

16:00 às 18:00 horas

Com o resfriamento gradativo a partir das 16:00 horas, começa a ocorrer um leve aumento nos valores da umidade relativa do ar em todos os bairros, sendo mantido entretanto, o padrão básico de distribuição espacial do horário anterior (FIGURA 218).

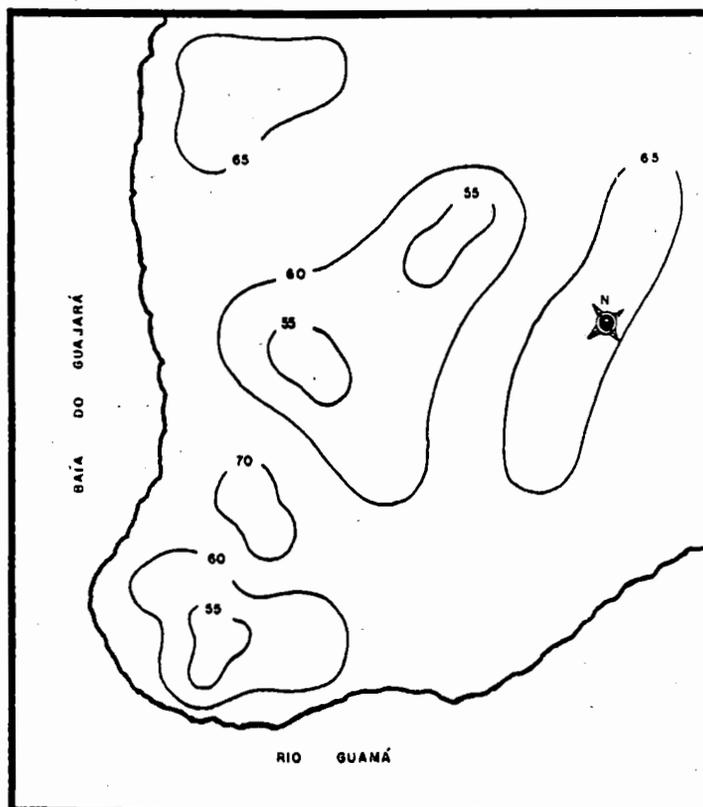


FIGURA 216 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 07:00 às 09:00 horas, durante a terceira fase experimental.

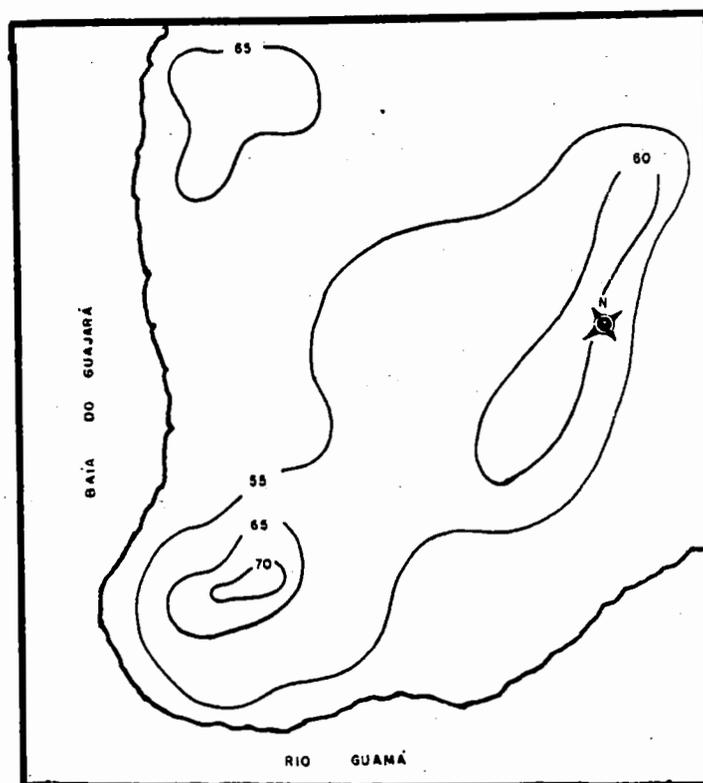


FIGURA 217- Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 13:00 às 15:00 horas, durante a terceira fase experimental.

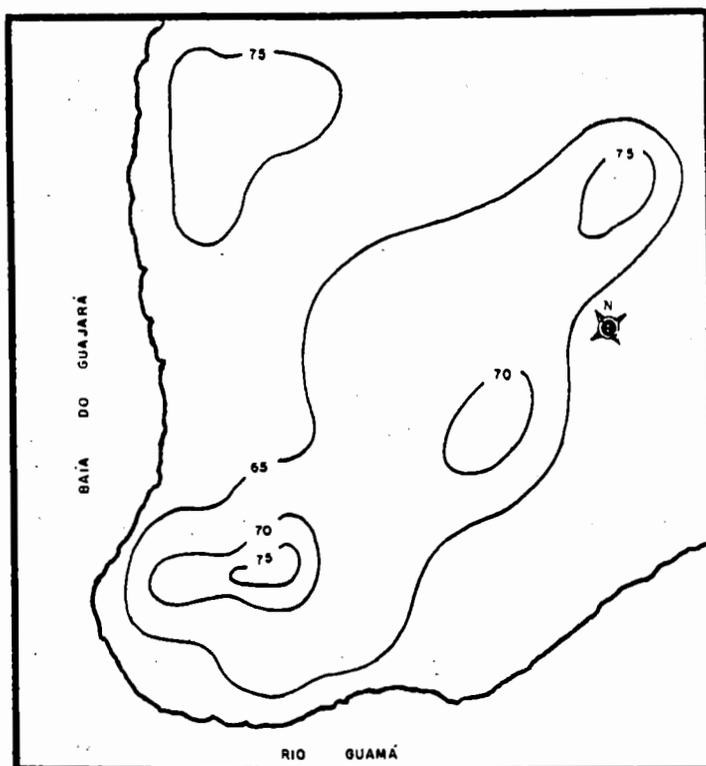


FIGURA 218 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 16:00 às 18:00 horas, durante a terceira fase experimental.

19:00 às 22:00

O padrão de distribuição espacial da umidade relativa do ar é mantido como no horário anterior, entretanto, é verificado um aumento significativa no valor médio, oscilando entre 70% e 80%. Os bairros periféricos sofreram aumentos mais intensos, quando comparados com os bairros mais centrais, sendo que, o Parque Zoobotânico do MPEG manteve o seu padrão inalterado até este horário (FIGURA 120)



FIGURA 219 - Distribuição espacial da umidade relativa do ar no intervalo de 19:00 às 22:00 horas, durante a terceira fase experimental.

4.2.3.8. DIFERENÇAS TERMO-HIGROMÉTRICAS ENTRE AMBIENTES URBANOS E RURAL

As variações térmicas ocorridas entre os diversos ambiente urbanos em relação ao ambiente rural, nessa fase experimental, foram bastante diferentes daquelas verificadas durante a primeira fase. Além de apresentarem variações relativamente menores que aquelas verificadas por ocasião da primeira fase experimental, estas foram maiores durante as primeiras horas da manhã, prolongando-se até aproximadamente as 15:00 horas, quando tais diferenças tornaram-se praticamente desprezíveis, na grande maioria dos locais estudados. As exceções ocorreram justamente nos bairros do Jurunas e do Marco, onde a grande carência de arborização associada à intensa atividade urbana, proporcionaram a ocorrência das maiores diferenças durante grande parte do dia (FIGURAS 220 a 237).

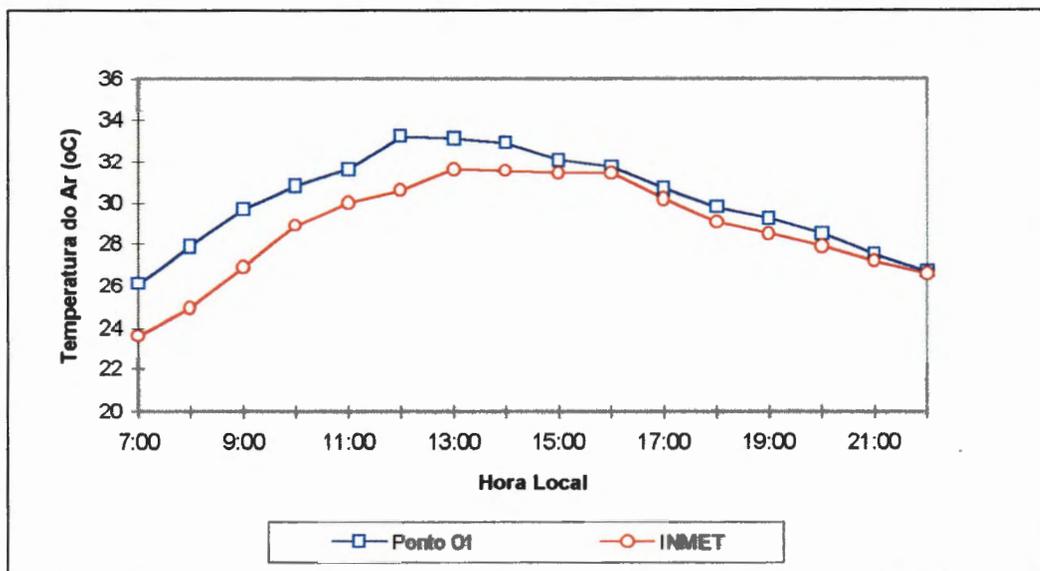


FIGURA 220 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Condor)

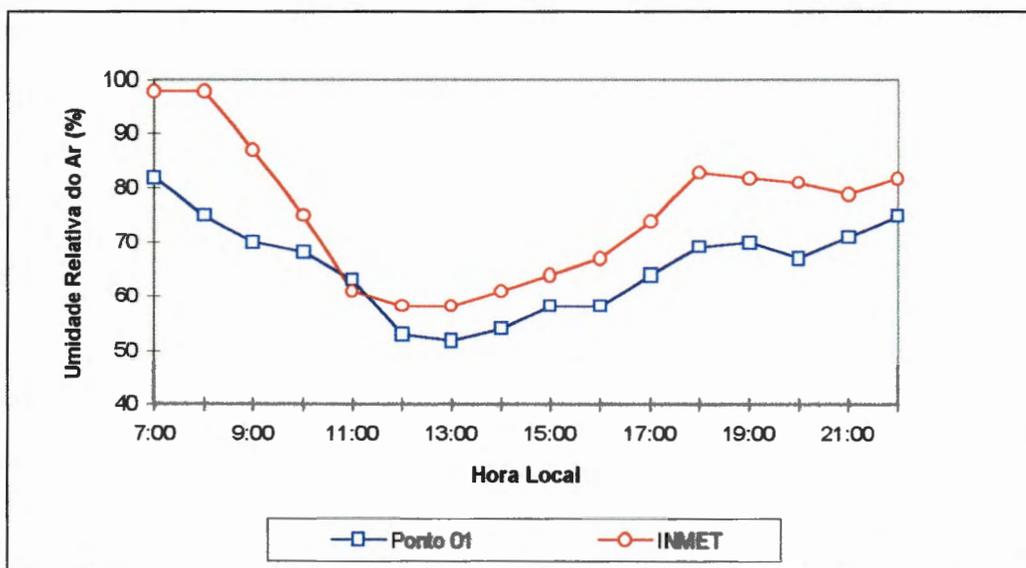


FIGURA 221 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Condor)

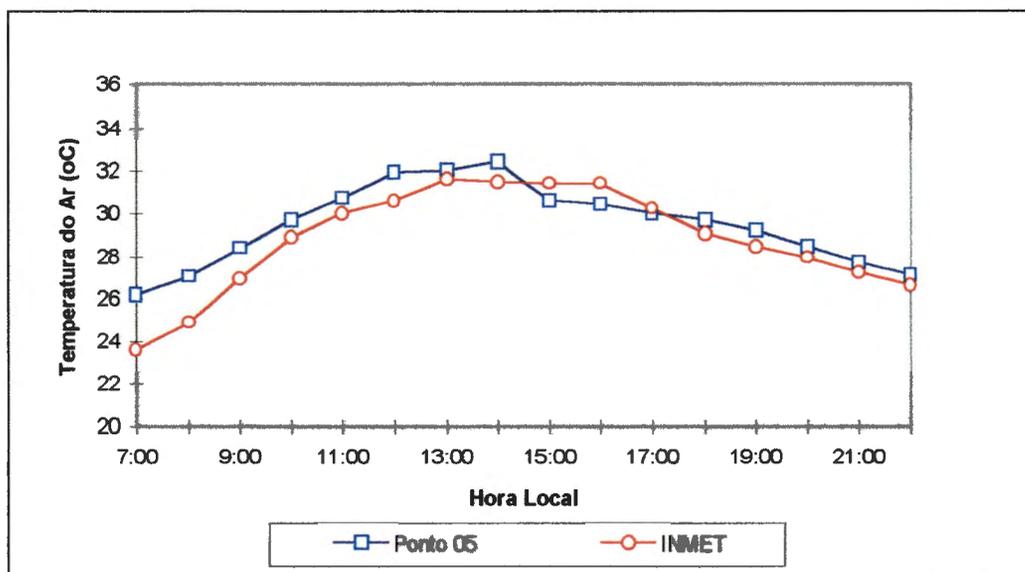


FIGURA 222 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Campina)

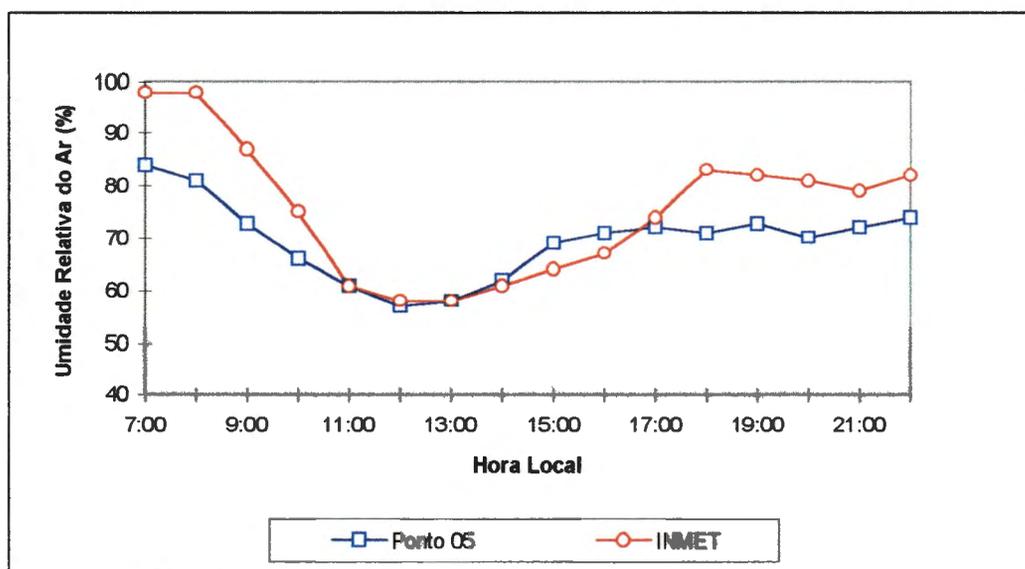


FIGURA 223 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Campina)

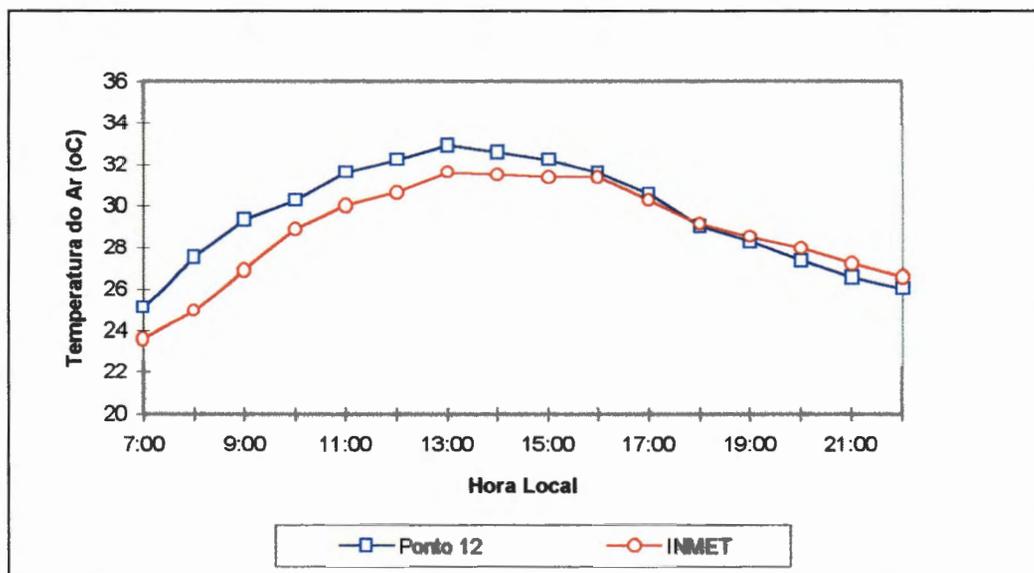


FIGURA 224 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Terra Firme)

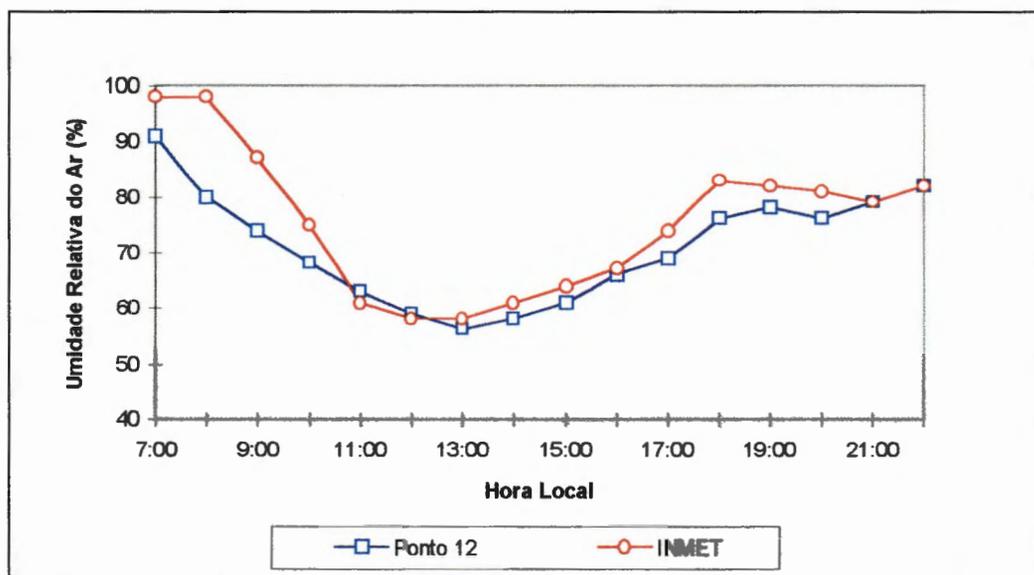


FIGURA 225 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Terra Firme)

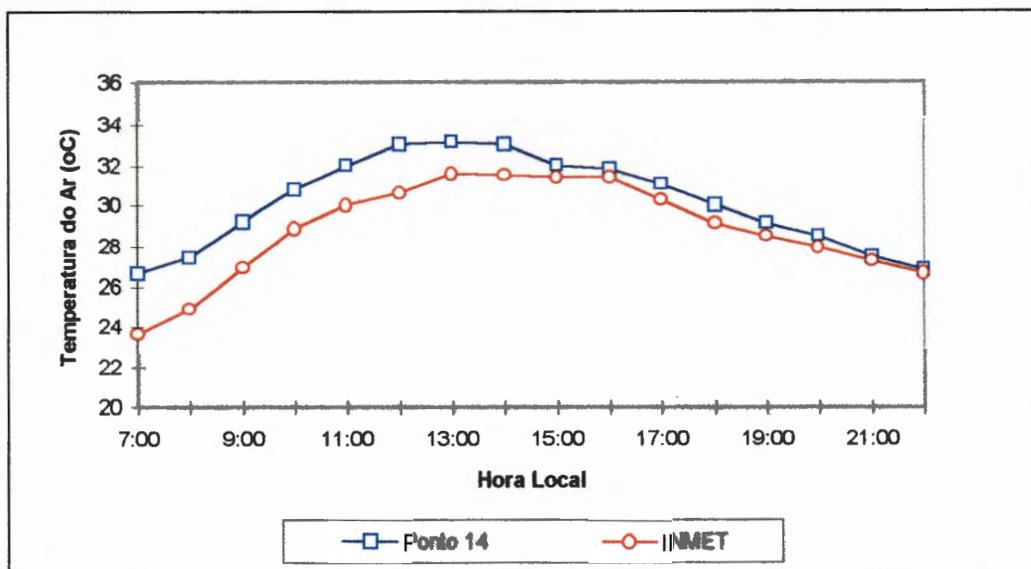


FIGURA 226 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Pedreira)

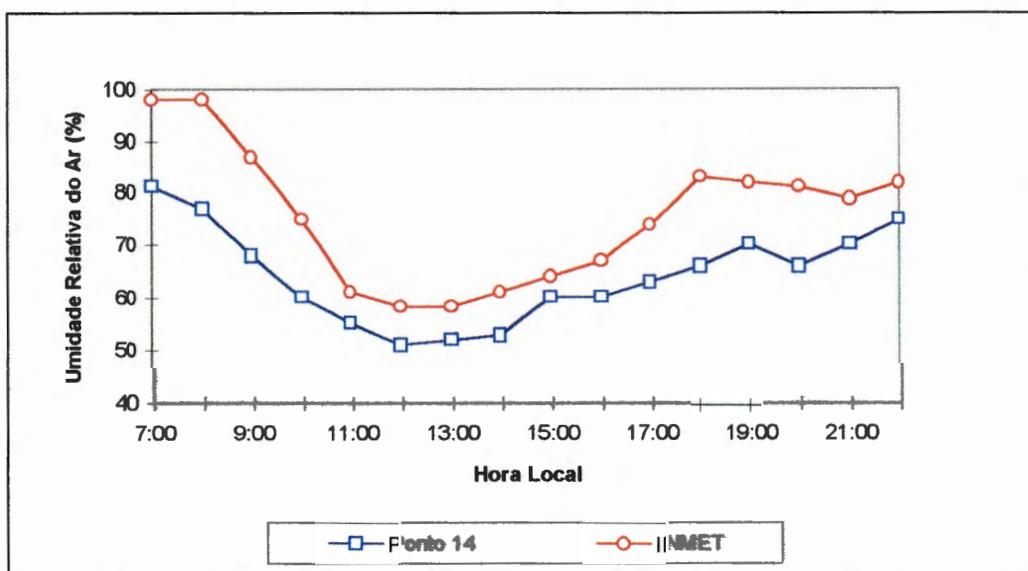


FIGURA 227 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Pedreira)

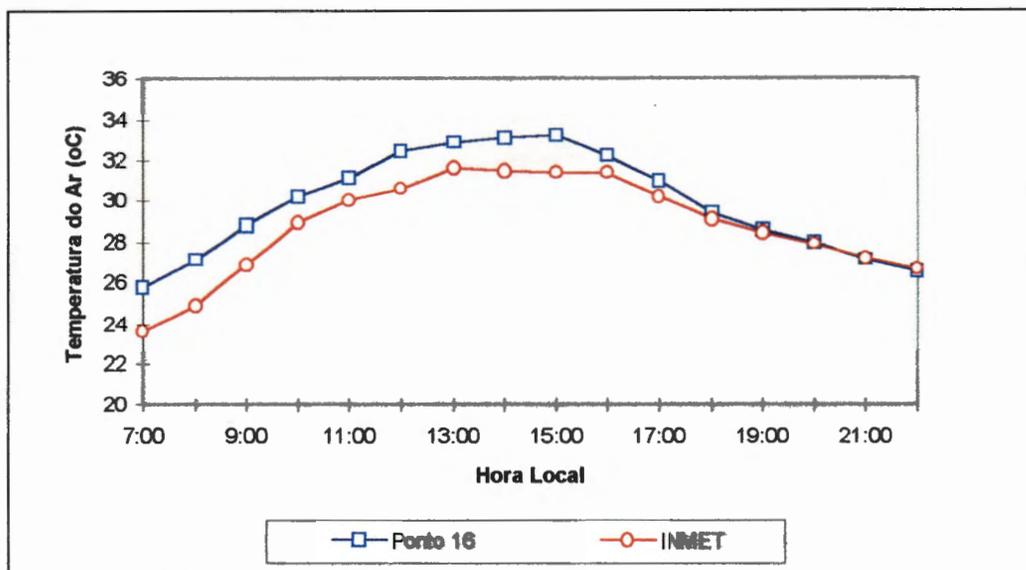


FIGURA 228 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Sacramento)

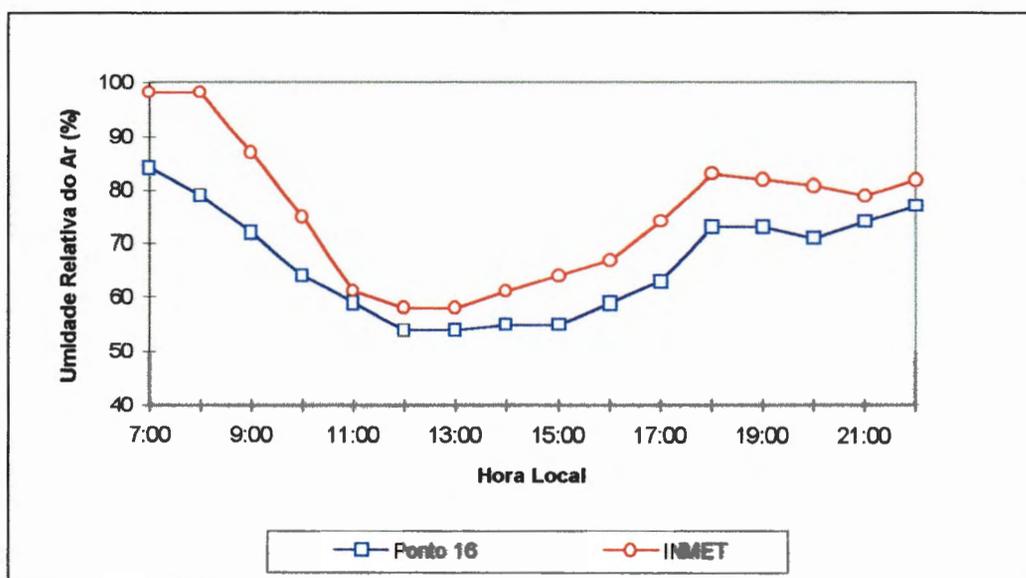


FIGURA 229 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Sacramento)

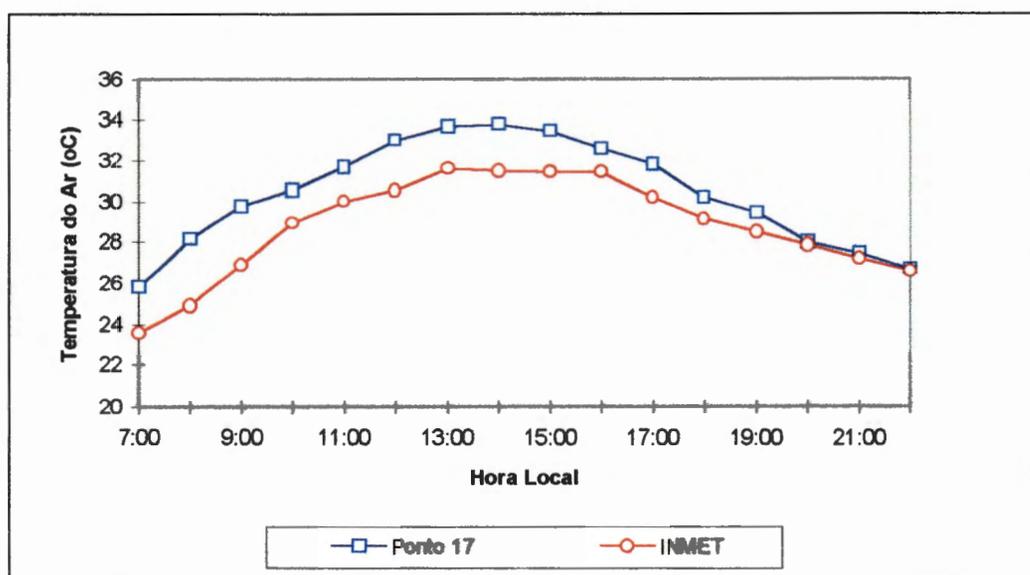


FIGURA 230 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Souza)

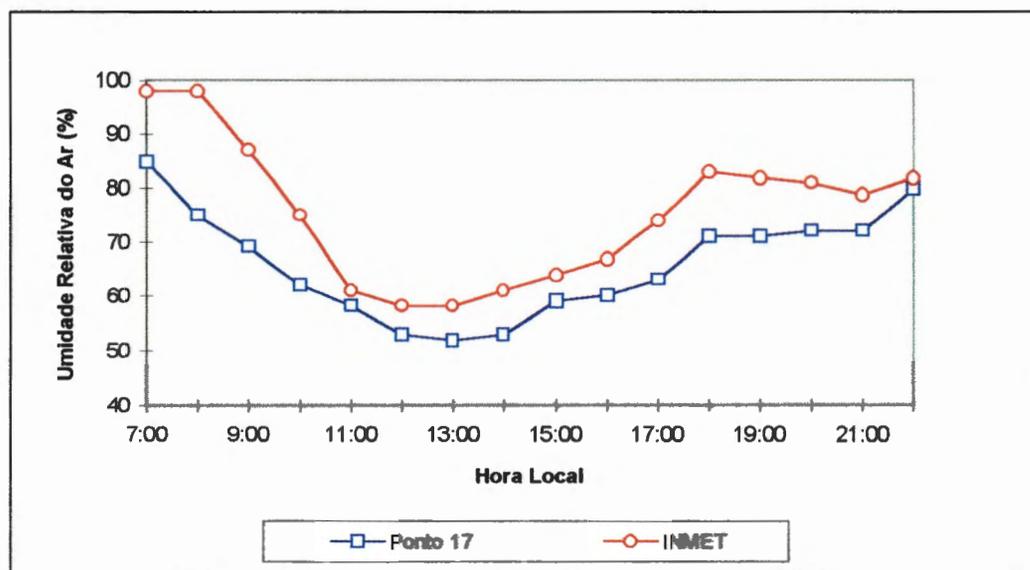


FIGURA 231 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Souza)

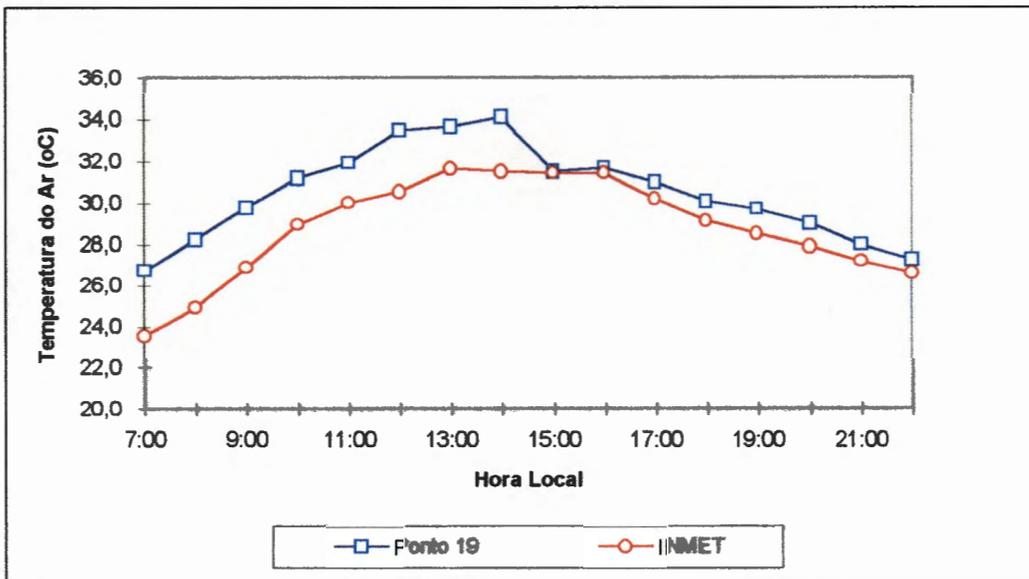


FIGURA 232 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Jurunas)

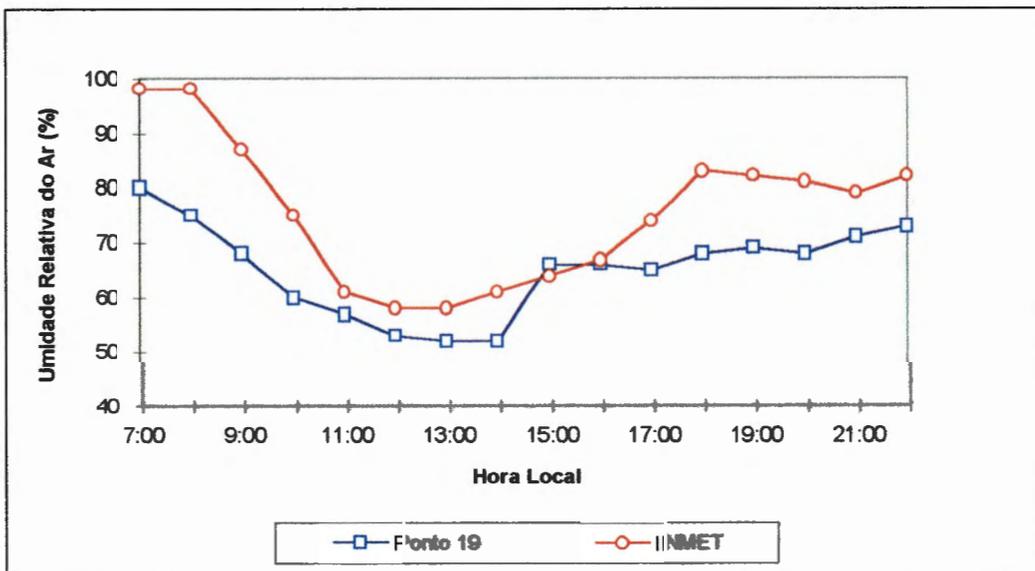


FIGURA 233 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro da Jurunas)

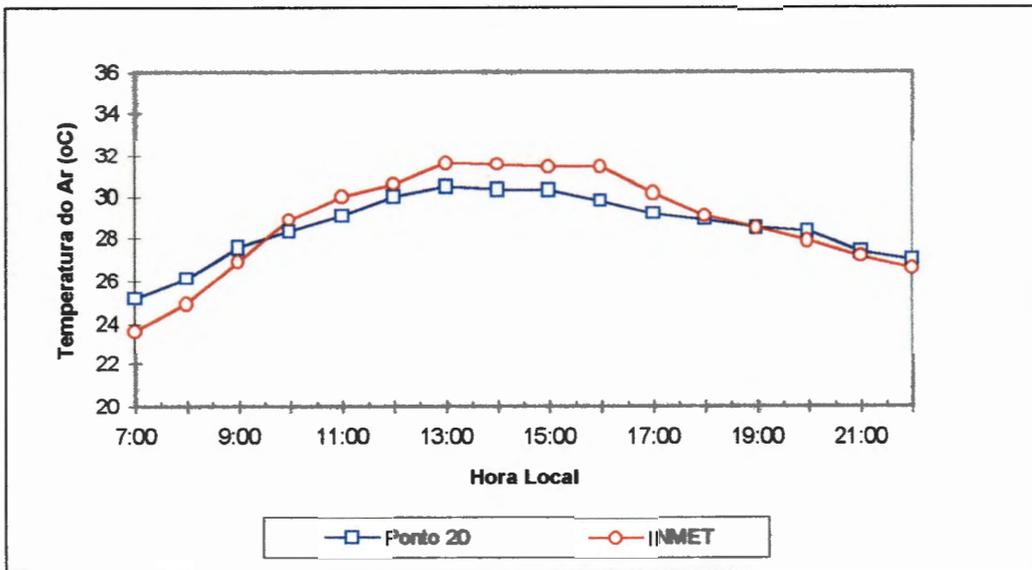


FIGURA 234 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro de Nazaré)

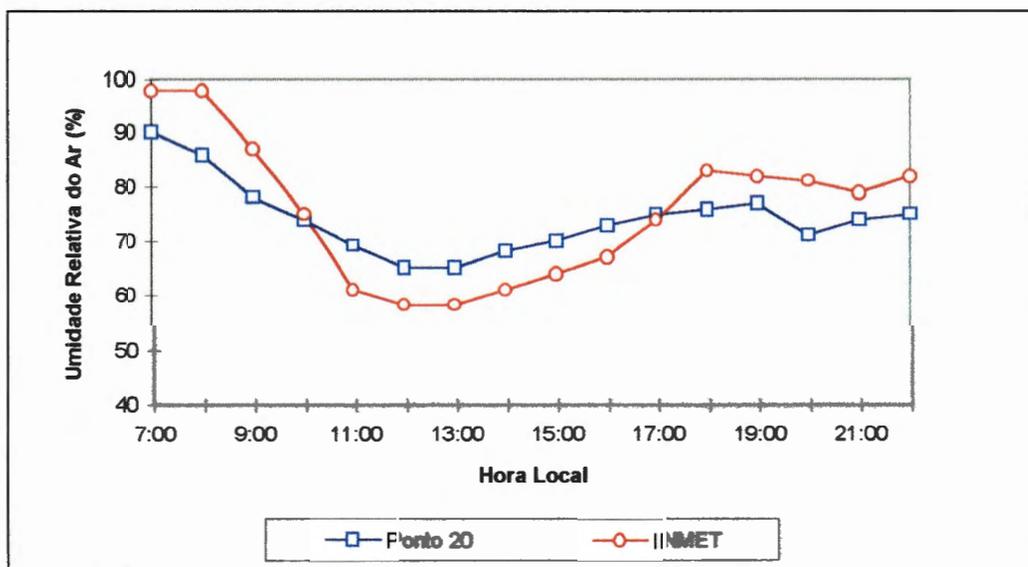


FIGURA 235 - Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro de Nazaré)

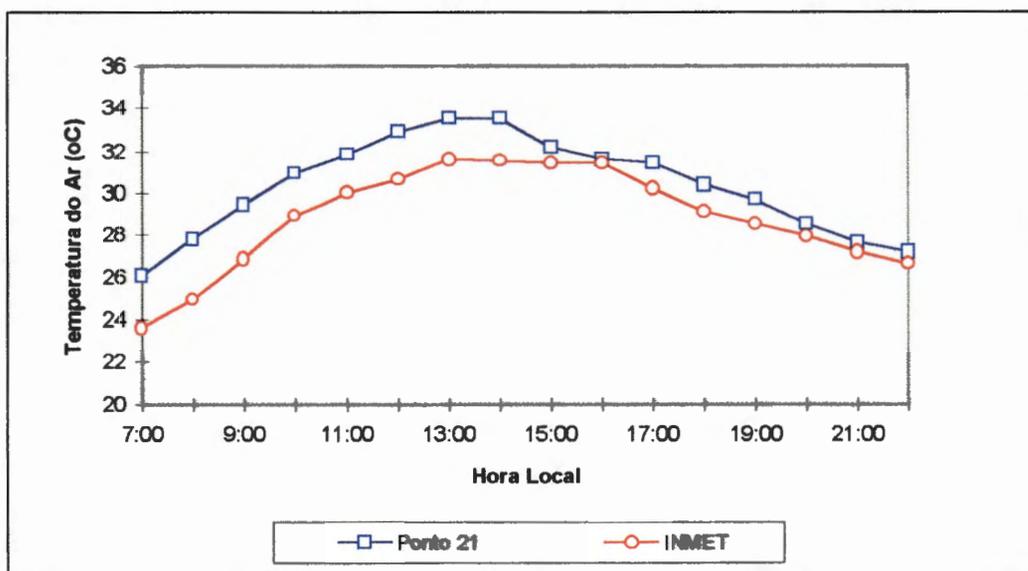


FIGURA 236 - Diferenças médias horárias de temperatura do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Marco)

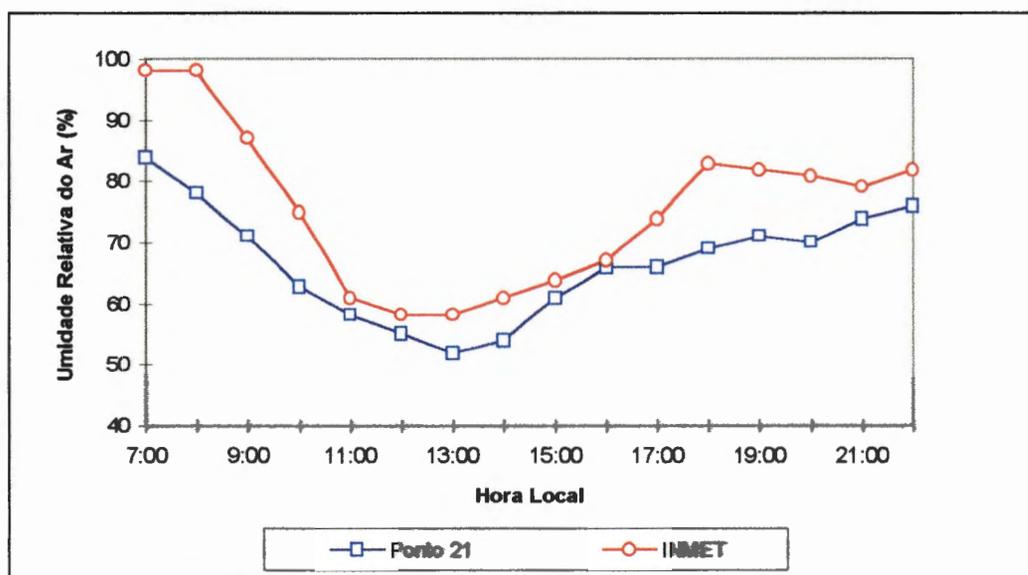


FIGURA 237- Diferenças médias horárias de umidade relativa do ar entre área urbana e área rural. (Bairro do Marco)

4.2.3.9. UMIDADE ESPECÍFICA E UMIDADE ABSOLUTA DO AR

A exemplo da primeira fase experimental, a umidade específica do ar não apresentou um padrão de distribuição bem definido ao longo do dia, embora os seus valores médios tenham se apresentado muito próximos aos observados durante a primeira fase, em todos os locais amostrados. Os valores médios, máximos e mínimos observados foram da ordem de 17,5 g/Kg, 18,8 g/Kg e 16,4 g/Kg, respectivamente. Deste modo, a umidade específica mostrou-se pouco variável no decorrer do dia e com valores relativamente elevados, independente do local considerado (ANEXO D)

Nessa fase experimental a umidade absoluta do ar não apresentou um padrão bem definido em relação a distribuição média horária, assim como, em relação à distribuição dos diversos ambientes observados (ANEXO D). Os valores médios, máximos e mínimos observados foram da ordem de 20,2 g/m³, 21,6 g/m³ e 19,4 g/m³, respectivamente. A exemplo da umidade específica do ar, a sua variabilidade espacial e temporal também foi relativamente pequena, e com valores elevados em todos os locais amostrados.

4.2.3.10. NEBULOSIDADE

A nebulosidade média diária apresentou grande variabilidade durante esta campanha, muito embora o seu comportamento siga um padrão bem característico. Sendo assim, observa-se que a partir das 19:00 horas até aproximadamente as 09:00 horas predomina, basicamente, condições de céu claro ou com uma porcentagem mínima de nebulosidade, para todos os locais observados. Nos demais horários a porcentagem de cobertura do céu é bastante variável, sendo predominante o valor médio de 4/8 (ANEXO B).

4.2.3.11. DIREÇÃO E VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO

Na realização dessa fase, a exemplo da anterior, a velocidade do vento foi estimada através da escala de Beaufort, com o objetivo de se ter uma idéia aproximada do comportamento desse elemento nos diversos ambientes amostrados.

A velocidade média diária do vento apresentou os maiores valores nos bairros mais periféricos, onde predominam edificações horizontais, enquanto que as menores velocidades foram observadas nos bairros centrais, caracterizados por apresentarem grande porcentagem de edificações elevadas e arborização urbana. Nessa campanha observou-se que, apesar da grande variabilidade diária entre os diversos ambientes amostrados, os seus valores médios estimados oscilaram entre um máximo de 3,5 m/s e um mínimo de 0,5 m/s, valores estes relativamente maiores que àqueles verificados por ocasião da primeira fase experimental (FIGURA 238).

No que se refere ao comportamento médio horário, essa não apresentou um padrão de distribuição bem definido. Em termos absolutos, os maiores valores foram observadas no intervalo das 10:00 às 16:00 horas, onde predominam intensas atividades convectivas, o que possibilita a formação de fortes correntes de ar.

Em relação à direção do vento, esta apresentou uma predominância de Nordeste, independente dos locais de observações. Entretanto, devido às características urbanas locais, esta direção preferencial sofreu, em alguns casos, bruscas variações horárias.

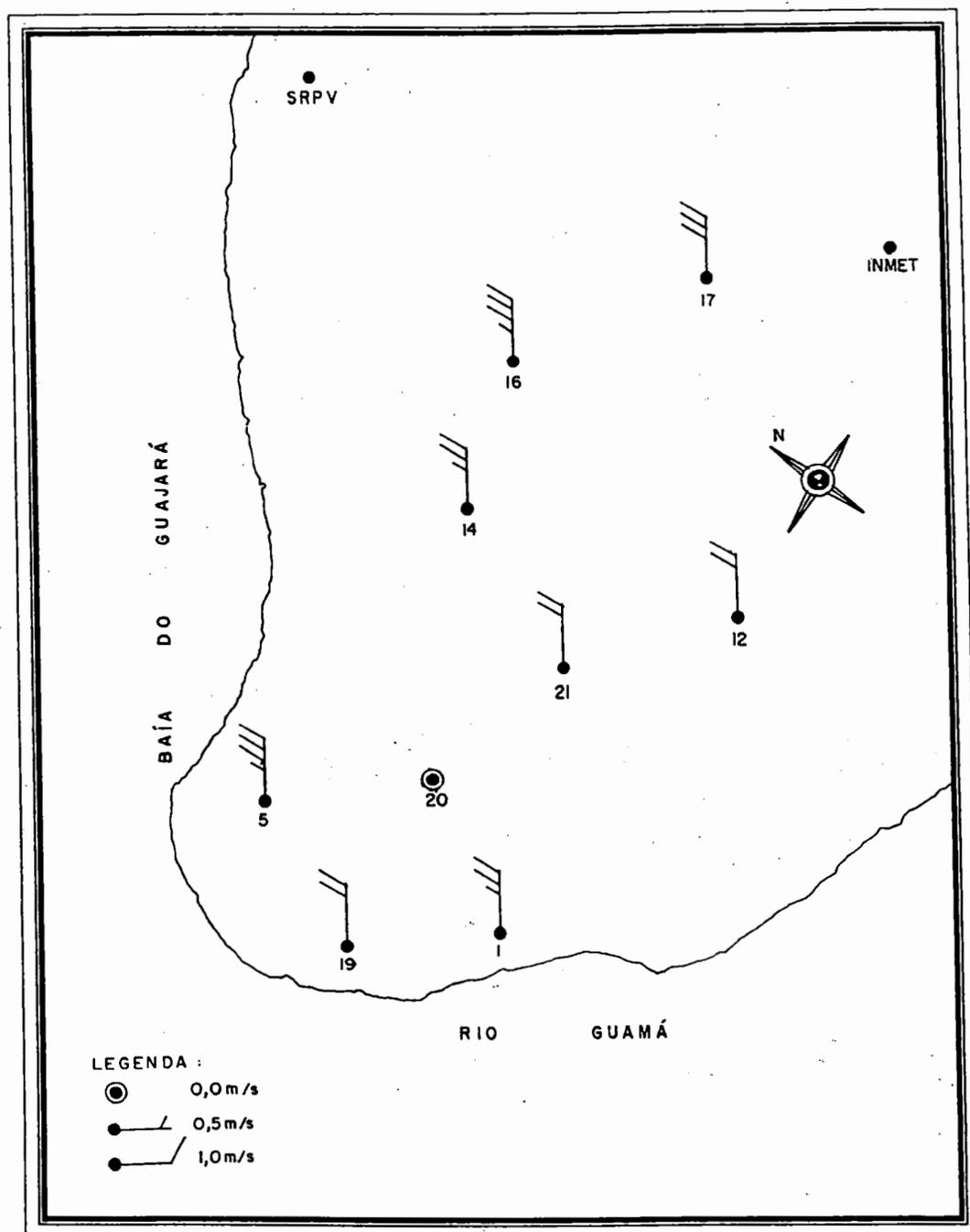


FIGURA 238 - Distribuição média diária da direção e velocidade do vento - Fase III

4.2.3.12 CONDIÇÕES SINÓTICAS

ANÁLISE DO DIA 27/10/96 (0900 e 1200 UTC)

A imagem das 0900 UTC (FIGURA 239), mostrou a região de Belém com predominância de tempo bom, com pouca nebulosidade. No Sul do Brasil observa-se um sistema frontal com nebulosidade convectiva associada.

No decorrer do período, analisando-se a imagem das 1200 UTC (FIGURA 240), observa-se que as condições de tempo em Belém não sofreram alterações. O sistema frontal ainda observado na imagem anterior ainda permanece sobre o Sul do Brasil.

ANÁLISE DO DIA 28/10/96 (0900 e 1200 UTC)

Nas imagens das 0900 UTC (FIGURA 241) e 1200UTC (FIGURA 242), observa-se que Belém apresenta-se com céu parcialmente nublado, com predominância de nuvens baixas. O sistema frontal que estava localizado no Sul do Brasil sofreu um ligeiro deslocamento, encontrando-se agora sobre o Sudeste do Brasil.

ANÁLISE DO DIA 29/10/96 (0900, 1500, 1800 e 2100 UTC)

Nas imagens das 0900 UTC (FIGURA 243), 1500 UTC (FIGURA 244) e 1800 UTC (FIGURA 245) não foram observadas variações nas condições de tempo para a região de Belém, ou seja, o tempo permanece parcialmente nublado e sem a presença de atividades convectivas. Na imagem das 2100 UTC (FIGURA 246) pode ser observado atividade convectiva sobre parte do Estado do Amazonas, associado ao sistema frontal.

ANÁLISE DO DIA 30/10/96 (0000 e 1200 UTC)

Na imagem das 0000 UTC (FIGURA 247) o tempo apresenta-se estável sobre a região de Belém, sem a presença de atividades convectivas. O sistema frontal localizado sobre o continente sul-americano continua com intensa atividade.

Na imagem das 1200 UTC (FIGURA 248) o tempo apresenta-se parcialmente nublado sobre a região de Belém. A atividade convectiva associada ao sistema frontal localizado sobre o continente sul-americano encontra-se mais ativa, provocando instabilidade no Sul do Estado do Pará.

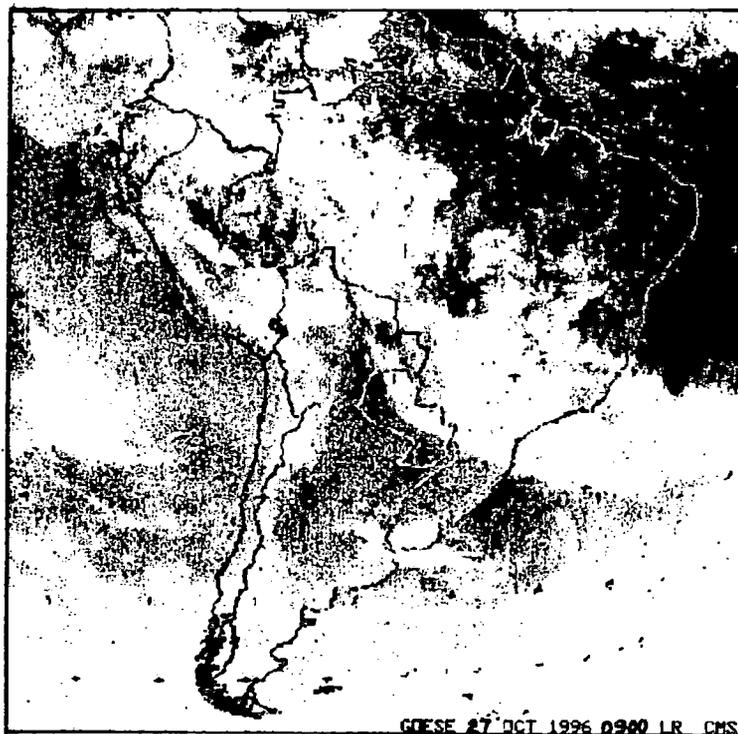


FIGURA 239- Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 27/10/96, às 0900 UTC.

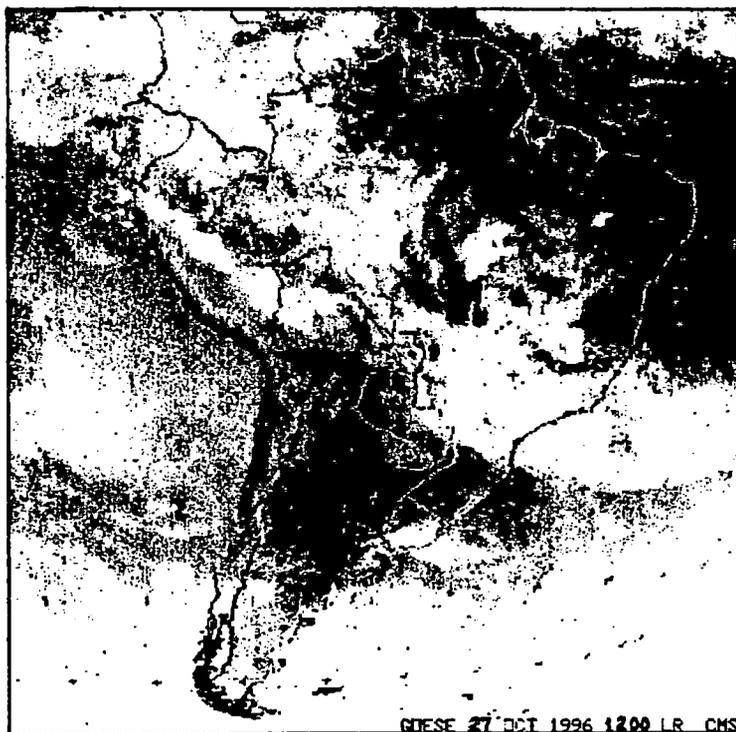


FIGURA 240 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 27/10/96, às 1200 UTC.

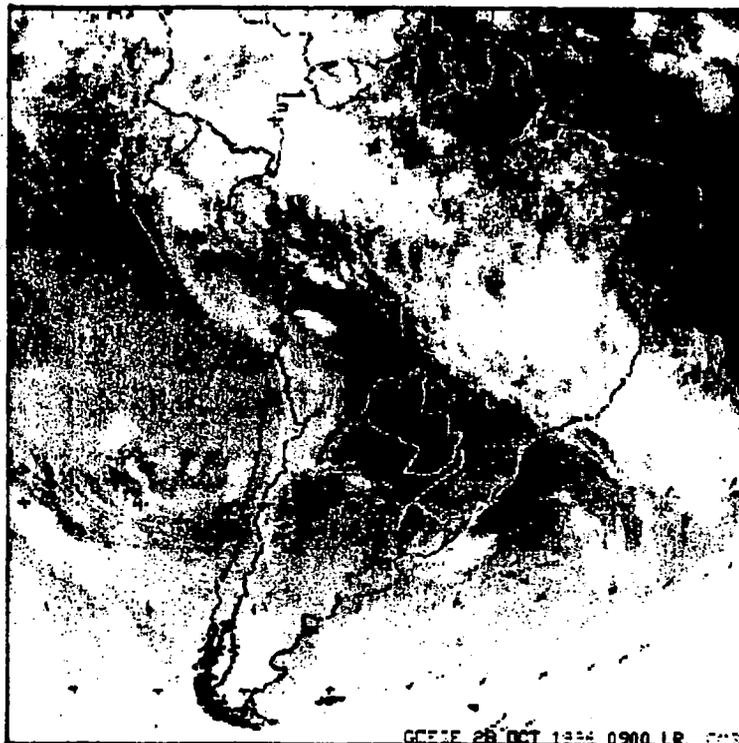


FIGURA 241 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 28/10/96, às 0900 UTC.

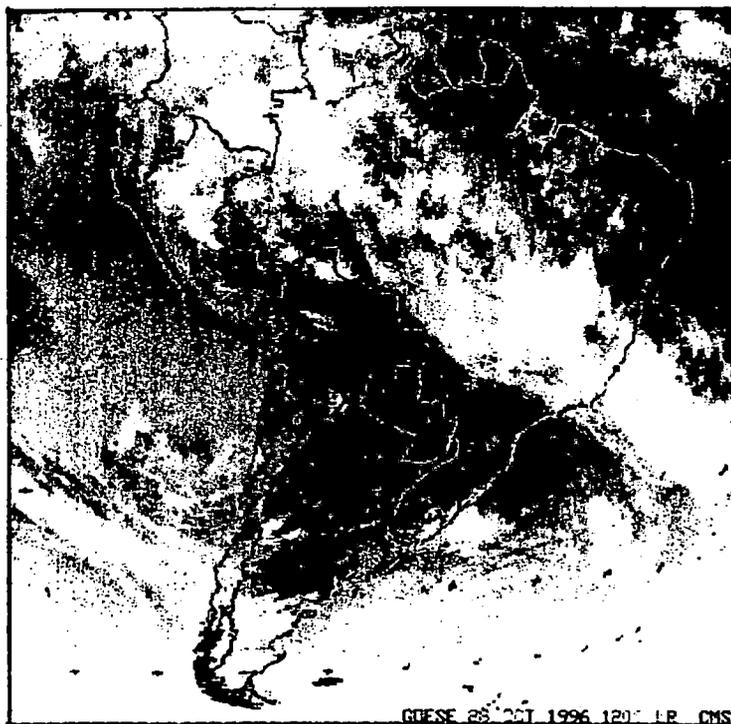


FIGURA 242 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 28/10/96, às 1200 UTC.



FIGURA 243 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/10/96, às 0900 UTC.

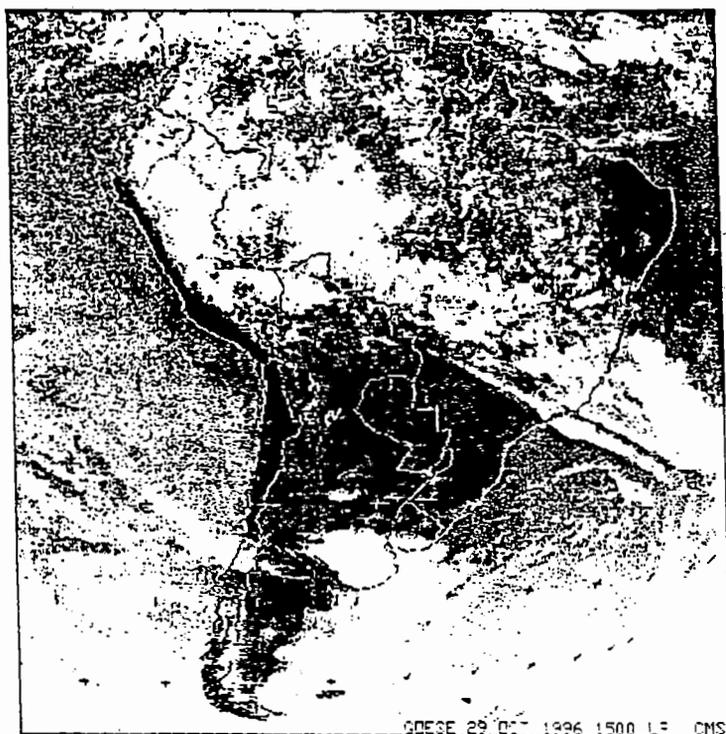


FIGURA 244 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/10/96, às 1500 UTC.

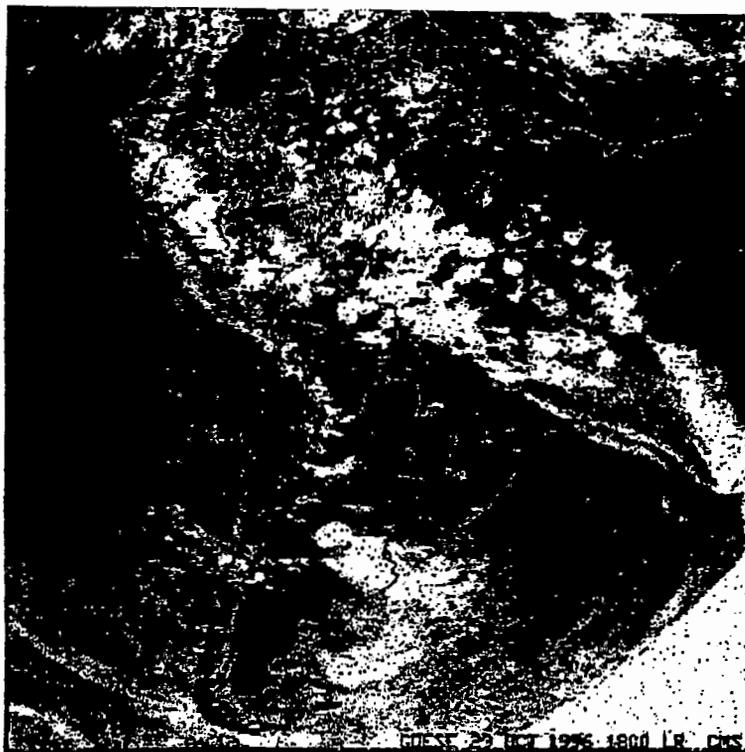


FIGURA 245 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/10/96, às 1800 UTC.



FIGURA 246 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 29/10/96, às 2100 UTC.

ANÁLISE DO DIA 30/10/96 (0000 e 1200 UTC)

Na imagem das 0000 UTC (FIGURA 247) o tempo apresenta-se estável sobre a região de Belém, sem a presença de atividades convectivas. O sistema frontal localizado sobre o continente sul-americano continua com intensa atividade.

Na imagem das 1200 UTC (FIGURA 248) o tempo apresenta-se parcialmente nublado sobre a região de Belém. A atividade convectiva associada ao sistema frontal localizado sobre o continente sul-americano encontra-se mais ativa, provocando instabilidade no Sul do Estado do Pará.

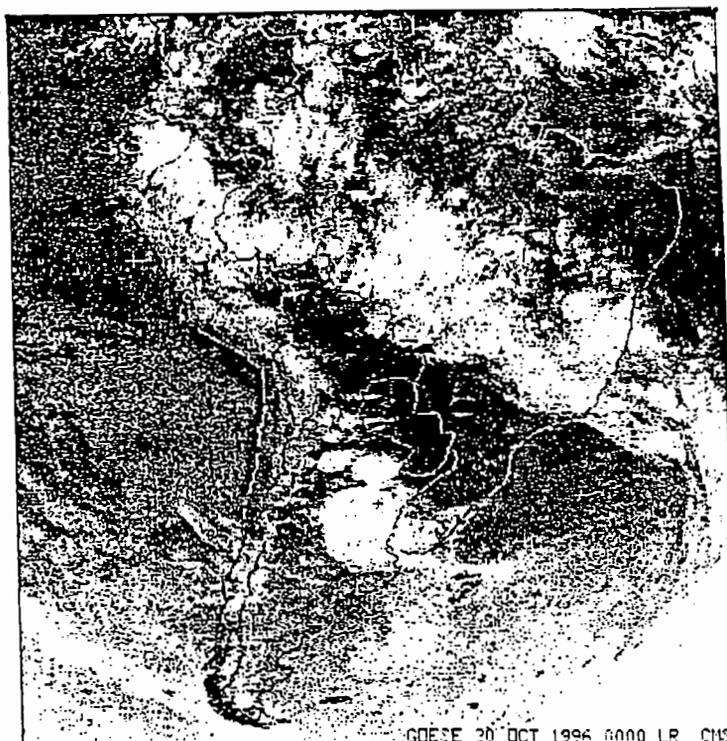


FIGURA 247 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 30/10/96, às 0000 UTC.

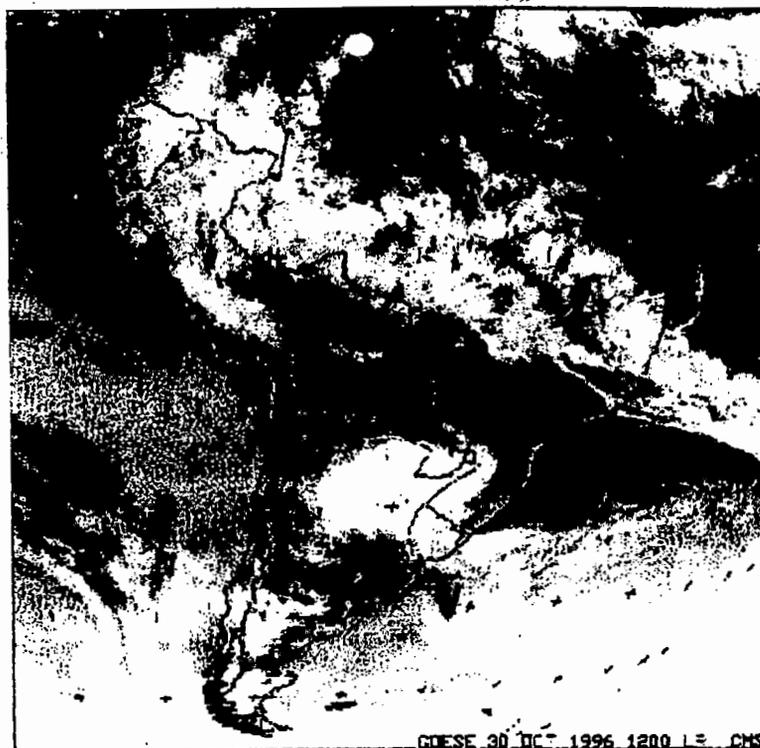


FIGURA 248 - Imagem do satélite meteorológico GOES, do dia 30/10/96, às 1200 UTC.

4.2.3.13. INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS

Dentre os 9 (nove) locais analisados, foi observado que das 07:00 às 12:00 horas as diferenças entre os valores da temperatura do ar entre os dias da semana e o dia de domingo, foram praticamente desprezíveis. Somente no horário das 13:00 às 15:00 horas esses valores apresentam-se ligeiramente superiores, mesmo assim, essas diferenças foram relativamente pequenas, não ultrapassando $2,5^{\circ}\text{C}$ (FIGURAS 249 a 257). Nos locais caracterizados por apresentarem grande porcentagem de arborização ou próximos a essas áreas verdes, tais diferenças podem ser consideradas desprezíveis

De todos os ambientes estudados, apenas os bairros do Jurunas (19) e da Condor (01) apresentaram valores de temperatura do ar durante os dias da semana superiores aos valores de domingo, prolongando-se das 13:00 às 19:00 horas, o que deve estar associado, mais com as condições de nebulosidade local do que com as próprias atividades antrópicas desenvolvidas naqueles locais, uma vez que tais bairros não são caracterizados por apresentarem marcantes atividades urbanas.

A diferença mais marcante foi observada no bairro da Sacramento (16), com valor absoluto de $3,1^{\circ}\text{C}$, as 15:00 horas, embora esse comportamento não se justifique pelas atividades antrópicas daquele local, e sim pelas condições de nebulosidade predominante naqueles dias. As menores diferenças foram observadas

no interior do Parque Zoobotânico do MPEG (20), caracterizado por apresentar uma vegetação exuberante, e no bairro do Marco (21), local de intenso fluxo de veículos, independente dos dias da semana, por se tratar de uma via de acesso preferencial de entrada e saída da cidade de Belém.

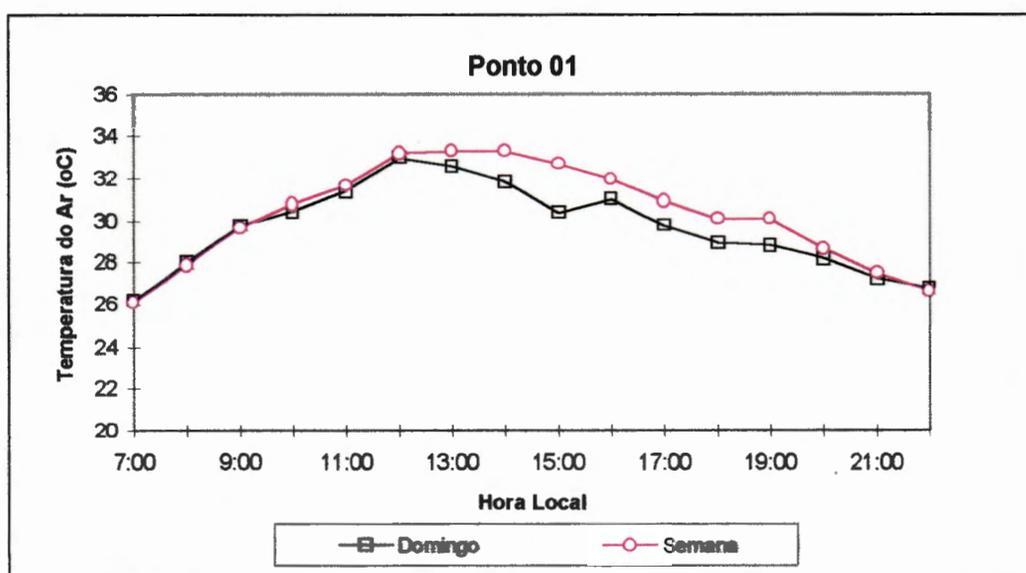


FIGURA 249 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro da Condor).

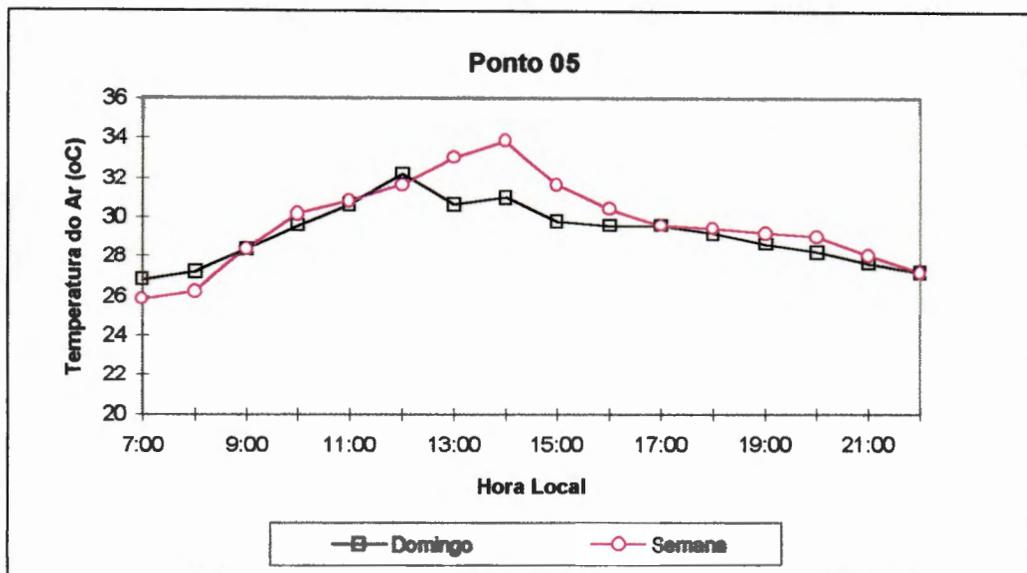


FIGURA 250 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro da Campina).

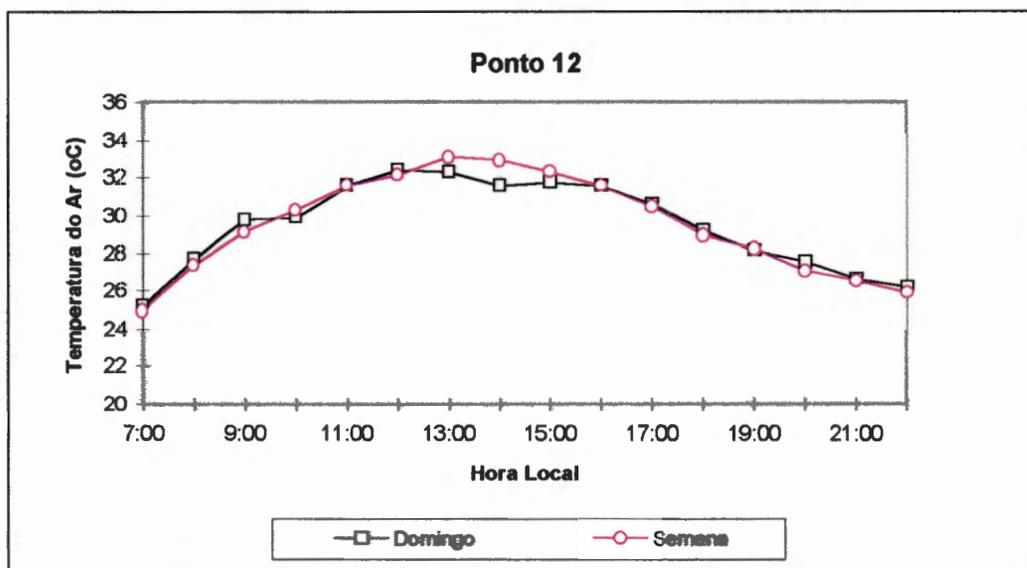


FIGURA 251 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro da Terra Firme)

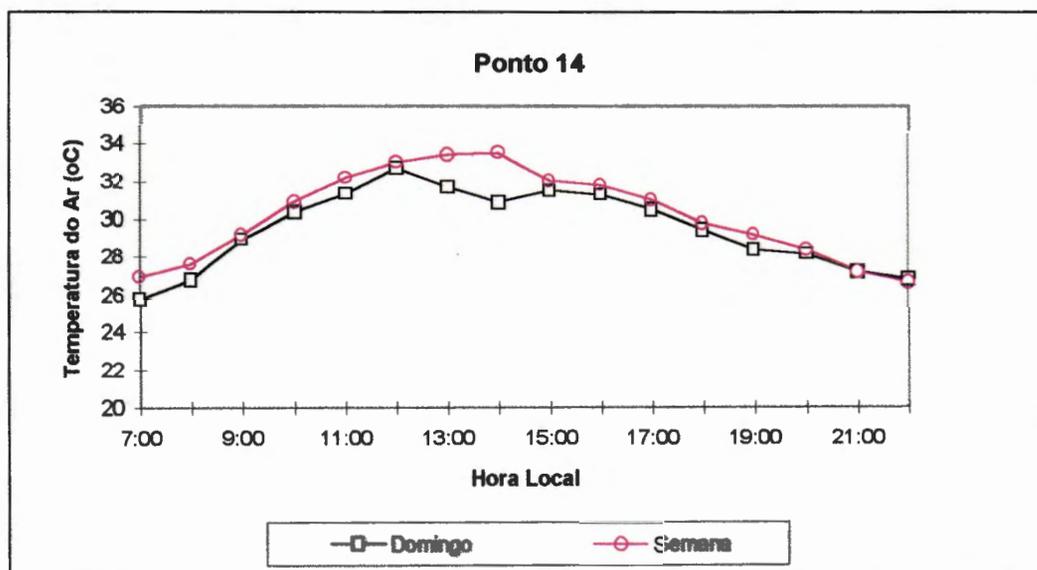


FIGURA 251 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro da Pedreira).

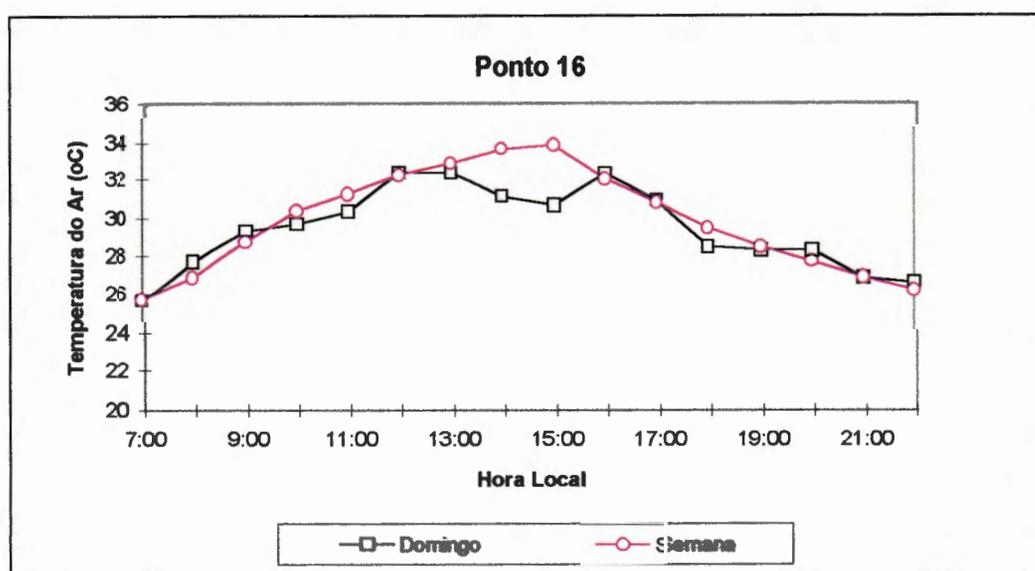


FIGURA 252 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro da Sacramento).

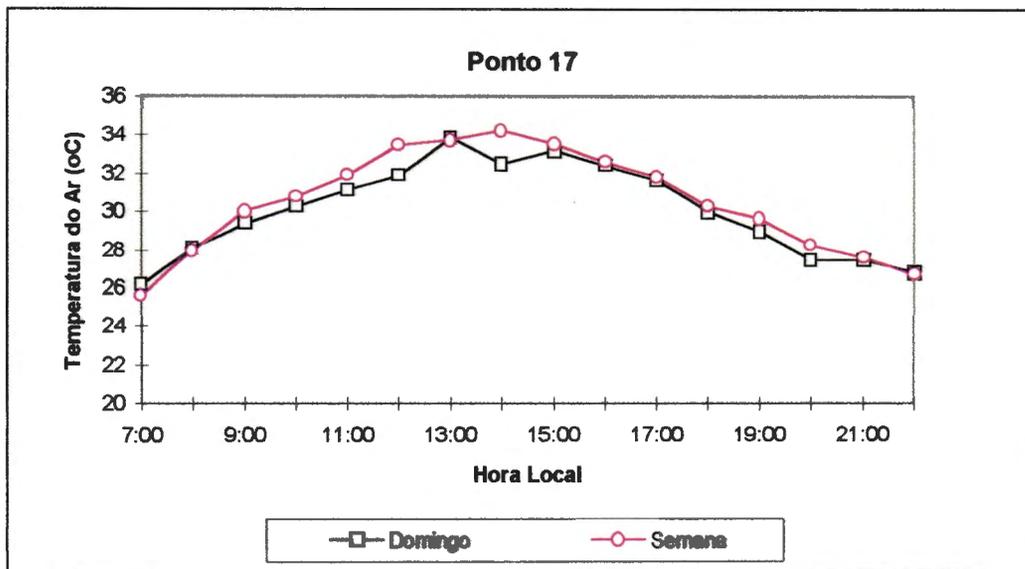


FIGURA 253 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro do Souza).

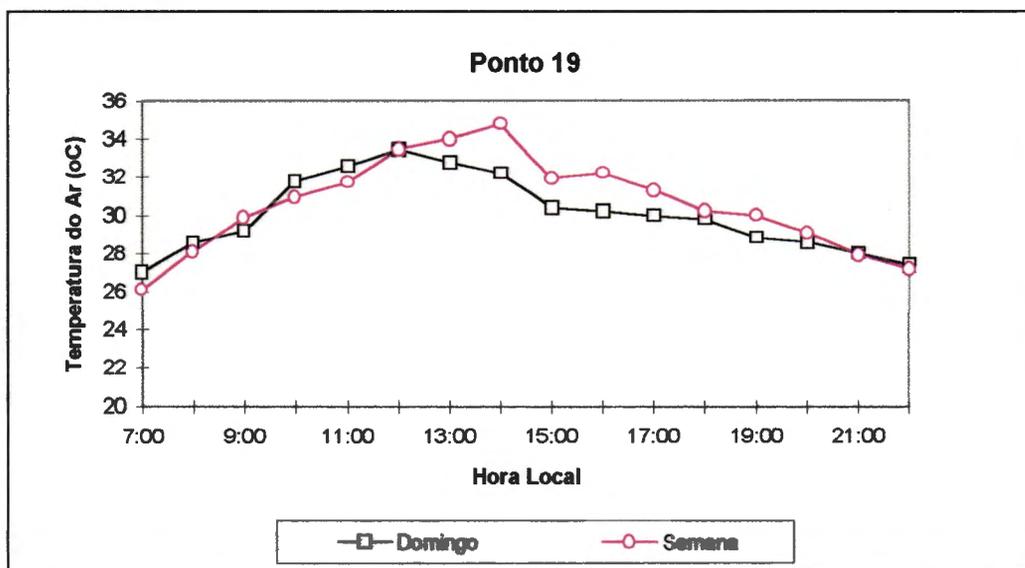


FIGURA 254 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro do Jurunas).

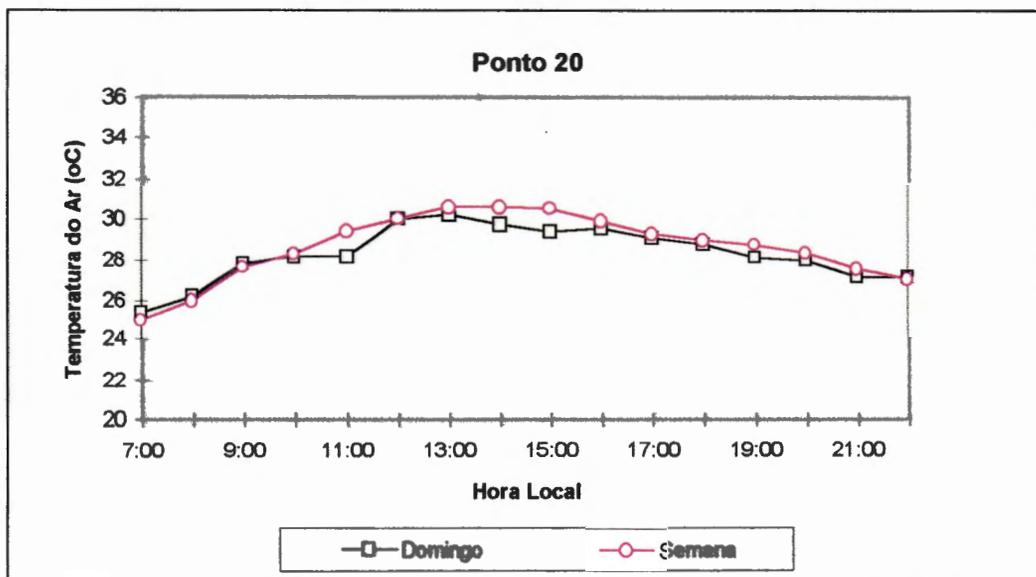


FIGURA 256 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro de Nazaré).

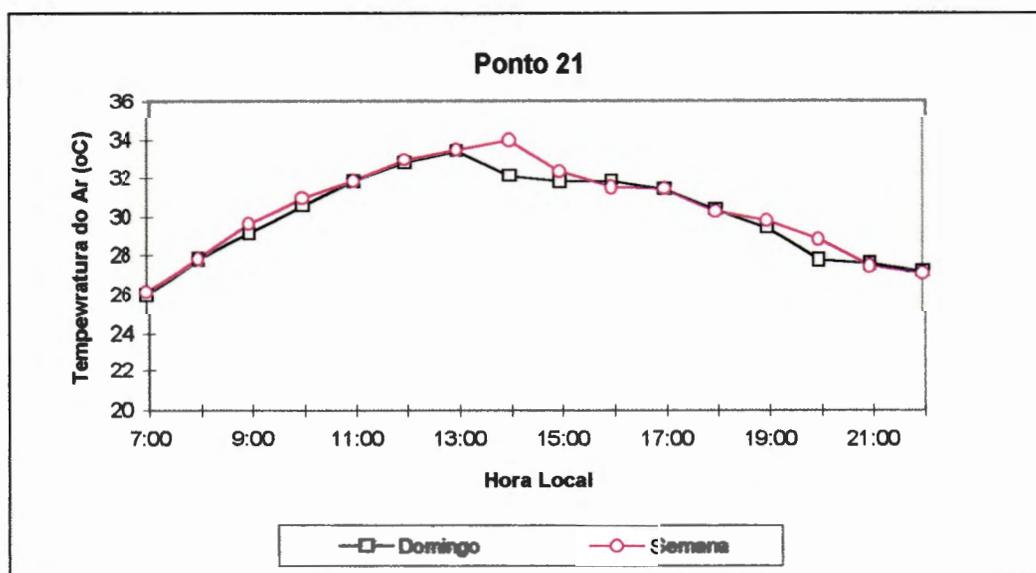


FIGURA 257 - Comportamento médio horário da temperatura do ar em diferentes dias da semana (Bairro do Marco).

4.2.3.14. VARIAÇÕES TERMO - HIGROMÉTRICAS NOS ÚLTIMOS 20 ANOS NA CIDADE DE BELÉM

Com o objetivo de se estudar possíveis variações meteorológicas nos últimos vinte anos na cidade de Belém, procedeu-se uma análise média horária dos dados de temperatura e umidade relativa do ar da estação meteorológica de superfície do Serviço Regional de Proteção ao Vôo, para um período de vinte anos (1975 - 1994).

Inicialmente foi feita a divisão do período estudado em quatro sub - períodos de cinco anos, para posteriormente se proceder o cálculo da temperatura e umidade relativa média horária de cada um independente. Feito este cálculo, tais elementos foram tabulados e representados graficamente, com a finalidade de se determinar possíveis alterações no comportamento normal que pudesse caracterizar uma tendência de aumento ou diminuição ao longo desse período. (ANEXO E).

Os resultados mostraram que não existe uma tendência clara de alteração no comportamento dos elementos meteorológicos estudados, o que pode estar associado com a localização da estação meteorológica utilizada para tais análises, uma vez que esta encontra-se relativamente afastada dos bairros centrais da cidade onde o processo de crescimento foi bastante acelerado nos últimos vinte anos, não refletindo assim, a real variação ocorrida devido ao crescimento urbano. Outro fato importante é a localização da estação meteorológica utilizada, em relação a direção predominante do vento, uma vez que a barlavento desta encontra-se uma grande área vegetada e corpos d'água que ainda não sofreram com a ação do processo de urbanização.

4.2.3.15. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DO AR E OS PRINCIPAIS ELEMENTOS URBANOS

Dentre as análises de correlação realizadas entre as temperaturas médias, máximas e mínimas e a porcentagem de calçamento, edificações e arborização, foi verificado que a melhor correlação ocorreu entre a arborização e os valores de temperaturas médias e mínimas, sendo que as temperaturas máximas não foram bem correlacionadas com nenhum dos elementos urbanos estudados (ANEXO F).

Observou-se que durante a época menos chuvosa da Região a correlação encontrada entre a porcentagem de arborização e as temperaturas médias e mínimas apresentaram um coeficiente de determinação (r^2) variando entre 0,65 e 0,49, respectivamente, enquanto que na época mais chuvosa estes coeficientes apresentaram valores de 0,81 e 0,86. Em ambas as épocas a correlação entre a porcentagem de vegetação e as temperaturas máximas foi pequena, com um coeficiente de determinação da ordem de 0,33.

Quando analisadas as correlações entre estas temperaturas e os demais elementos da estrutura urbana, verificou-se que, na grande maioria dos casos, a correlação foi muito fraca, apresentando coeficientes de determinação oscilando entre 0,10 a 0,30. Apesar desta baixa correlação, novamente as temperaturas médias e mínimas foram as que apresentaram as melhores correlações, sendo a do tipo polinomial a que melhor explicou tais variações.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos durante as três fase experimentais desenvolvidas nesta pesquisa demonstraram claramente a grande influência da estrutura urbana no comportamento de alguns elementos meteorológicos, principalmente na temperatura e umidade relativa do ar na cidade de Belém - PA.

Em relação a quantificação da intensidade da "ilha de calor urbana" na cidade de Belém, foram observadas grandes variações sazonais, tendo a sua máxima intensidade ($4,5^{\circ}\text{C}$) ocorrido na época menos chuvosa, que estende-se de junho a novembro, e nas áreas muito urbanizadas e deficientes de arborização, ao passo que, na época chuvosa, que vai de dezembro a maio, a sua intensidade foi fortemente diminuída ($1,5^{\circ}\text{C}$), devido ao efeito das precipitações pluviais, que torna a cidade relativamente homogênea em termos térmicos.

Em termos médios horários, na época menos chuvosa, a ilha de calor urbana sofreu grandes variações em função das características do ambiente urbano estudado, tendo apresentado uma tendência dos maiores valores ocorrerem nos horários noturnos, em bairros densamente urbanizados, ao passo que os menores valores foram verificados nos horários diurnos e em bairros com grande porcentagem de arborização. Na época chuvosa os maiores valores ocorreram no período do nascer do sol até aproximadamente 13:00 horas, sendo que após este horário, devido às precipitações pluviais, as diferenças térmicas verificadas entre os ambientes urbanos e rural tornaram-se praticamente desprezíveis.

No que se refere ao comportamento da umidade relativa do ar na área urbana de Belém, foi observado que, apesar dos elevados valores médios diários, no decorrer do dia esses valores sofreram grandes variações, com amplitudes de até 50%, em áreas desprovidas de arborização e com intensa atividade antrópica. Como era esperado, os maiores valores sempre ocorreram às proximidades de grandes áreas vegetadas, sendo os menores valores verificados em áreas intensamente urbanizadas e desprovidas de arborização.

Em termos de umidade específica e umidade absoluta do ar, estas não apresentaram um padrão de variação horária bem definido, embora os seus valores tenham sido bastante elevados em todas as fases experimentais, independente do local considerado, o que indica a presença de grande umidade atmosférica naquela região.

Quanto aos elementos da estrutura urbana que são potencialmente capazes de proporcionar variações meteorológicas significativas, a vegetação apresentou um papel fundamental no sentido de amenizar as temperaturas máximas do ar, diminuindo deste modo o desconforto térmico da Região. Outro elemento que apresentou um papel de fundamental importância no sentido de proporcionar também a ocorrência de temperaturas máximas mais amenas no ambiente urbano foram as edificações elevadas, através do efeito de sombreamento, uma vez que grandes áreas deixam de ser aquecidas diretamente pela radiação solar.

Na análise da influência das atividades antrópicas sobre o comportamento termo-higrométrico na cidade de Belém, foi observado que, apesar da cidade apresentar uma população residente de aproximadamente 1.000.000 de habitantes, as diferenças encontradas entre os elementos meteorológicos estudados durante os diversos dias da semana comparados com o dia de domingo, foram relativamente pequenos, não ultrapassando $2,5^{\circ}\text{C}$, nos locais de maiores atividades urbanas.

Em relação ao estudo do comportamento termo-higrométrico nos últimos vinte anos na cidade de Belém, não foram observadas tendências de aumento ou diminuição nestes elementos, muito embora a cidade tenha sofrido um considerável crescimento nesse mesmo período. A justificativa para isto é o fato dos dados meteorológicos analisados terem sido obtidos junto à estação meteorológica de superfície do Serviço Regional de Proteção ao Vôo de Belém, localizada em uma área relativamente distante do centro urbano da cidade, onde ocorreram as maiores modificações. Outra fato fundamental é que a barlavento desta estação meteorológica encontram-se grandes áreas vegetadas e corpos d'água, onde o processo de urbanização ainda não foi instalado. O ideal seria o acompanhamento das condições meteorológicas através da utilização de uma estação meteorológica localizada na área de expansão urbana, onde os efeitos do crescimento urbano poderiam ser quantificados.

Pelo fato da cidade de Belém estar localizada na Região Equatorial, onde predominam temperaturas e umidades do ar elevadas durante todo o ano, um pequeno aumento na temperatura do ar pode proporcionar um grande desconforto térmico. Deste modo, torna-se fundamental a implementação de medidas que visem proporcionar um menor aquecimento na área urbana da cidade de Belém, o que poderia ser alcançado com o aumento gradativo da arborização, tanto pública como domiciliar.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEBAYO, Y. R. Short communication: A note on the effect of urbanization on temperature in IBADAN. *Journal of Climatology*, v.7,1987, p. 185-192.
- ASSIS, E. S. Avaliação da influência do uso e ocupação do solo sobre a formação da ilha de calor na cidade de Belo Horizonte, MG. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1., Porto Alegre, 1991. Anais, Porto Alegre, 1991, p. 53-57.
- BORNSTEIN, R. D. Observations of the urban heat island effect in New York city. *Journal of Applied Meteorology*, v.7, 1968, p.575-582.
- CAMARGO, J. C. G. ; TAVARES, A. C. A influência da cidade de rio claro na temperatura e na umidade do ar. *Geografia*, 10 (20), out/1985, p. 149-168.
- CHANDLER, T. J. Temperature and humidity traverses across london. *Weather*, n. 17, 1962, p. 235-242.
- CHAO, Z. Urban climate and air pollution in Shanghai. *Energy and Building*, v.15/16, 1991, p. 647-656.
- DUCKWORTH, F. S. ; SANDBERG, J. S. The effect of cities upon horizontal and vertical temperature gradients. *Bolletín American Meteorological Society*, v. 35, n. 5, 1954, p.198-207.
- GALLO, K. P. et al.. The use of a vegetation index for assessment of the urban heat island effect. *International Journal Remote Sensing*, v. 14, n. 11, 1993, p. 2223-2230.
- GOLDREICH, Y. Urban climate studies in Johannesburg, A sub-Tropical city located on a ridge - A review. *Atmospheric Environment*, v. 26B, n. 3, 1992, p. 407-420.
- HASENACK, H. ; BECKER, V. L. Distribuição noturna da temperatura em Porto Alegre, RS utilizando o método de medidas móveis. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1. , Porto Alegre, 1991. Anais, Porto Alegre, 1991, p. 139 - 145.

- HUTCHEON, R. J. ; JOHNSON, R. H. ; LOWRY, W. P. ; BLACK, C. H. ; HADLEY, D. Observations of the urban heat island in a small city. *Bulletin American meteorological society*, v.48, n.1, 1967. p. 7-9.
- JÁUREGUI, E. The urban climate of Mexico city. *ERKUNDE*, n.27, 1973, p. 298-307
- JAUREGUÍ, O. E. La isla de calor en Toluca, Mex. *Boletín del Instituto de Geografía*, n.9, Mexico, 1979.
- JAUREGUÍ, O. E. Aspects of heat-island development in Guadalajara, Mexico. *Atmospheric Environment*, v.26B, n.3, 1992, p. 391-396.
- KIMURA, F.; TAKAHASKI, S. The effects of land-use and anthropogenic heating on the surface temperature in the Tokyo metropolitan area: A numerical experiment. *Atmospheric Environment*, v.25B, n.2, 1991, p. 155-164.
- LANDSBERG, H. E. *The urban climate*. New York. Academic Press, 1981.
- LEE, H. Y. An application of NOAA AVHRR thermal data to the study of urban heat island. *Atmospheric Environment*, v. 27B, n.1, 1993, p. 1-13.
- LOMBARDO, M. A. A ilha de calor nas metrópoles - O exemplo de São Paulo. Ed. Huciteck, 1985, 245p.
- LOWRY, W.P. The climate of cities. *Scientific American*, v.217, n.2, 1967, p.15-23.
- MAITELLI, G. T. ; ZAMPARONI, C. A. P. G. ; LOMBARDO, M. A. Ilha de calor em Cuiabá - MT: Uma abordagem de clima urbano. in: Encontro Nacional e Estudos sobre Meio Ambiente, 3, Londrina - PR, comunicações, Londrina - PR, 1991, p.561-571.
- MARTINS, L.A. A temperatura do ar em Juiz de Fora - MG: Influência do sítio e da estrutura urbana. Rio Claro - S.P., 1996. UNESP (dissertação de mestrado).
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Normais Climatológicas (1961 - 1990), Brasília, 1992.
- MARTORANO et al. Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Koeppen) e deficiência hídrica (Thornthwaite, Mather). SUDAM/EMBRAPA/SNLCS, Belém - Pa., 1993, 66p.
- MITCHEL, J. M. The temperature of cities. *Weatherwise*, v.14, n.6, 1969, p. 224-229.

- NASRALLAH, H. A. ; BRAZEL, A. J. ; BALLING, R. C. Analysis of the Kuwait city urban heat island. *International Journal of Climatology*, v.10, 1990, p. 401-405.
- NECHET, D. Variabilidade diurna da precipitação em Belem - Pa. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 3., Belo Horizonte, 1984. Anais. Rio de Janeiro, SBM, 1984. p. 204-211.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. IBGE/SUPREN, Rio de Janeiro, 1979.
- OKE, T. R.; HANNEL, F. G. The form of the urban heat island in Hamilton, Canada. Symposium on urban climates and building climatology. Brussels, 1968, p. 113-126.
- OKE, T. R. ; MAXWELL, G.B. Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. *Atmospheric Environment*, n.9, 1975, p.191-200.
- OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, v.108, n.455, 1982, p.1-24.
- SECRETARIA MUNICIPAL DE COORDENAÇÃO GERAL DO PLANEJAMENTO E GESTÃO -SEGEP. Anuário Estatístico do Município de Belém. Prefeitura Municipal de Belém, Belém - Pa, 1995.
- SEKIGUTI, T. Thermal situation of urban areas, horizontally and vertically. Symposium on urban climates and building climatology. Brussels, 1968, p. 137-140.
- SOUZA, L.C.L. Influência da geometria urbana na temperatura do ar ao nível do pedestre. São Carlos - S.P., 1996. EESC - USP (tese de doutorado).
- STULPNAGEL, A. V. ; HORBERT, M.; SUKOPP, H. The importance of vegetation for the urban climate. *Urban ecology*, 1990, p. 175-193.
- VIANELLO, R. L. & ALVES, A. R. *Meteorologia básica e aplicações*. Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, Viçosa - MG, 1991.
- VIDAL, R. D. B. Influência da morfologia urbana nas alterações da temperatura do ar na cidade de Natal (RN). In: Encontro de Professores de Confrto Ambiental - NE. , 1, João Pessoa - Pb, 1992, p.33-37, Anais.
- YAMASHITA, S. ; IMAMURA, I. R. ; MONTEIRO, C. A. F. Observation of heat island in Patos and Campina Grande, northeast Brazil. *Latin American Studies*, n.10, 1988, p.145-156.
- YAMASHITA, S. The urban climate of Tokyo. *Geographical Review of Japan*. v. 63, n.1, 1990, p. 98-107.

WANG, W. C. ; ZENG, Z. ; KARL, T. R. Urban heat island in China. *Geophysical Research Letters*, v.17, n.12, 1990, p.2377-2380.

ZURITA, E. ; YAGUE, C. ; MARTINEZ, A. Statistical analysis of the Madrid urban heat island. *Atmospheric Environment* , v.25b, n.3, 1991, p.327-332.

OBRAS CONSULTADAS

FROTA, A. B. Clima local e microclima na cidade universitária. São Paulo, 1982, Dissertação de mestrado, Faculdade de arquitetura e urbanismo /USP, 1982. 378p.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano. São Paulo, 1975. Tese de livre docência, Departamento de Geografia/USP, 224p.

MOTA, S. Planejamento urbano e preservação ambiental. Fortaleza - CE, Edições UFC, 1981. 242p.

OLIVEIRA, P. M. P. A cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano. Brasília - DF, 1987. Dissertação de mestrado, Instituto de Arquitetura e Urbanismo/UNB, 134p.

SANTOS, A. R. A. Análise das tendências da chuva e das temperaturas extremas na região de Belém (PA).Piraçicaba - SP, 1993. Dissertação de mestrado, ESALQ, 124p.

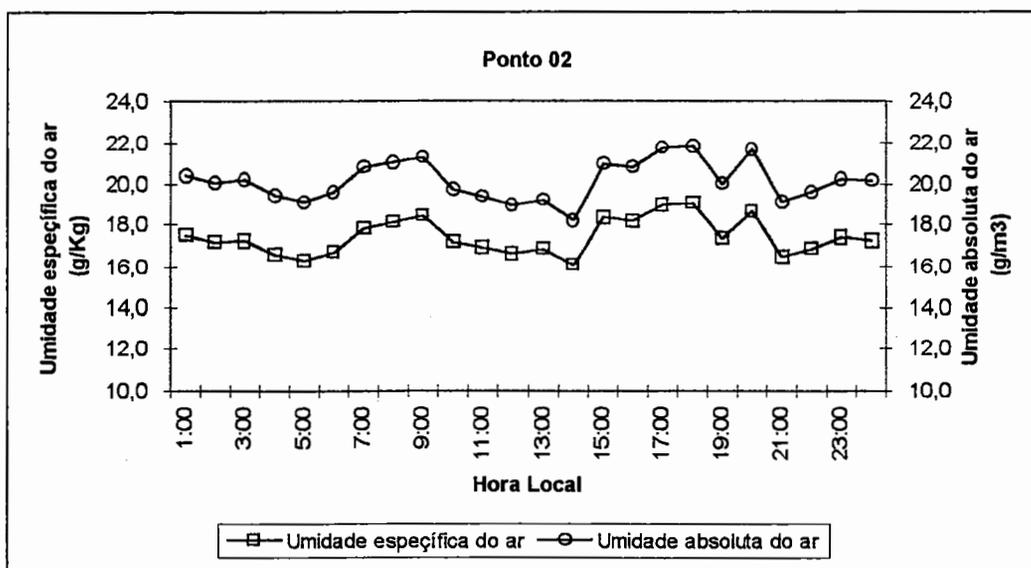
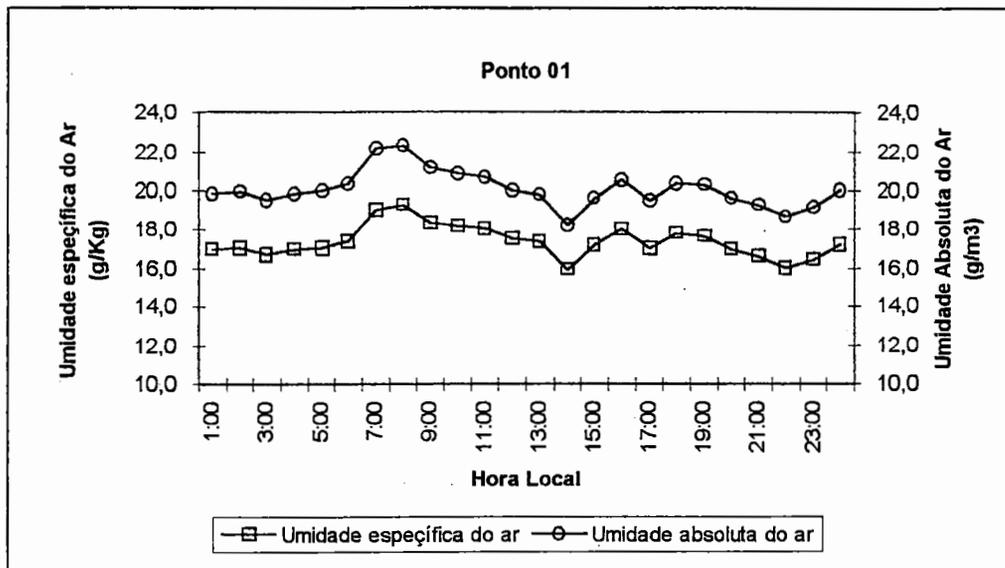
SUDAM/ Projeto de Hidrologia e Climatologia da Amazônia. Atlas climatológico da Amazônia Brasileira. Belém - Pa, 1984. Publicação n.39, 125p.

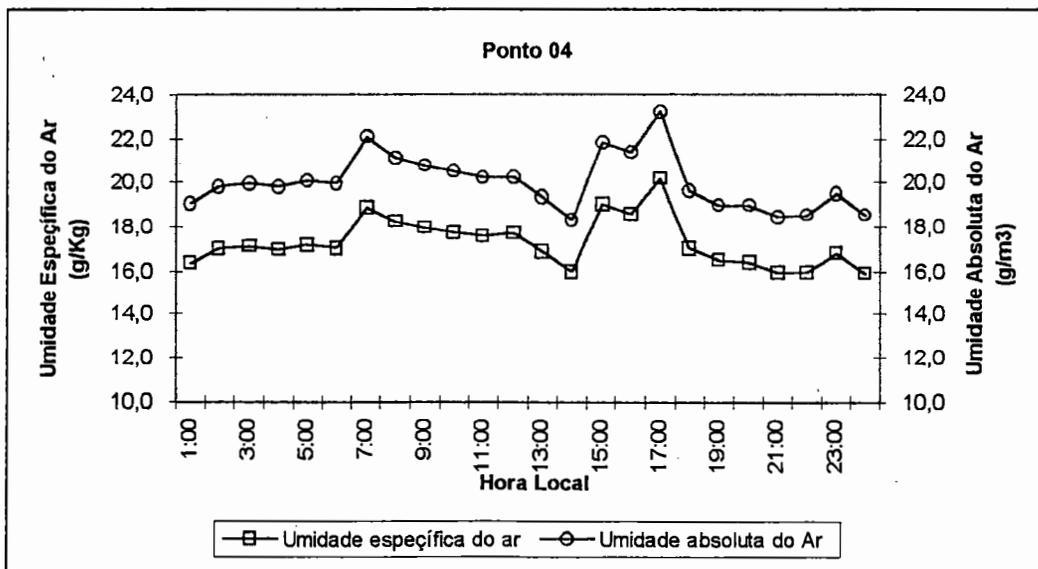
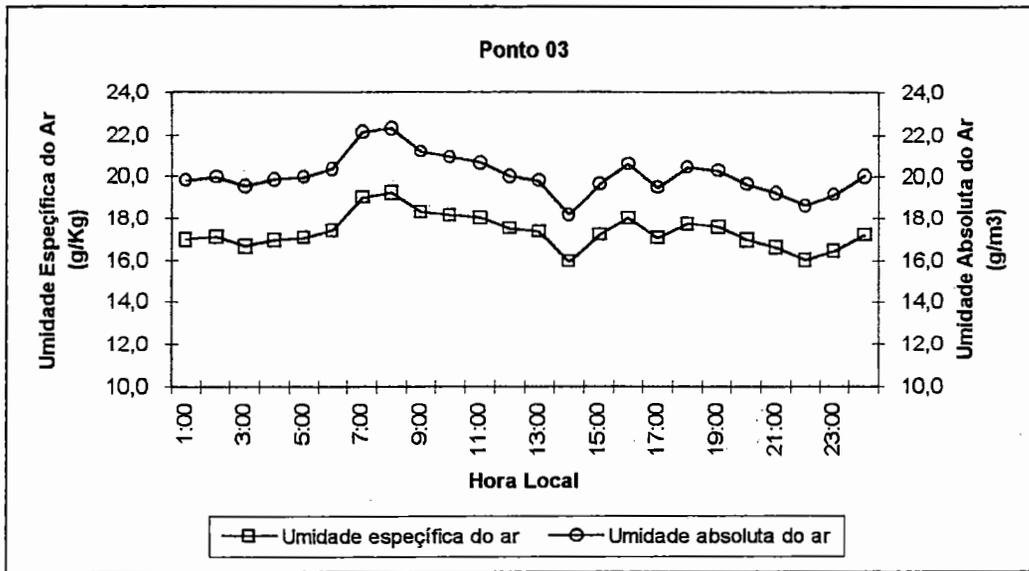
WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Urban Climatology and its Applications with Special Regard to Tropical Areas: Proceedings of the Technical Conference , WMO n° 652, Geneve, 1986.

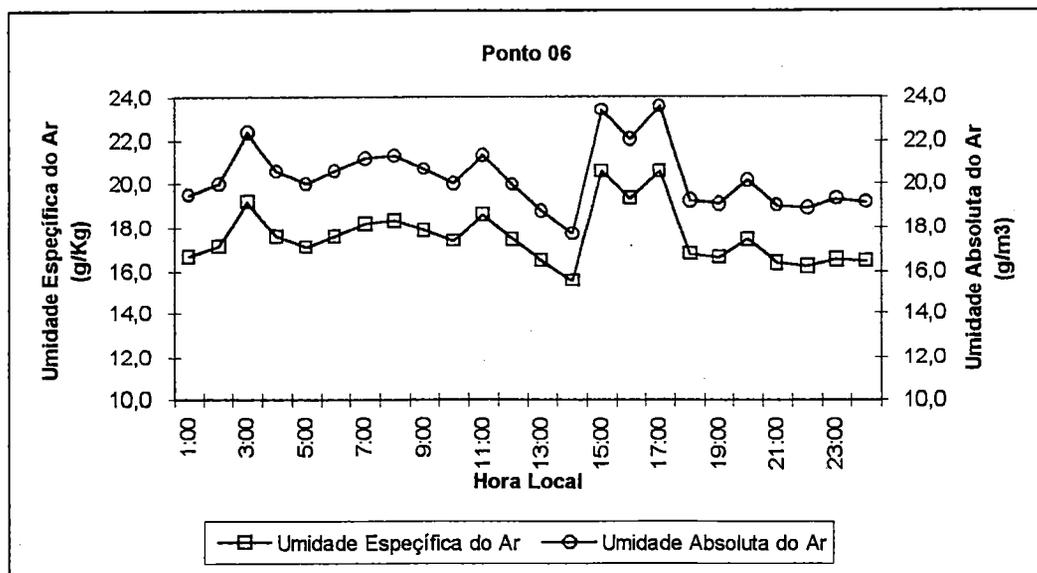
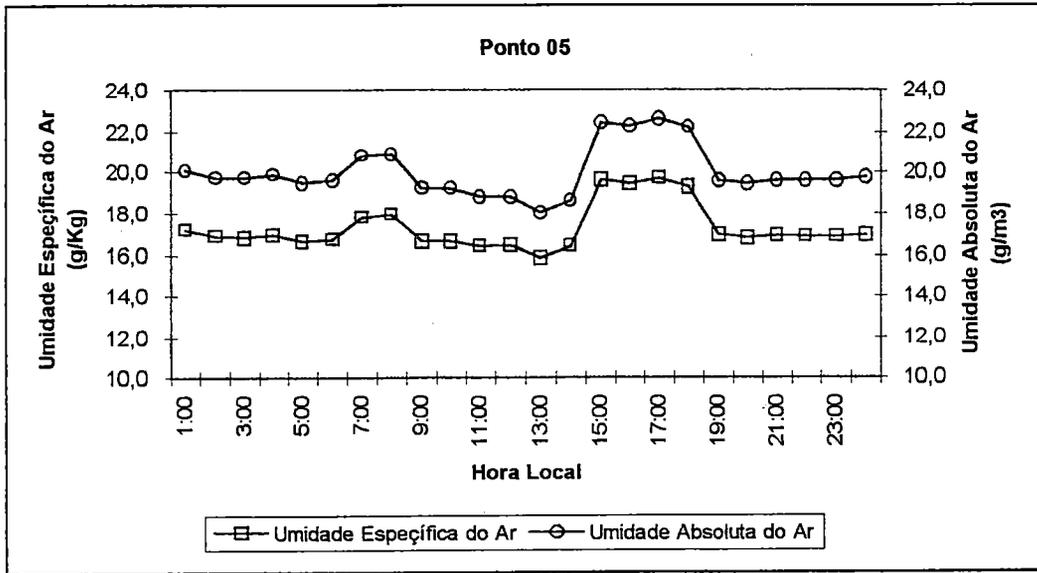
WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Report of the Technical Conference on the Urban Climates, WMO n° 647, Dhaka, Bangladesh, 1994.

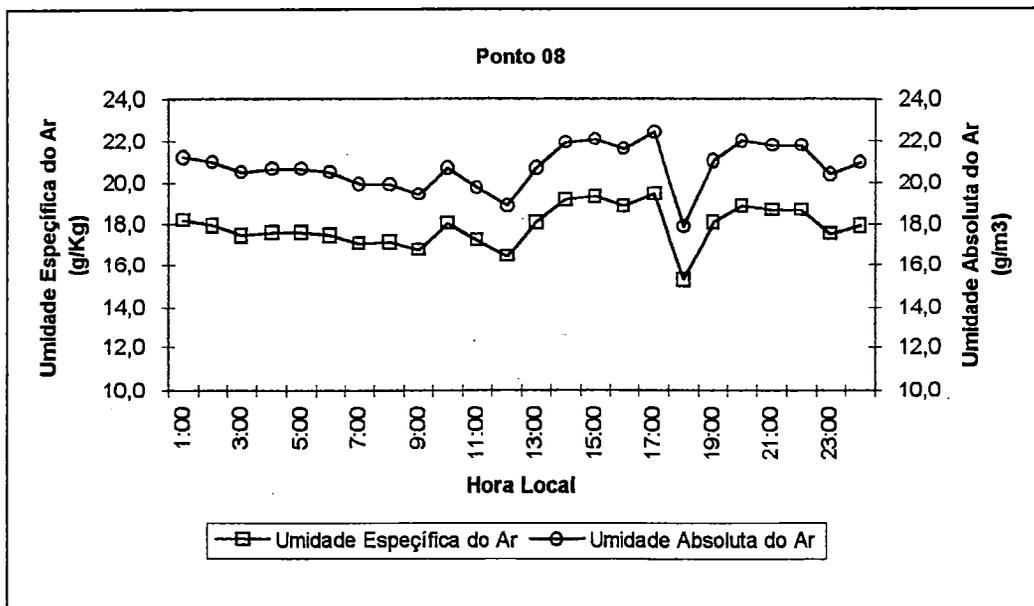
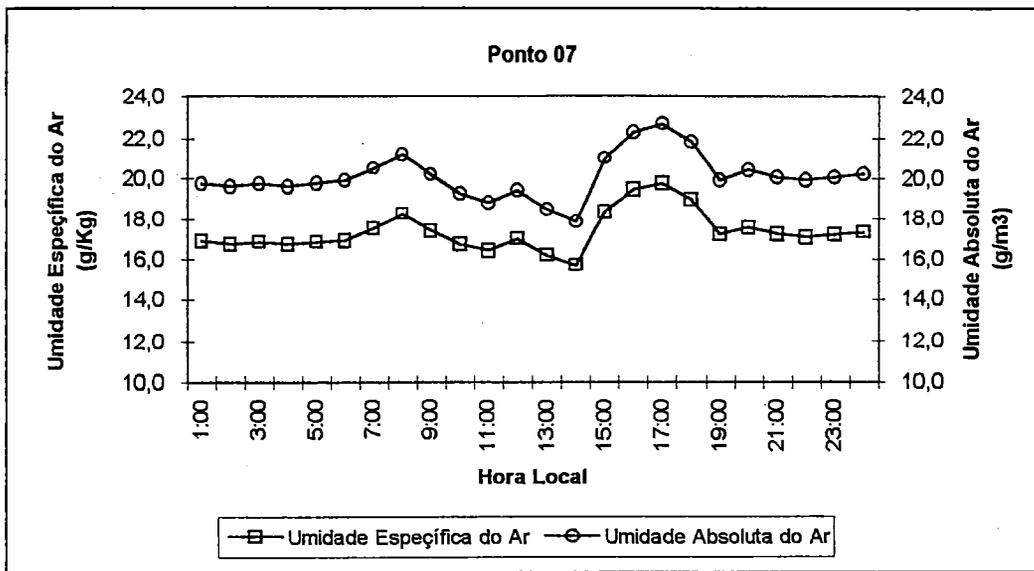
ANEXOS

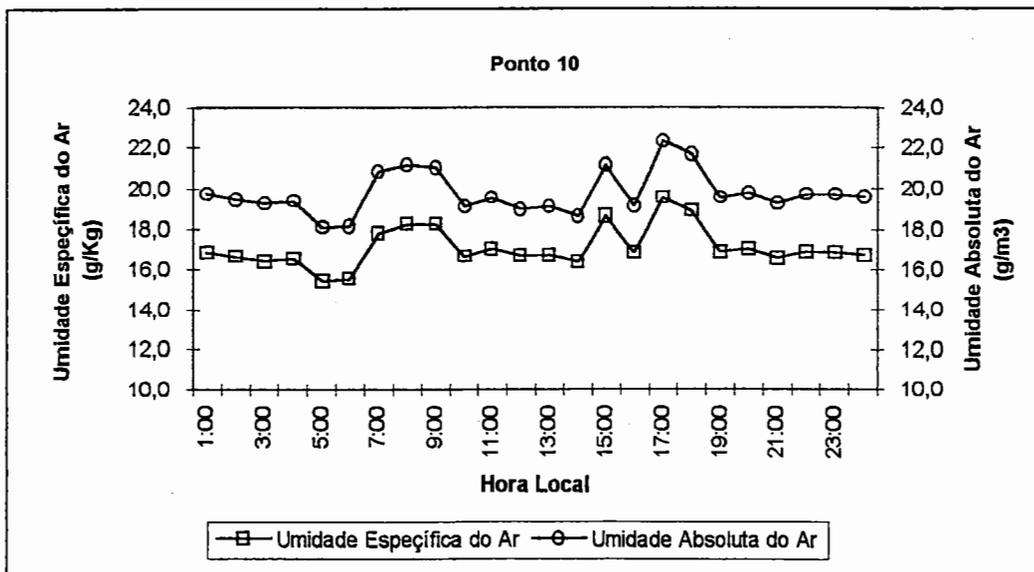
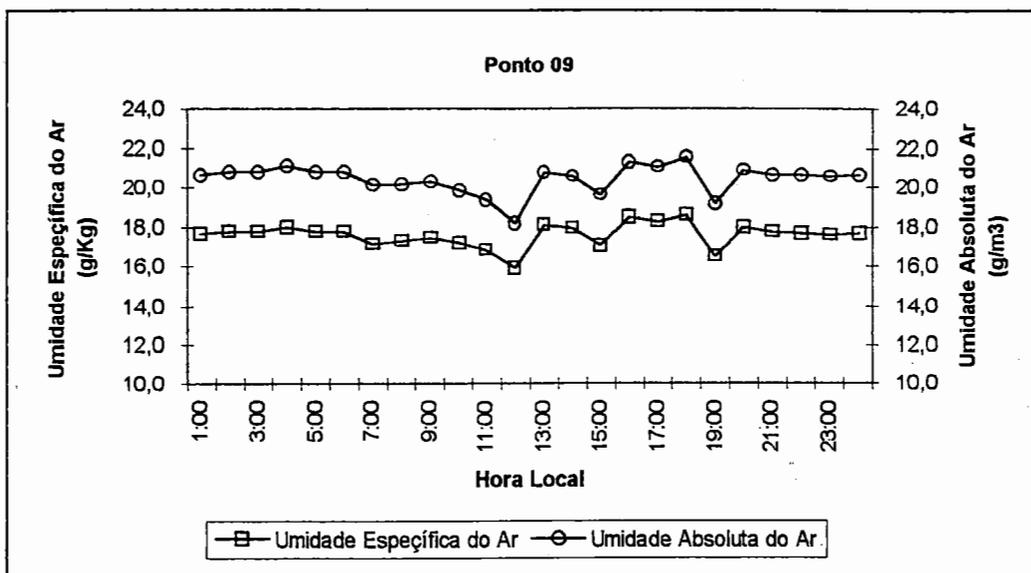
ANEXO A - Distribuição média horária da umidade específica e umidade absoluta do ar durante a primeira fase experimental

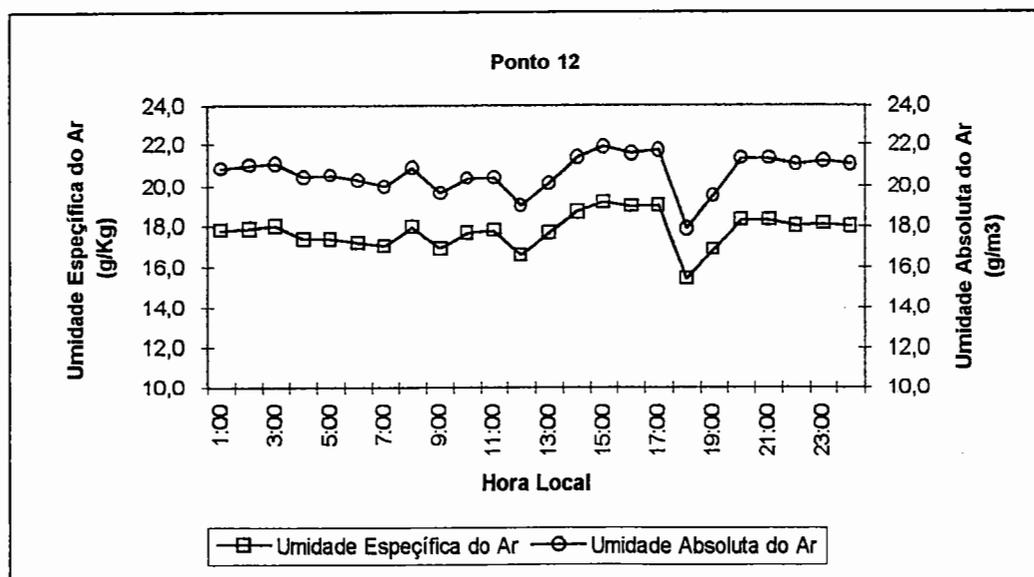
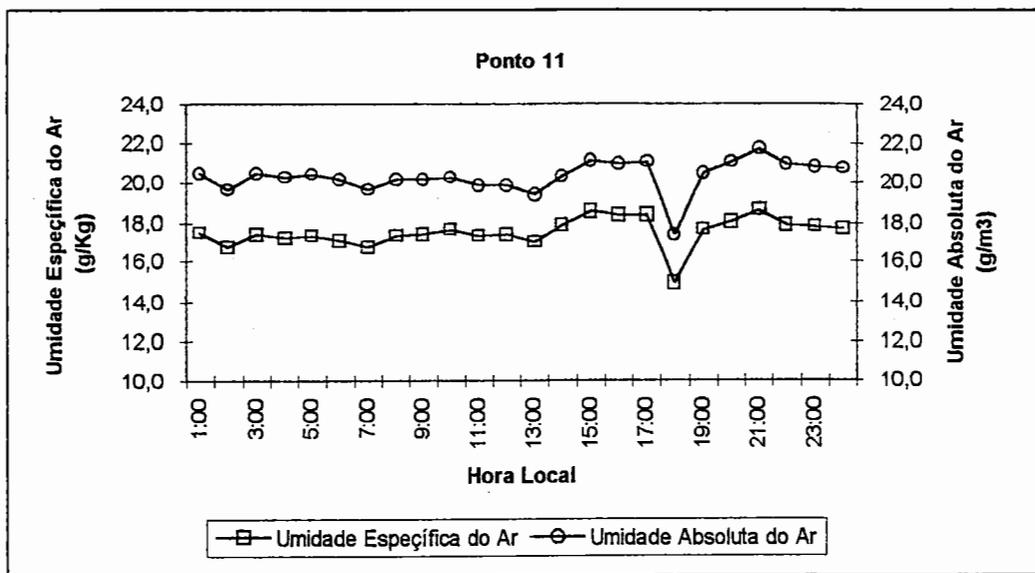


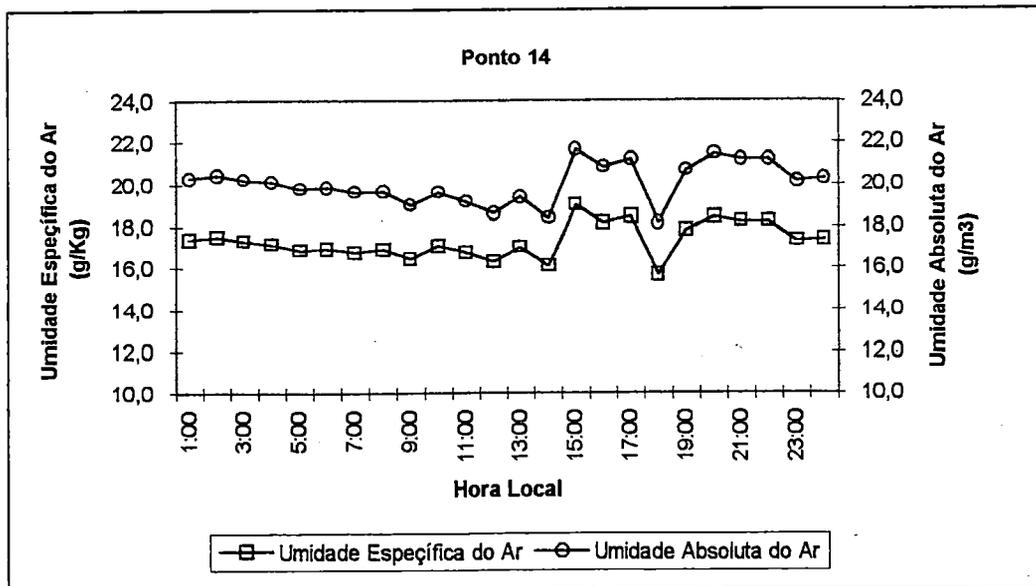
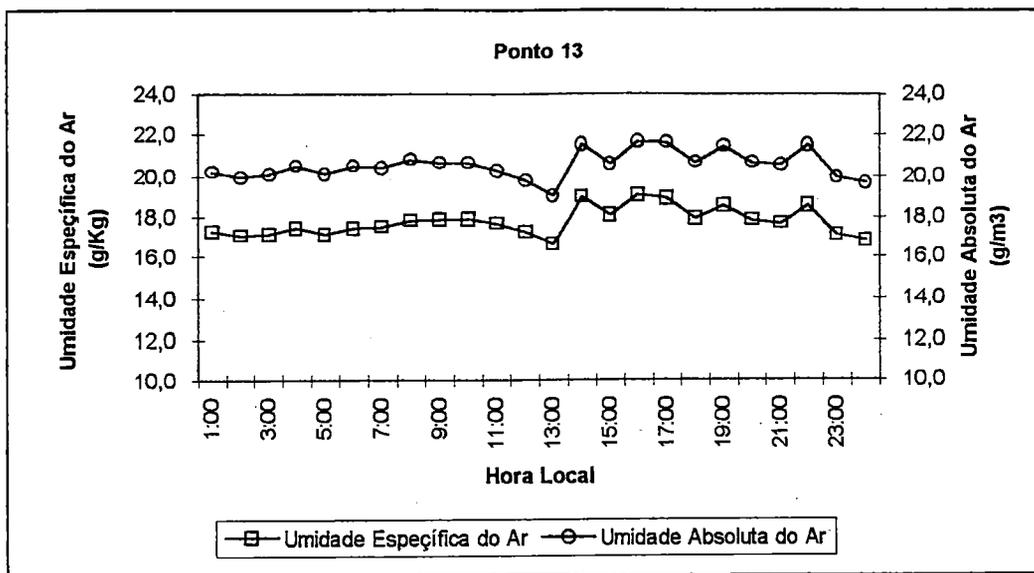


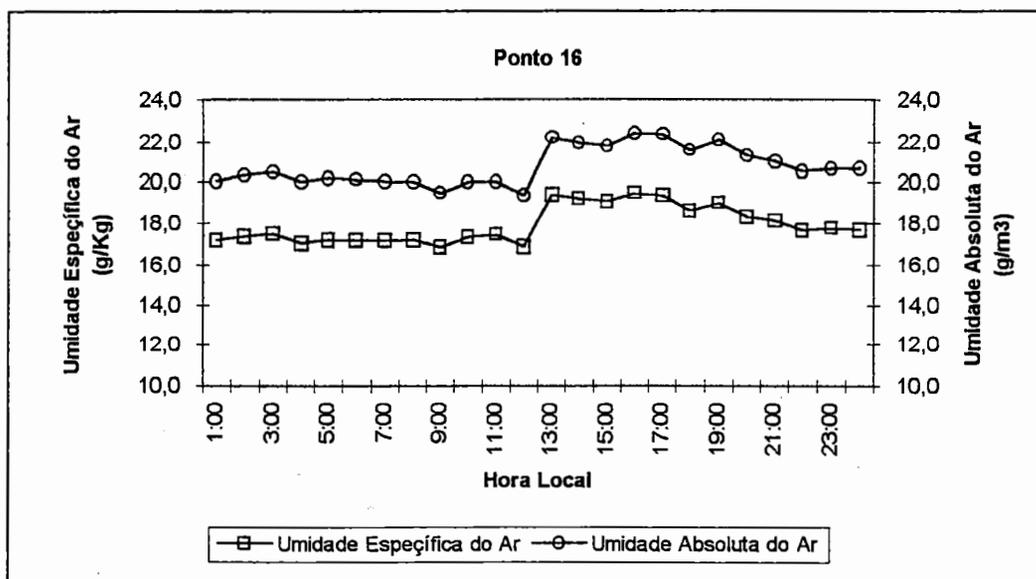
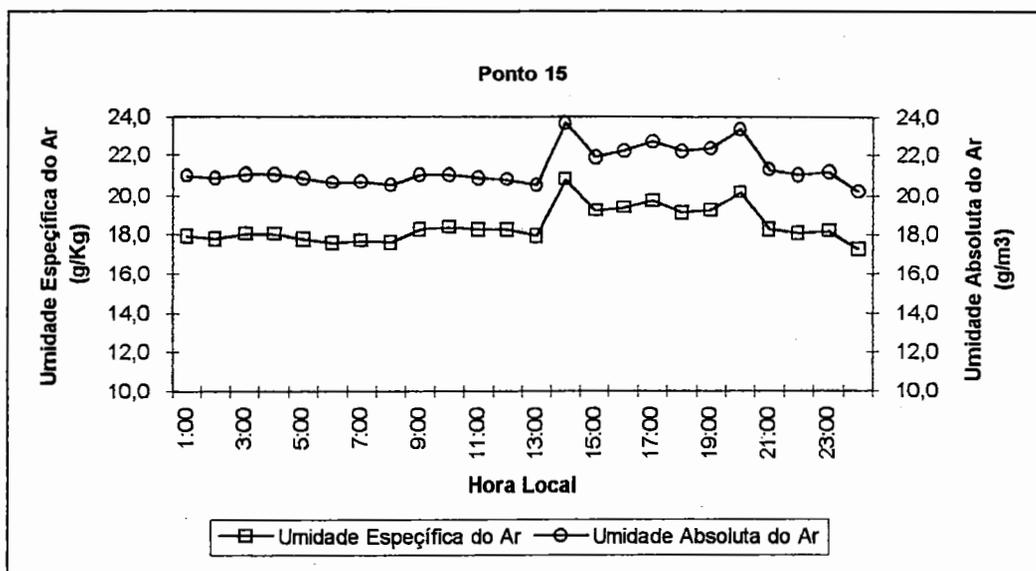


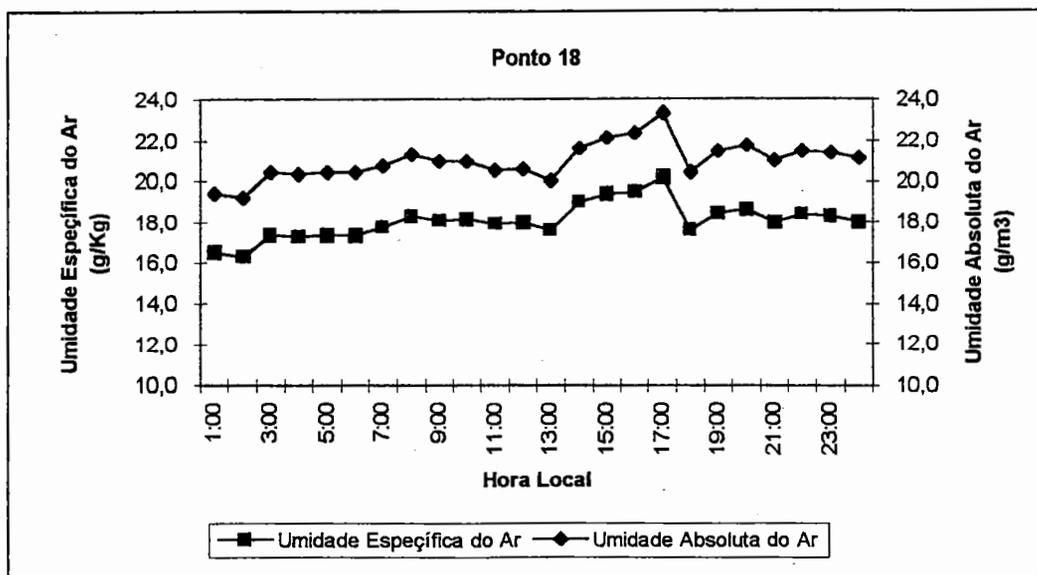
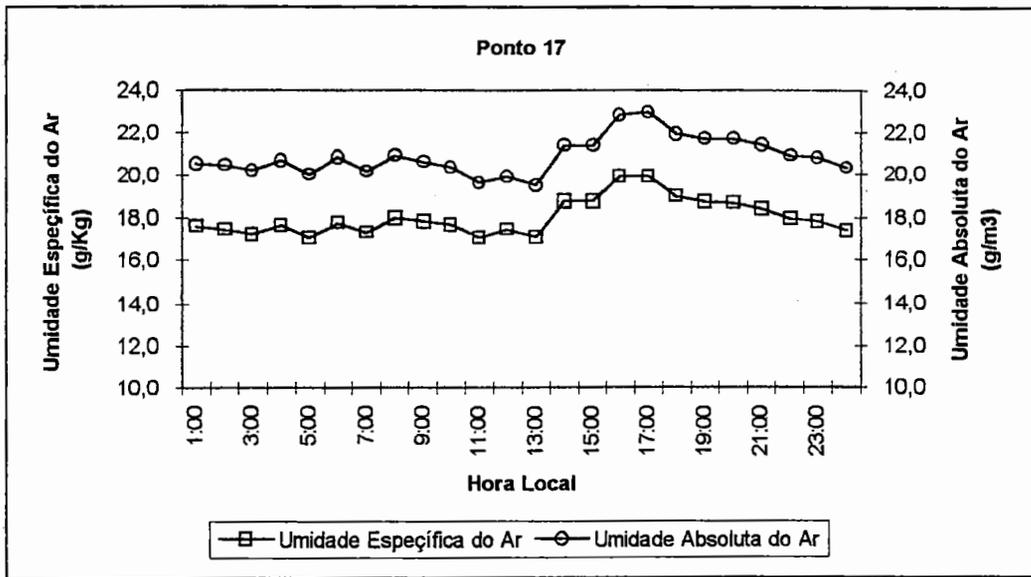












ANEXO B - Distribuição média da nebulosidade atmosférica durante as três fases experimentais

Nebulosidade média (oitavos)

Primeira Fase Experimental - 23 a 29 de outubro de 1995

Estação menos chuvosa

Pontos	Horas								Media
	01-03	04-06	07-09	10-12	13-15	16-18	19-21	22-24	
01	claro	claro	4Sc/Cu	4Cu	4Cu/Sc	4Cu	2Cu	claro	2/8
02	3Cu	3Cu	3Cu	3Cu	3Cu	3Cu	claro	claro	2/8
03	1Cu	1Cu	5Sc	3Cu	6Cu	3Cu	2Cu	claro	3/8
04	claro	claro	5Cu/Ac	6Cu	6Cu	6Cu/Sc	1Cu	claro	3/8
05	claro	claro	2Sc	4Cu	4Cu	3Cu	claro	claro	2/8
06	claro	claro	5Cu	6Cu	7Cu	7Cu	1Sc	claro	3/8
07	claro	claro	2Cu	4Cu	2Cu	3Cu	5Cu	claro	2/8
08	claro	claro	claro	6Cu	5Cu	4Cu/Cb	5Cb	claro	3/8
09	claro	claro	1Cu	5Cu	7Cu	7Cu	claro	claro	3/8
10	claro	claro	3Cu	5Cu	4Cu	6Cu/Sc	claro	claro	2/8
11	claro	claro	1Cu	4Cu	4Cu	3Cb/Cu	5Sc	5As	3/8
12	claro	claro	claro	5Cu	6Cu	6Cu	5Cu	2Cu	3/8
13	claro	claro	2Cu	7Cu	7Cu	6Cu	1Cu	claro	3/8
14	claro	claro	claro	6Cu	5Cu/Sc	5Cu/Cb	3Cu	claro	2/8
15	claro	1Sc	2Cu	6Cu	6Cu	7Cu/Cb	4Cu	3Sc	4/8
16	claro	claro	2Cu	6Cu	7Cu	7Cu	4Cu	claro	3/8
17	claro	claro	1Cu	7Cu	7Cu	7Cu	3Cu	1Cu	3/8
18	claro	claro	2Cu	6Cu	6Cu	6Cu/Cb	4Cu/Ac	2Ac	3/8

Nebulosidade média (oitavos)

Segunda Fase Experimental - 26 a 29 de fevereiro de 1996

Estação chuvosa

Pontos	Horas								Media
	01-03	04-06	07-09	10-12	13-15	16-18	19-21	22-24	
01	claro	2Cu	3Cu	7Cu	7Cu	7Cu/Sc	4Cu/Sc	3Cu	4/8
03	claro	claro	3Cu/Sc	7Cu/Sc	7Cu/Sc	7Cu/Sc	5Cu/Ac	2Cu	4/8
05	claro	claro	3Cu	7Cu	7Cu/Cb	8Cu	7Sc	2st	4/8
09	claro	2Cu	5Cu/Sc	7Cu/Sc	7Cu/Sc	8Sc	2Cu/Ac	1Cu	4/8
10	claro	claro	1Cu/Sc	5Cu/Sc	4Cu/Sc	3Cu/Cb	4Sc	claro	2/8
08	2Cu	4Cu	3Cu	5Cu/Sc	7Cu	8Cu	2Cu	claro	4/8
15	1Cu	2Sc	2Cu	6Cu	7Cu/Cb	5Cu	2As	1As	3/8
14	2St	6Ac	4Cu/Ac	5Cu	6Cu/Cb	8Cu/Sc	3Sc/Ac	1St	4/8
12	3Cu/Sc	4Cu/Sc	3Cu/Ac	6Cu/Ac	6Cu/Cb	8Cu/Sc	7Cu/Sc	4Cu/Sc	5/8
13	3Ac	3Ac	5Cu/Ac	7Cu/Ac	7Cu	8Cu/Sc	2Ac	claro	4/8
17	3Cu/Ac	3Sc/Ac	3Cu/Ac	6Cu/Sc	7Cu/Cb	7Cb/Cu	6Sc	5Cu/Ac	5/8
16	6Ac/Cu	8Ac	4Cu	5Cu	7Cu	7Cu	7Ac	7Cu/Ac	6/8

Nebulosidade média (oitavos)

Terceira Fase experimental (Simultânea) - 27 a 30 de outubro de 1996

Estação menos chuvosa

Pontos	Horas					Media
	07-09	10-12	13-15	16-18	19-22	
01	claro	5Cu	4Cu	4Cu	claro	4Cu
19	claro	6Cu	5Cu	3Cu	claro	5Cu
05 *						
20 *						
21	3Cu	5Cu	5Cu	3Cu	claro	4Cu
12	claro	4Cu	4Cu	4Cu	claro	4Cu
14	claro	4Cu	5Cu	4Cu	claro	4Cu
16	claro	6Cu	6Cu	5Cu	claro	6Cu
17	2Sc	4Cu	4Cu	3Cu	claro	4Cu

Observação:

(*) Não observado

Ac - Altocumulus

As - Altostratus

Claro - Céu claro

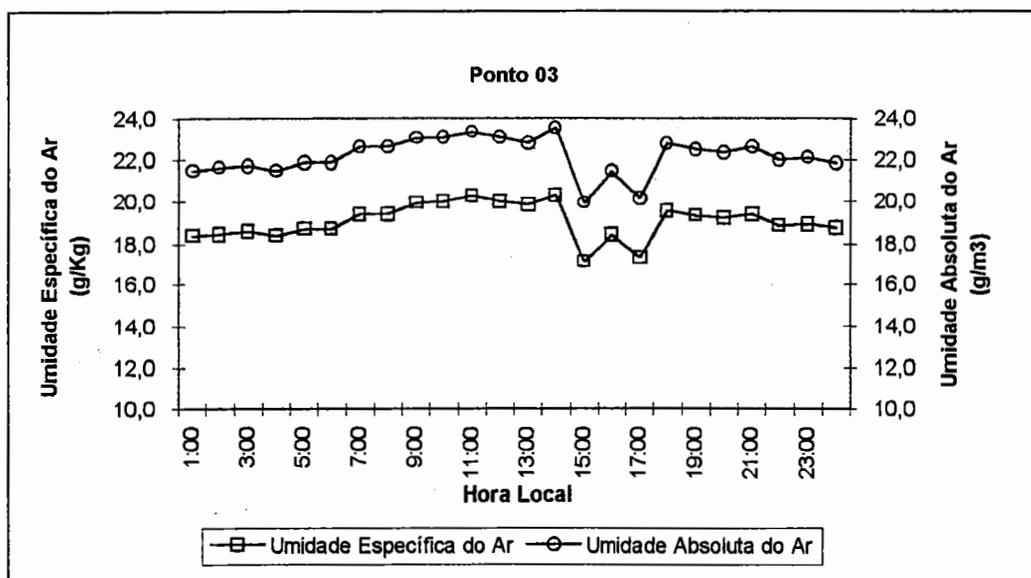
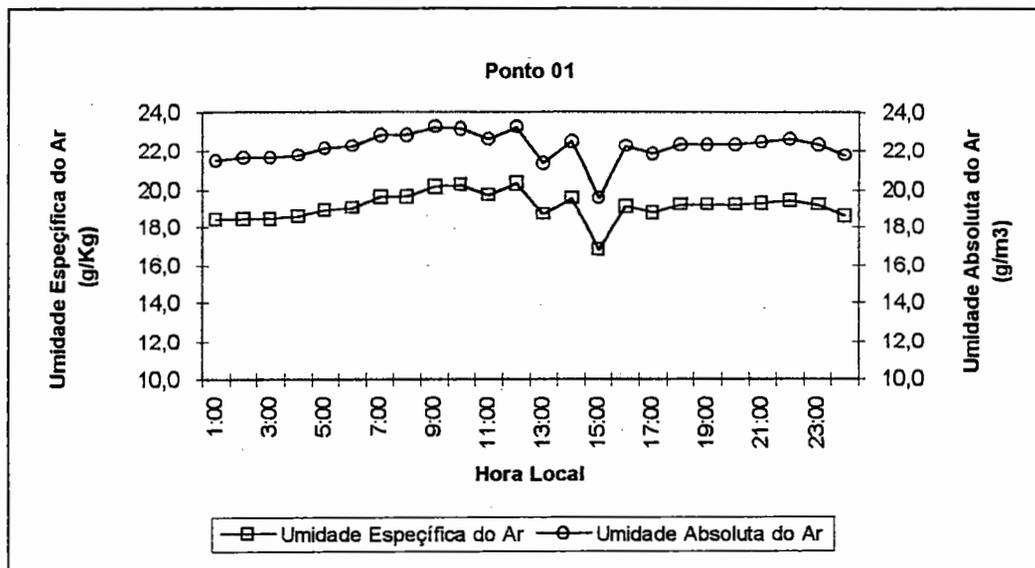
Cb - Cumulonimbus

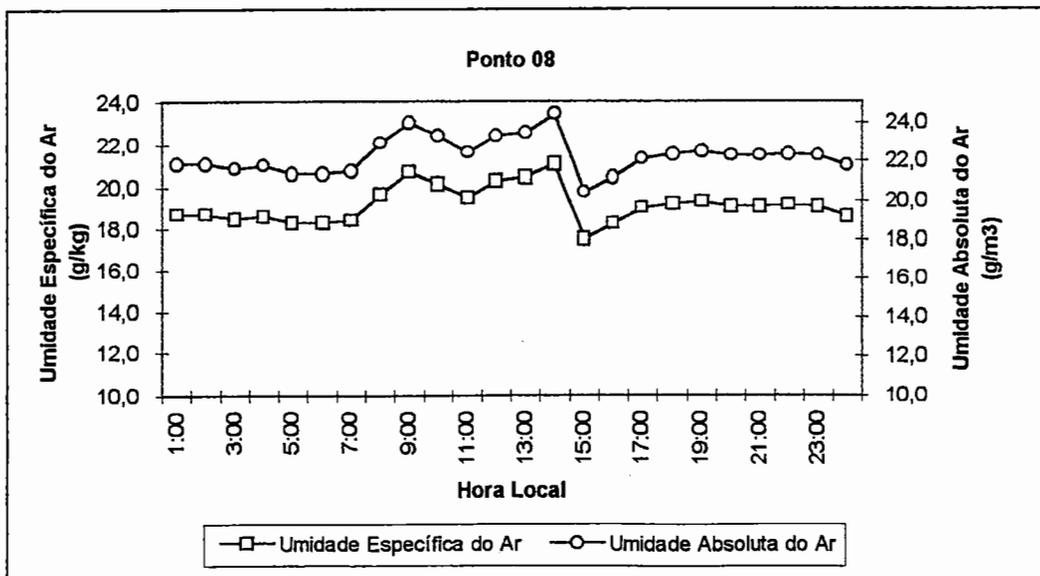
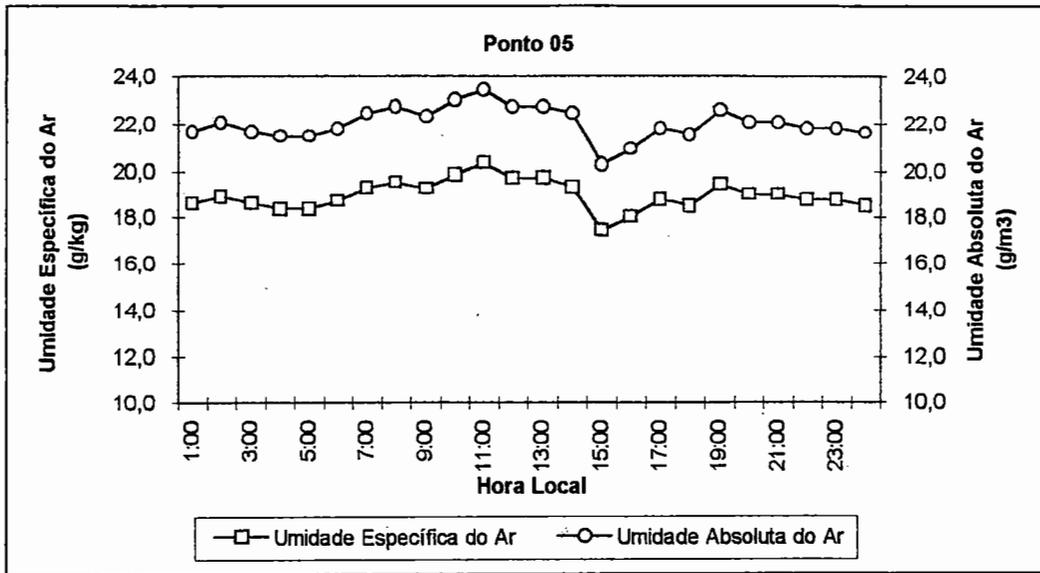
Cu - Cumulus

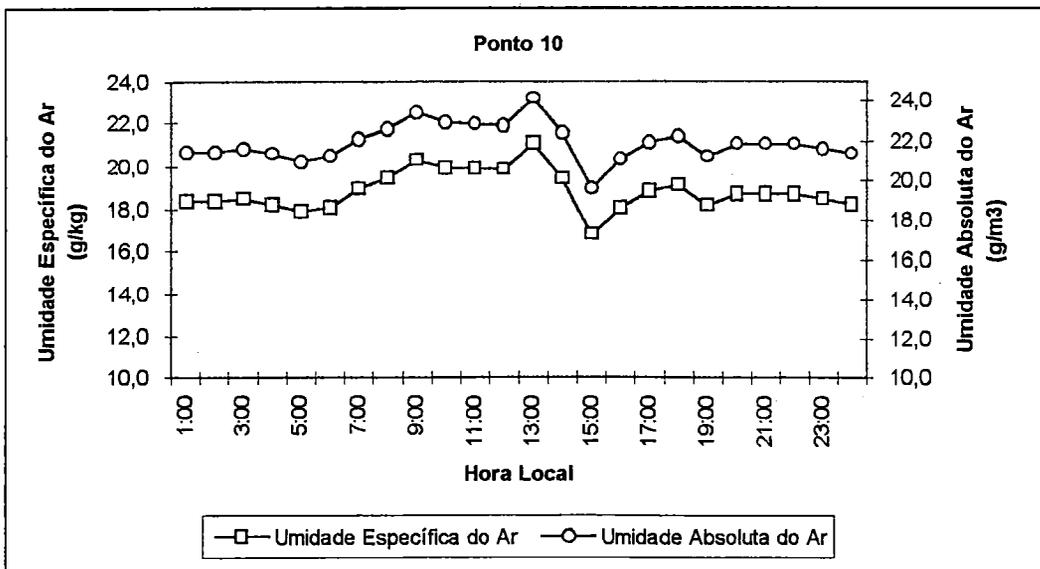
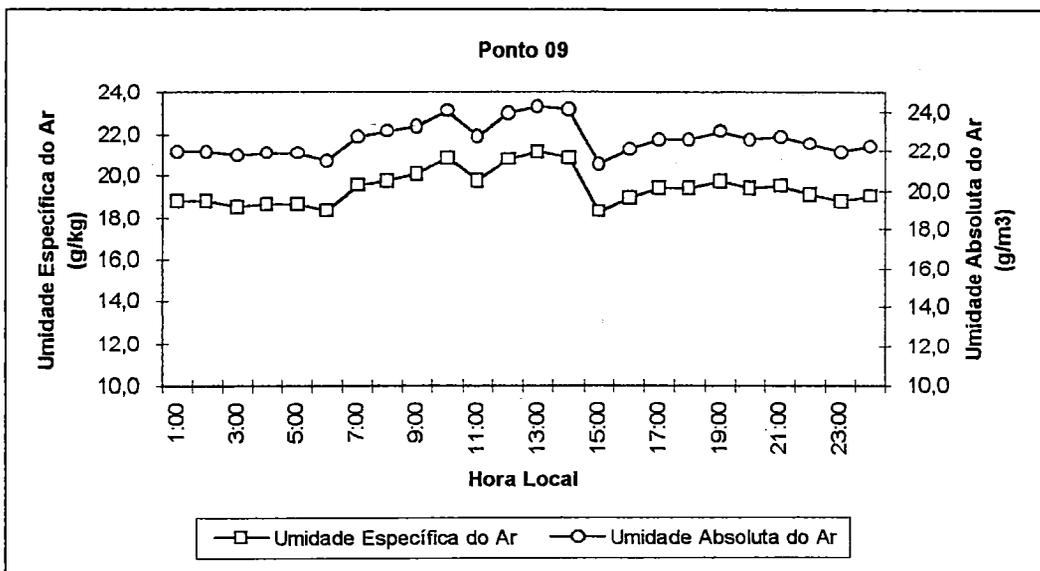
St - Stratus

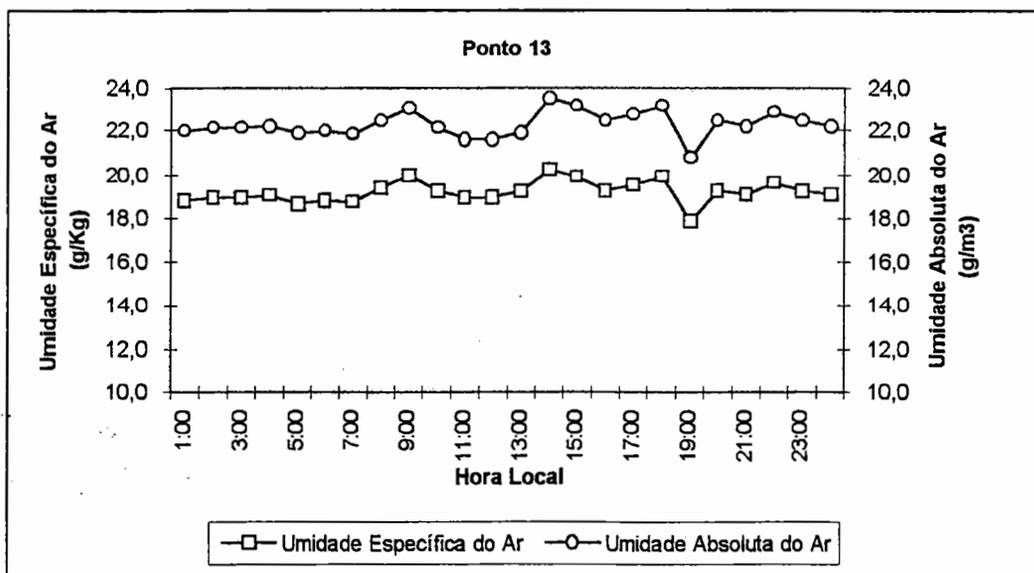
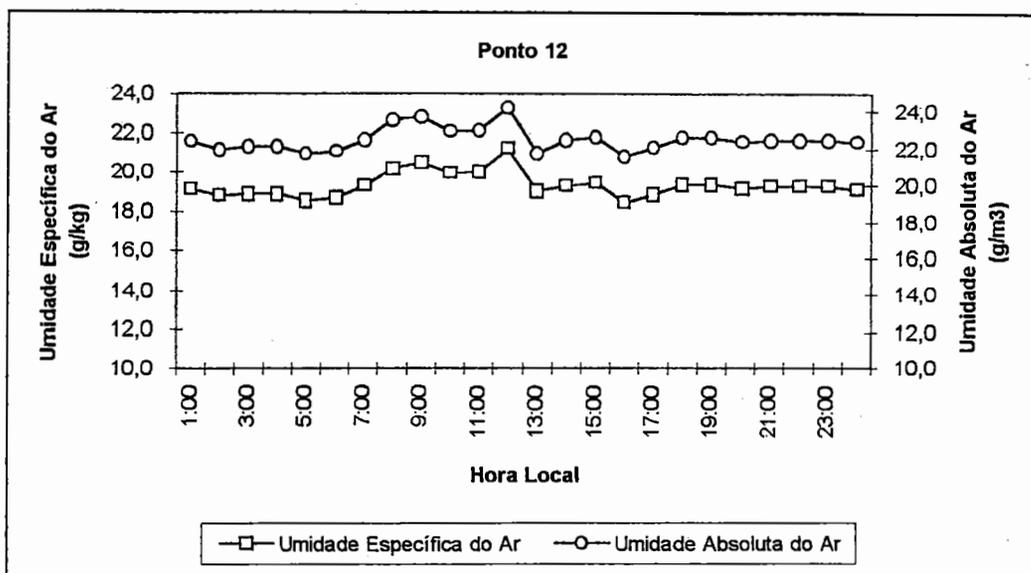
Sc - Stratocumulus

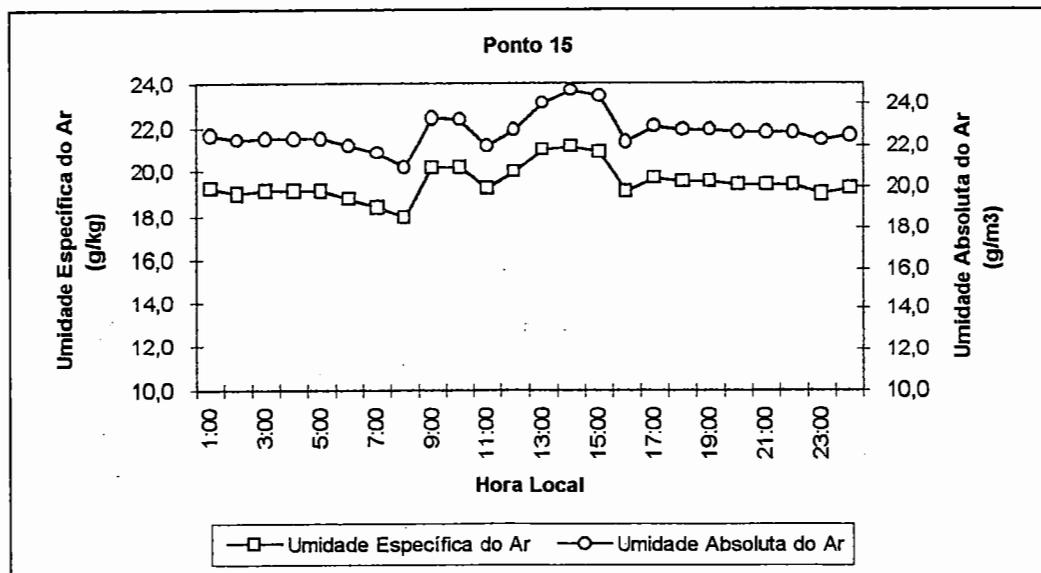
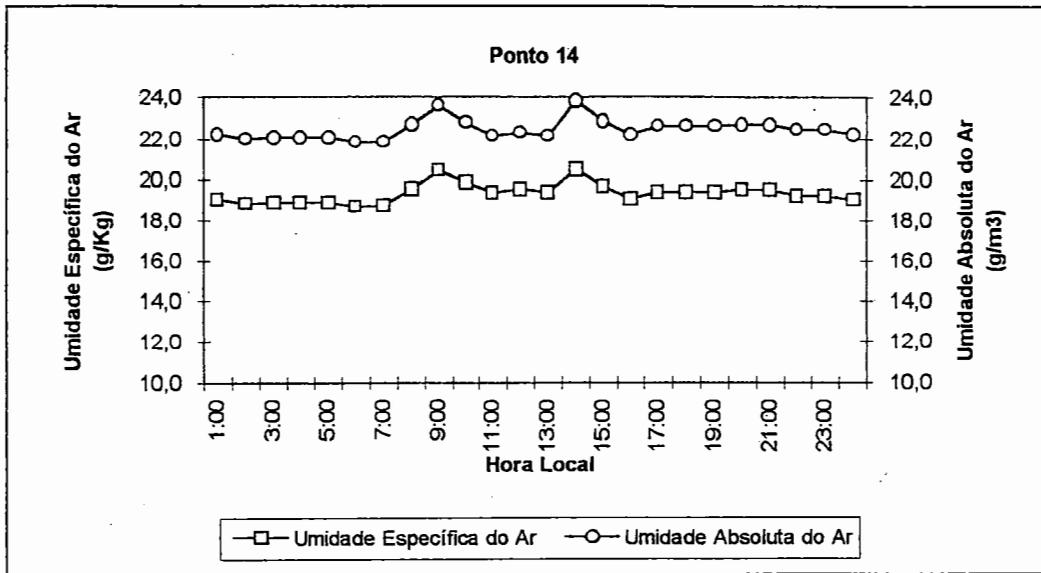
ANEXO C - Distribuição média horária da umidade específica e umidade absoluta do ar durante a segunda fase experimental

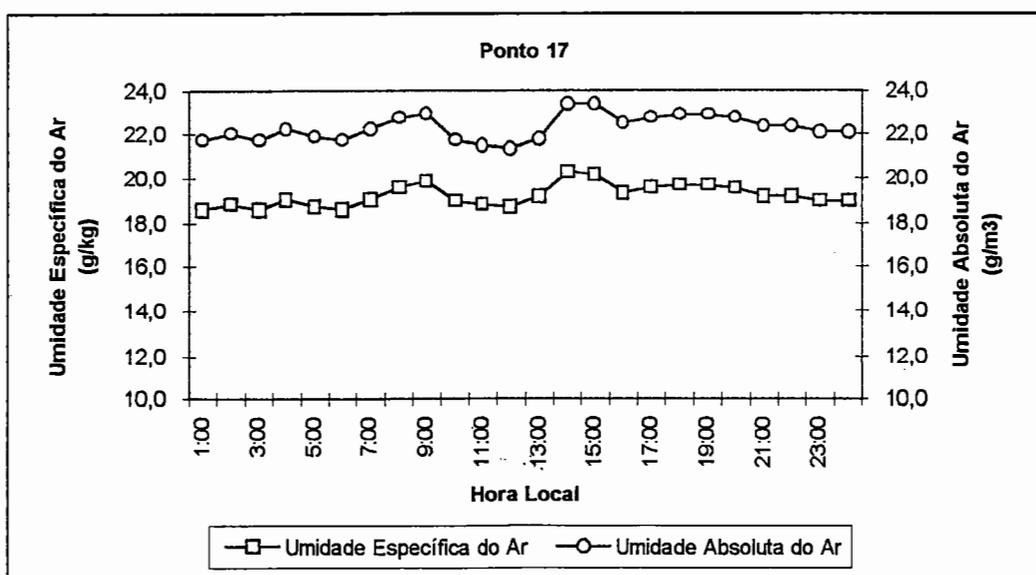
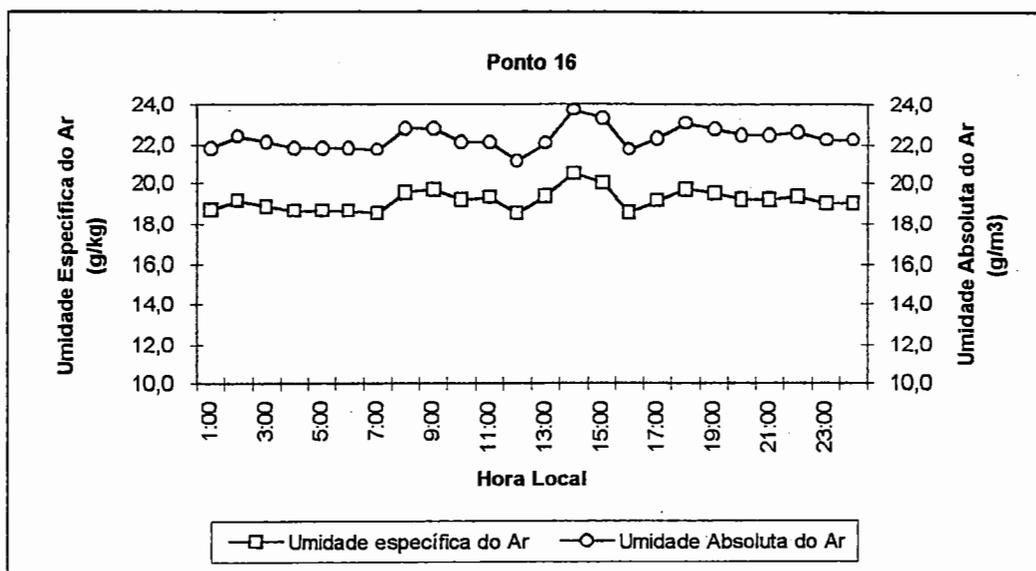




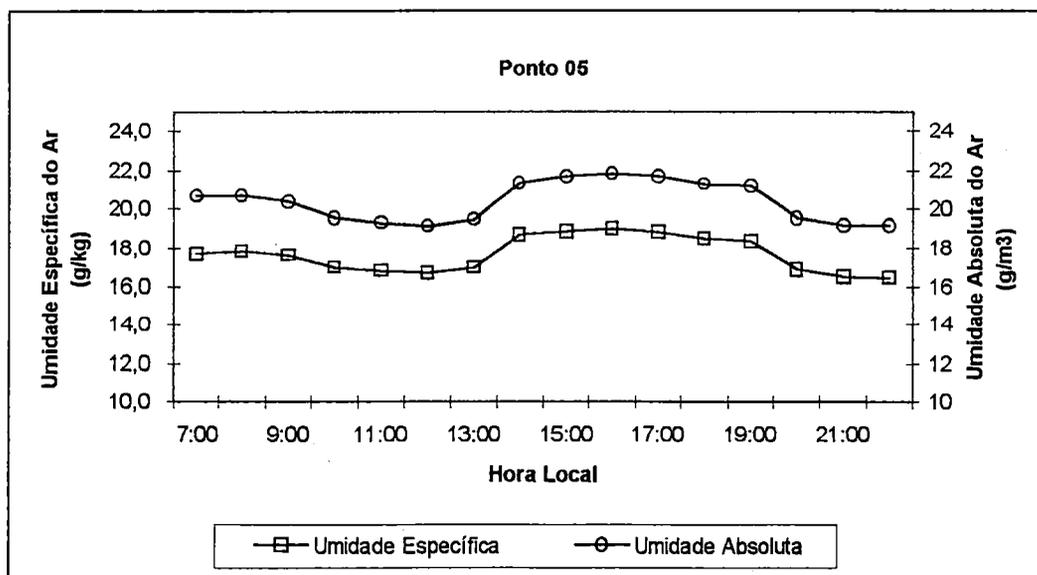
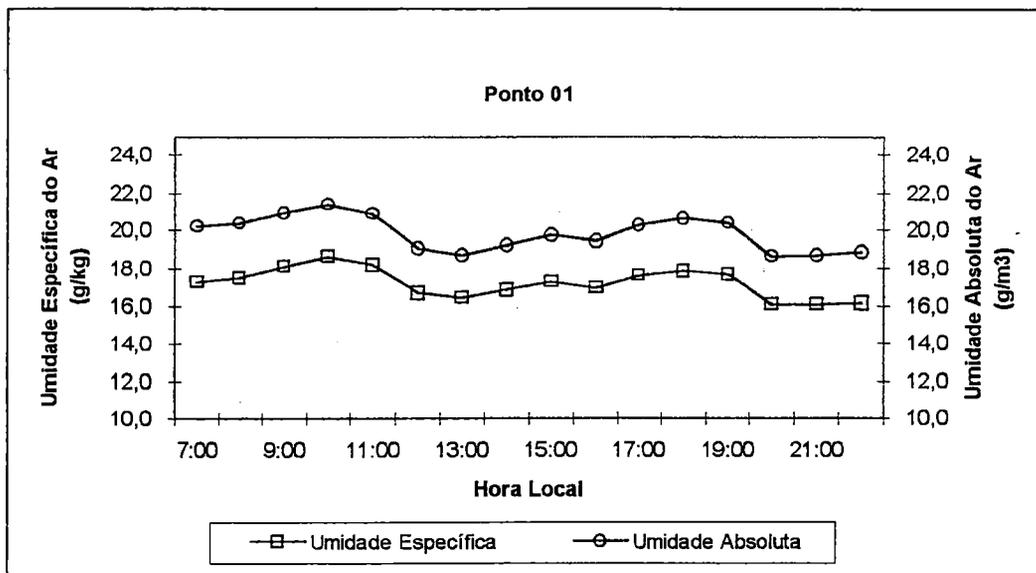


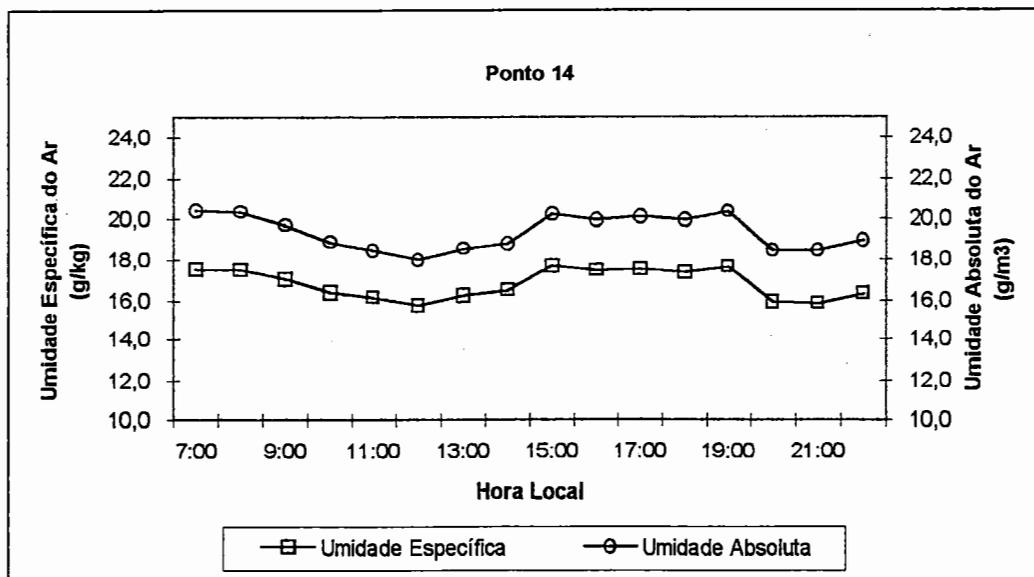
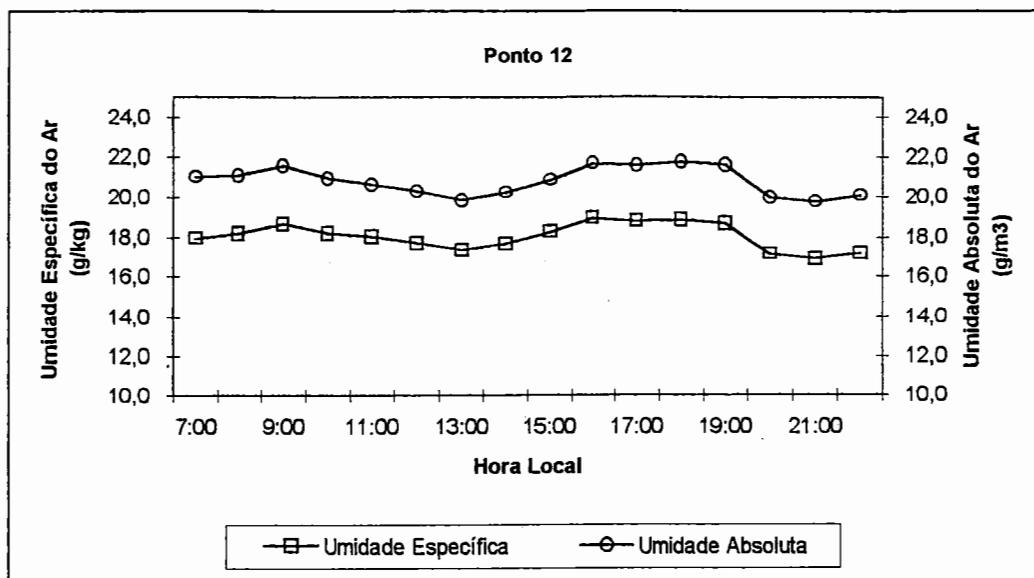


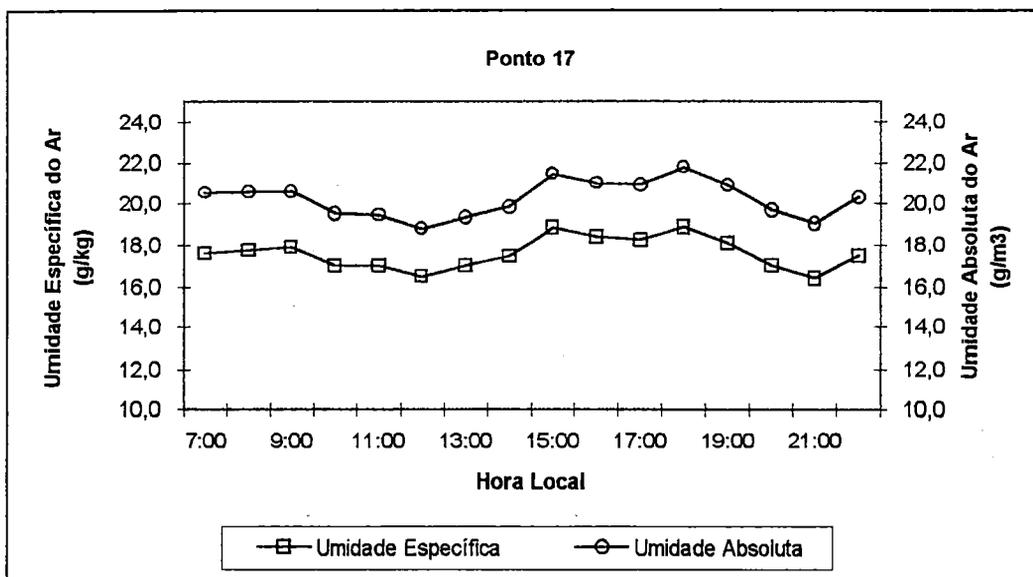
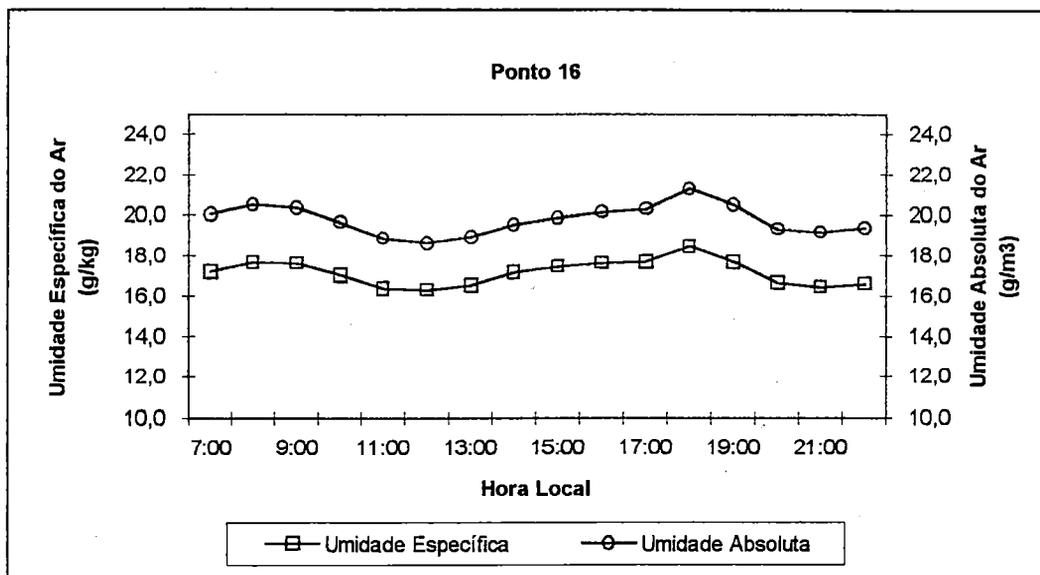


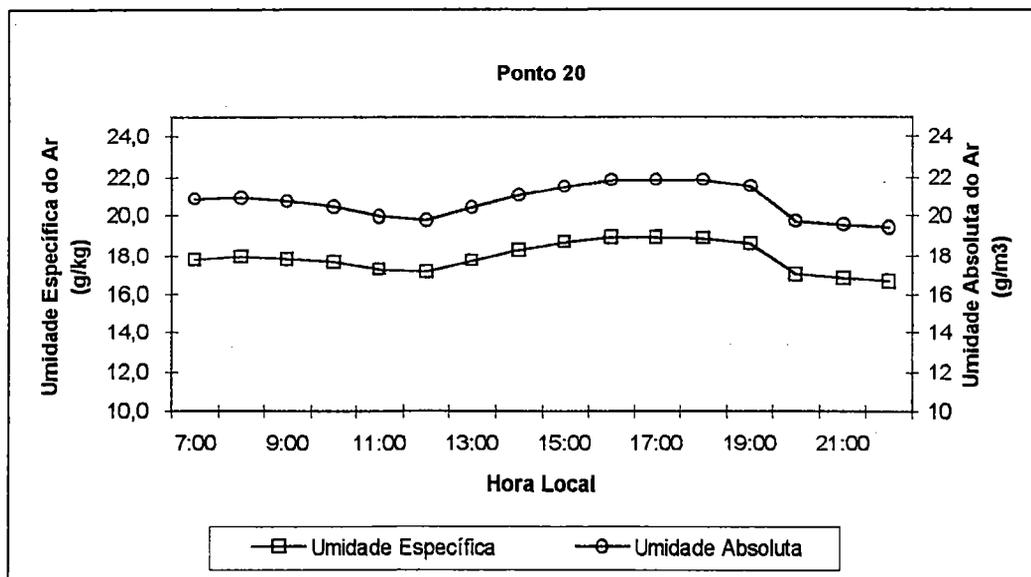
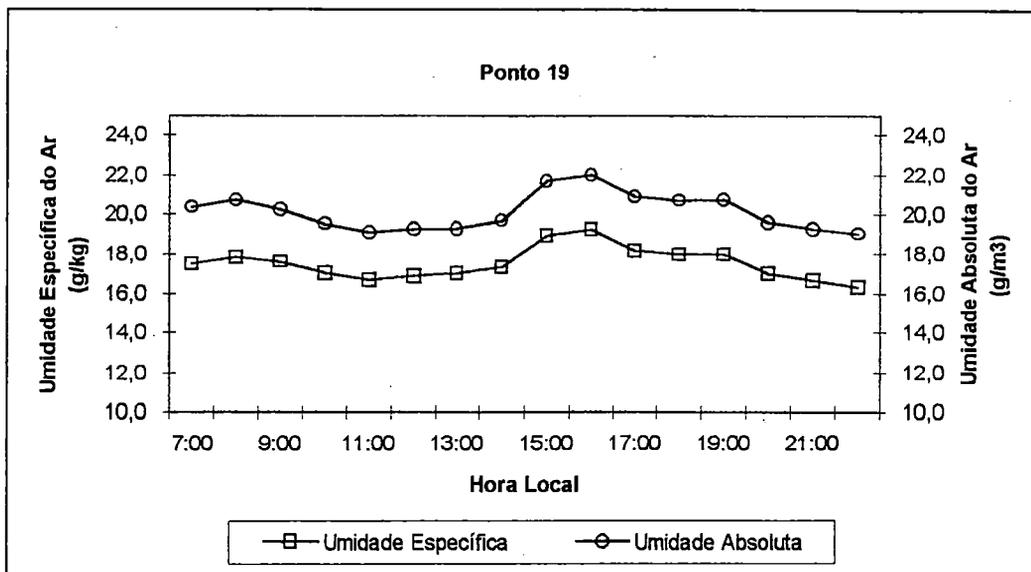


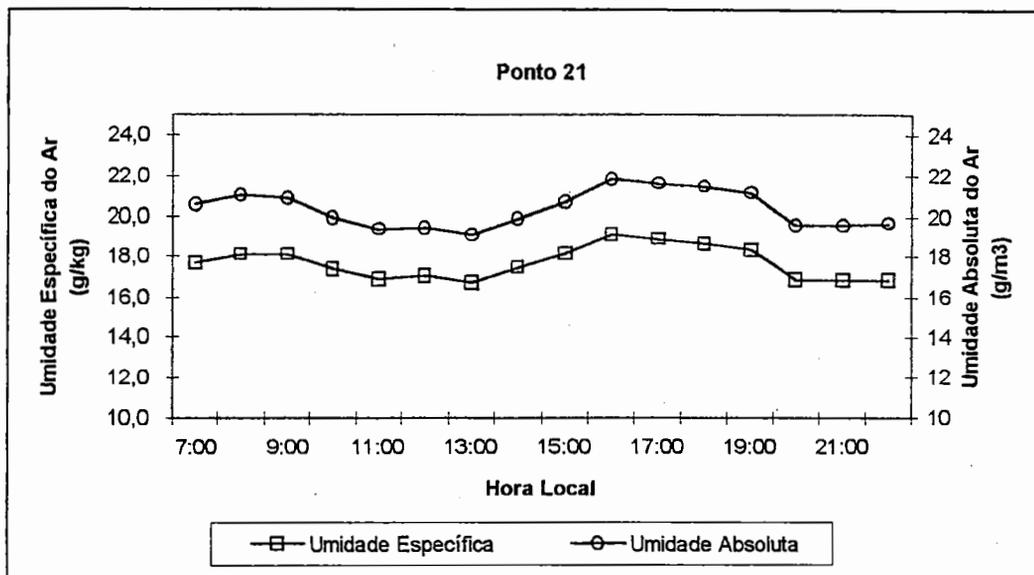
ANEXO D - Distribuição média horária da umidade específica e umidade absoluta do ar durante a terceira fase experimental



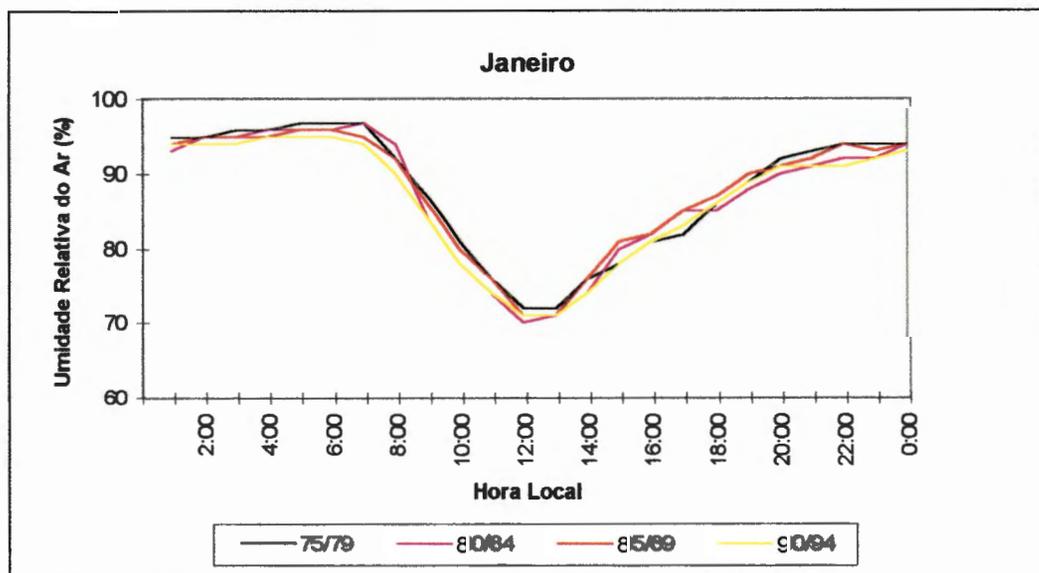
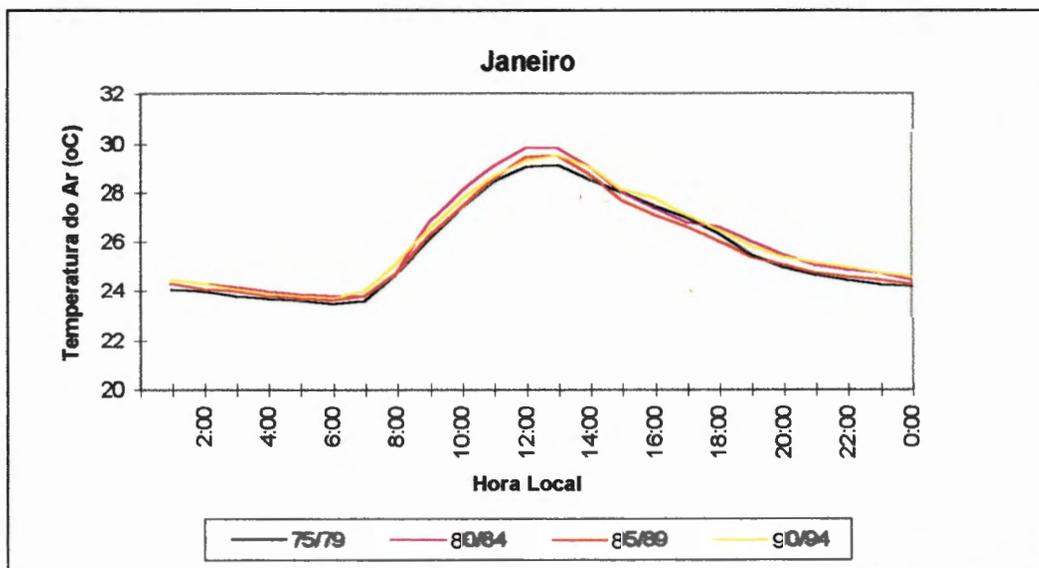


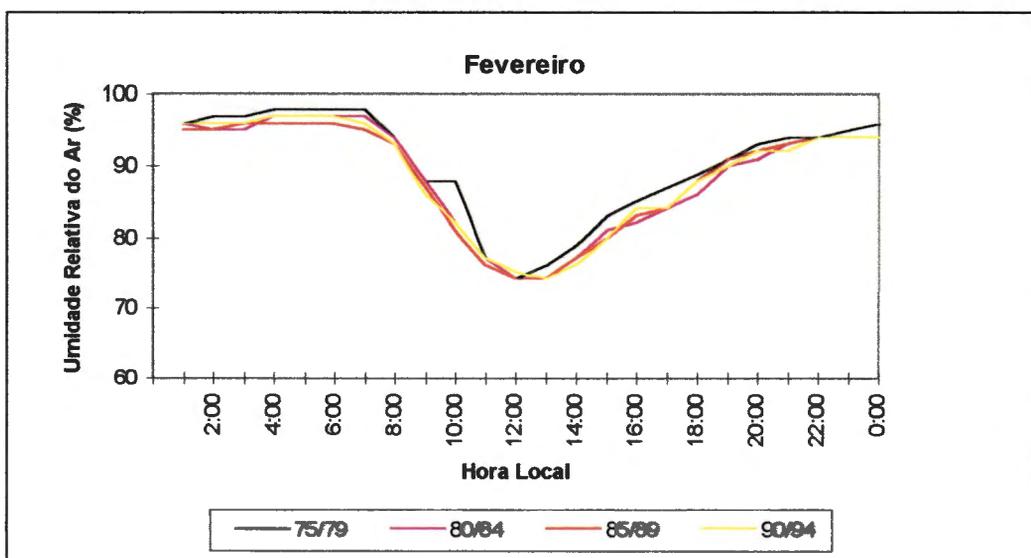
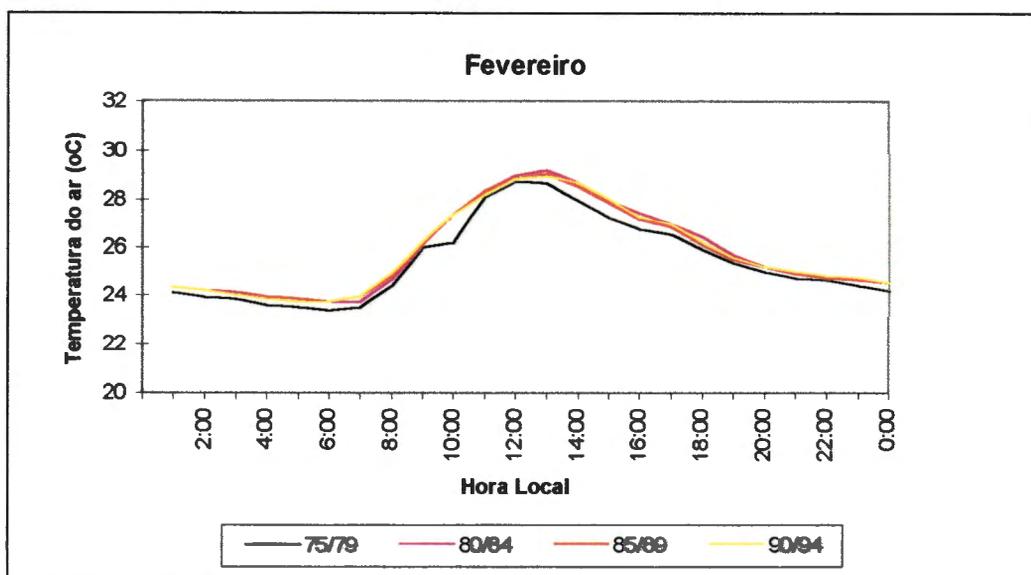


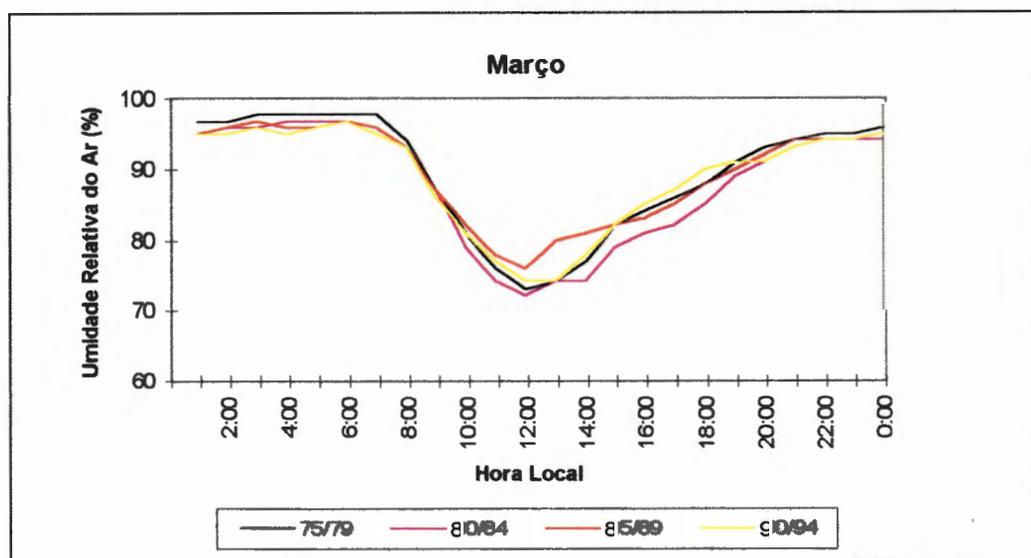
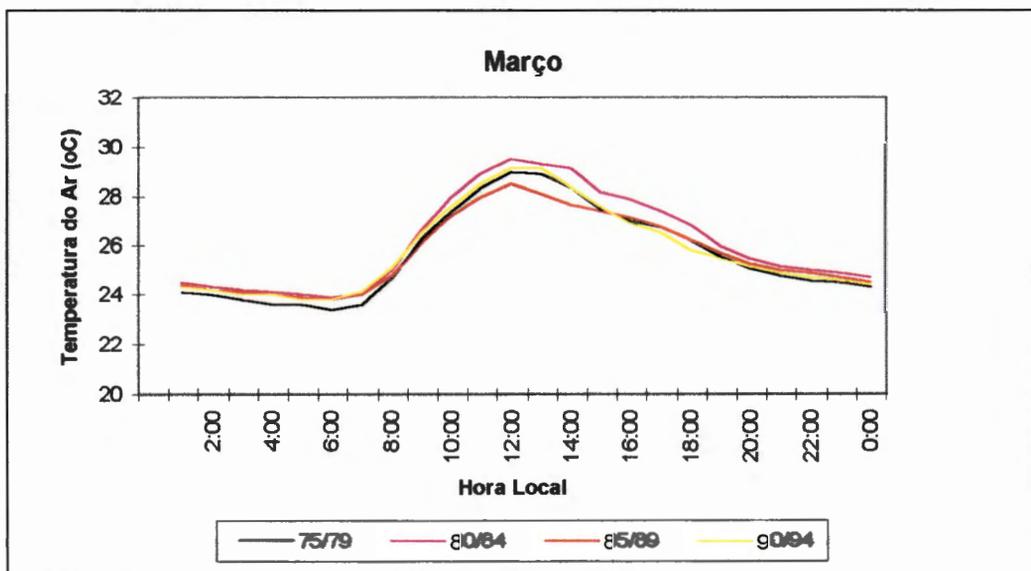


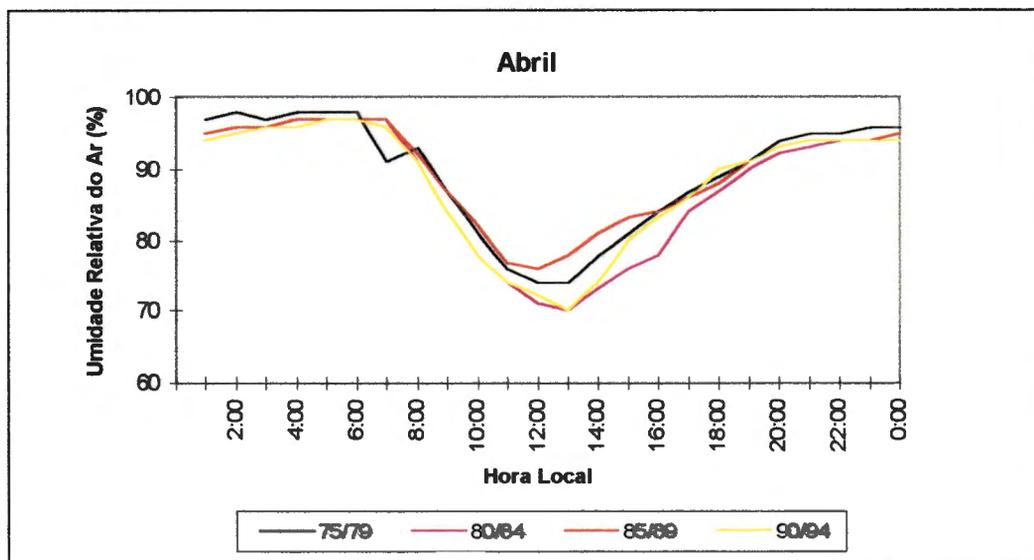
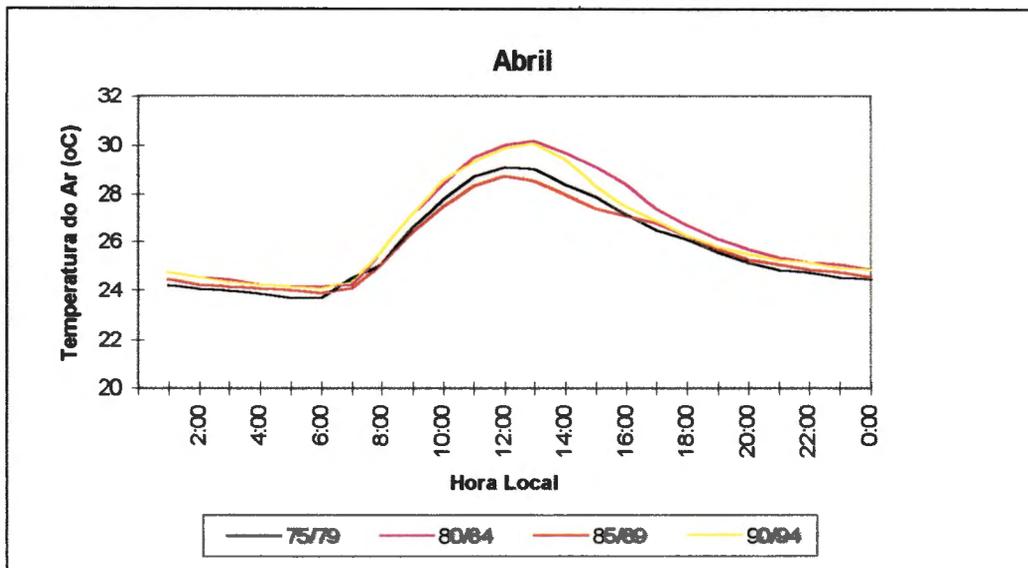


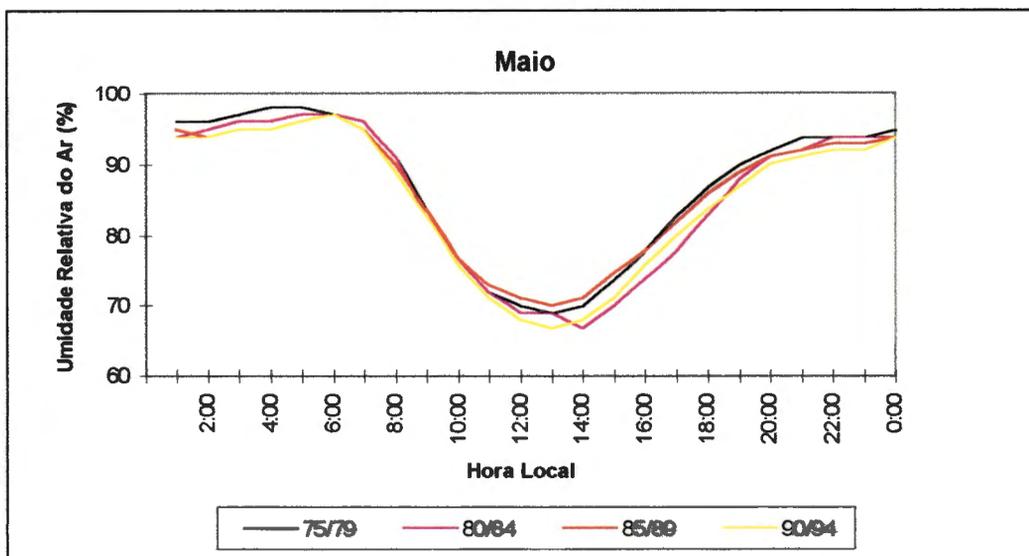
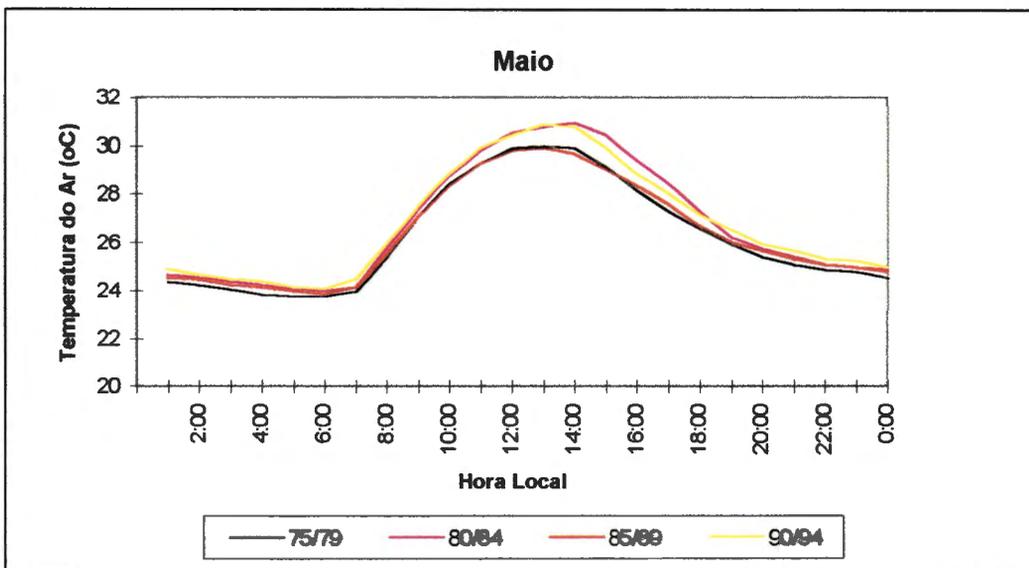
ANEXO E - Variações médias horárias da temperatura e umidade relativa do ar para o período de 1975 a 1995

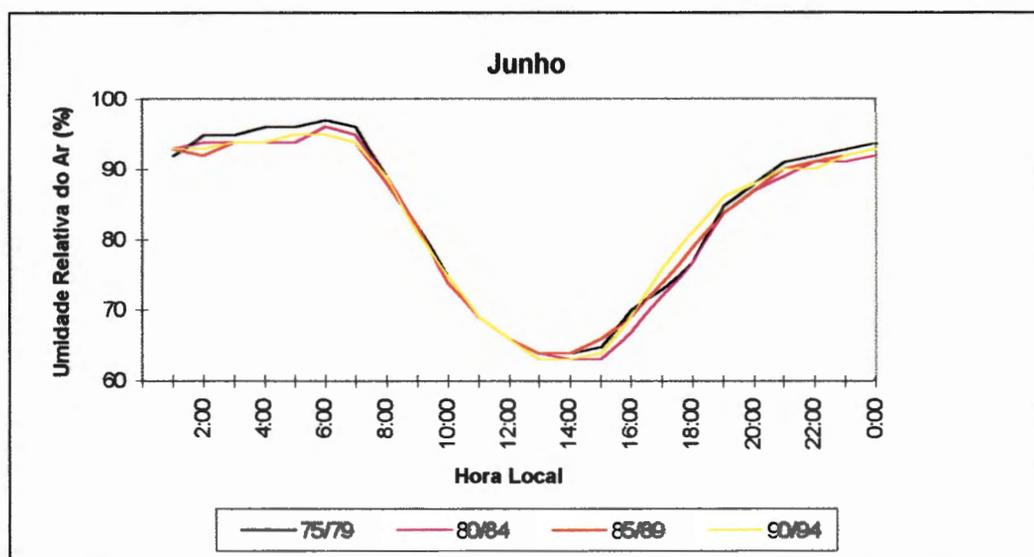
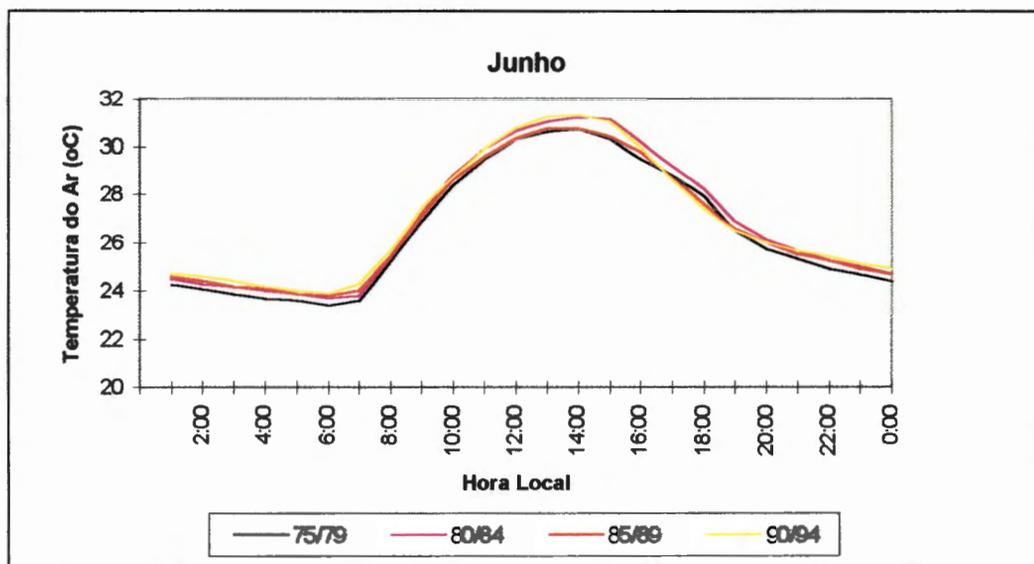


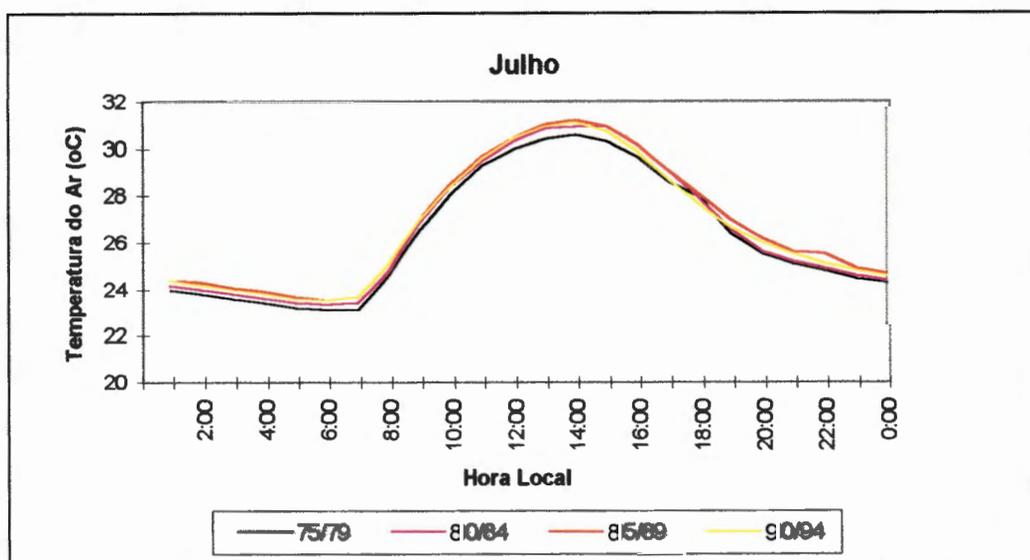
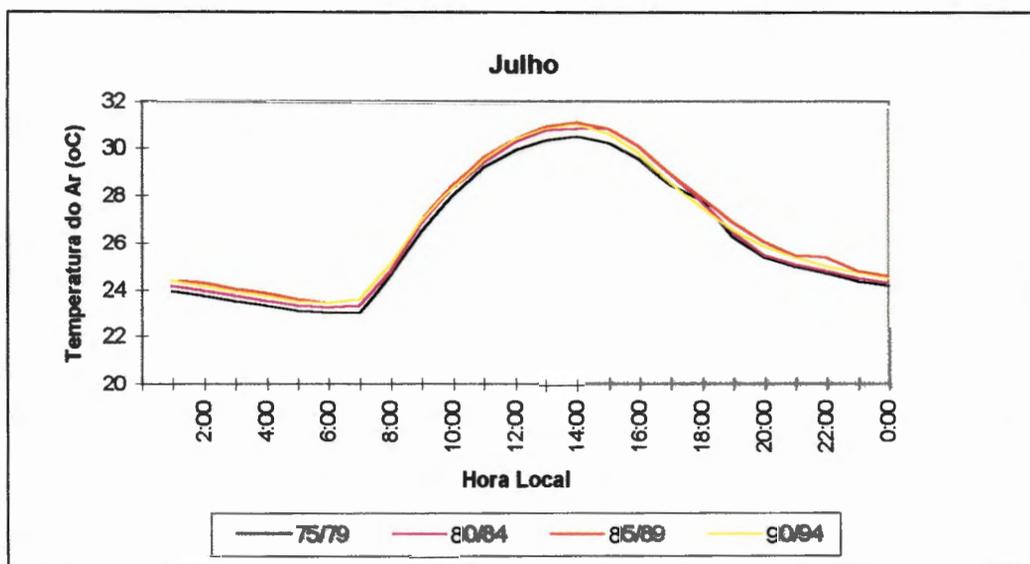


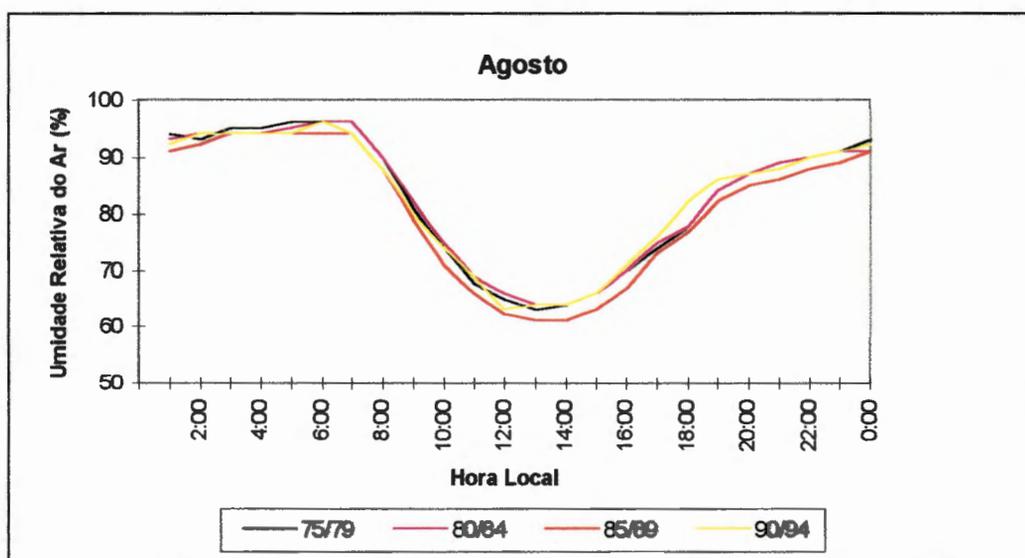
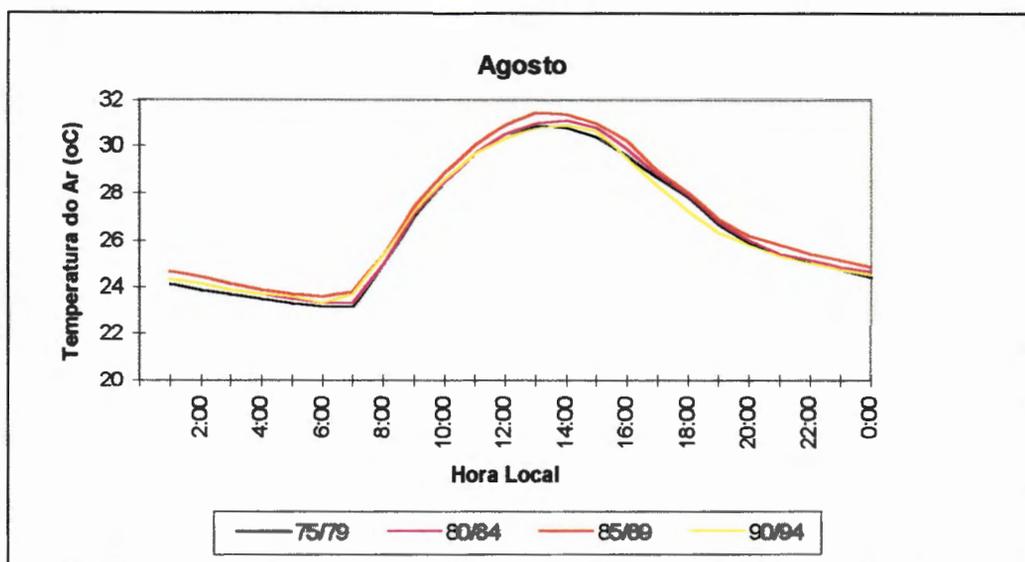


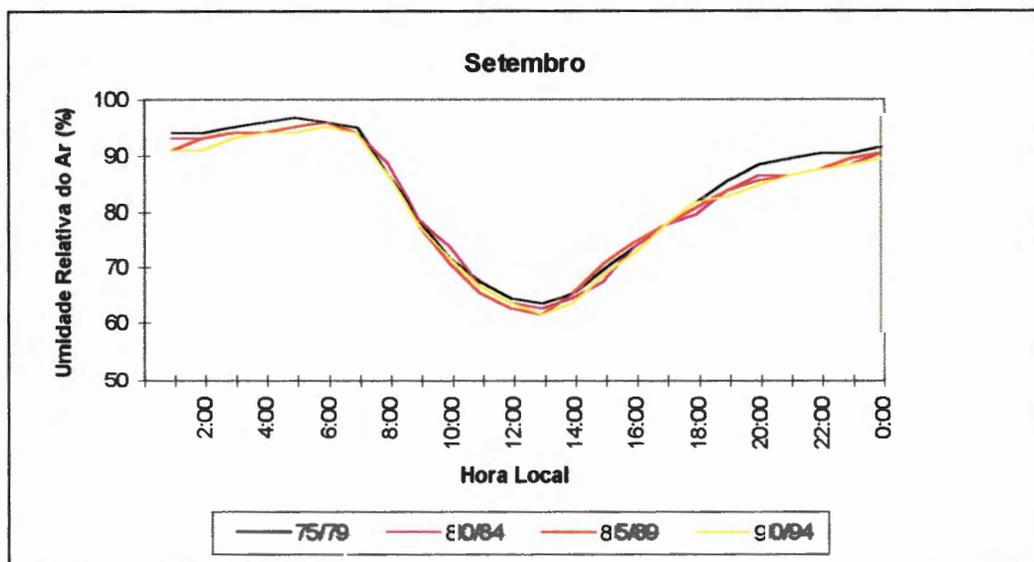
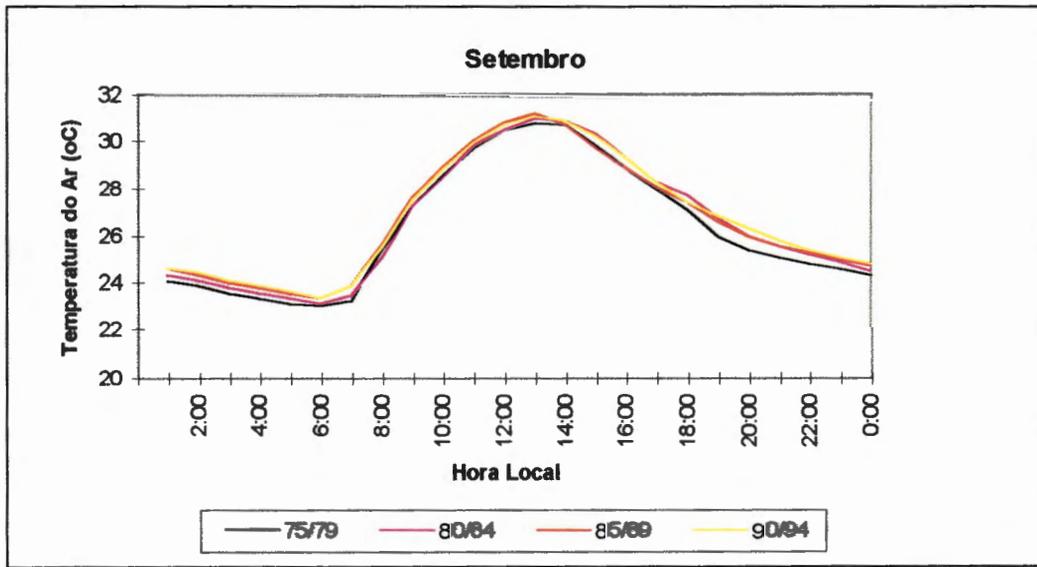


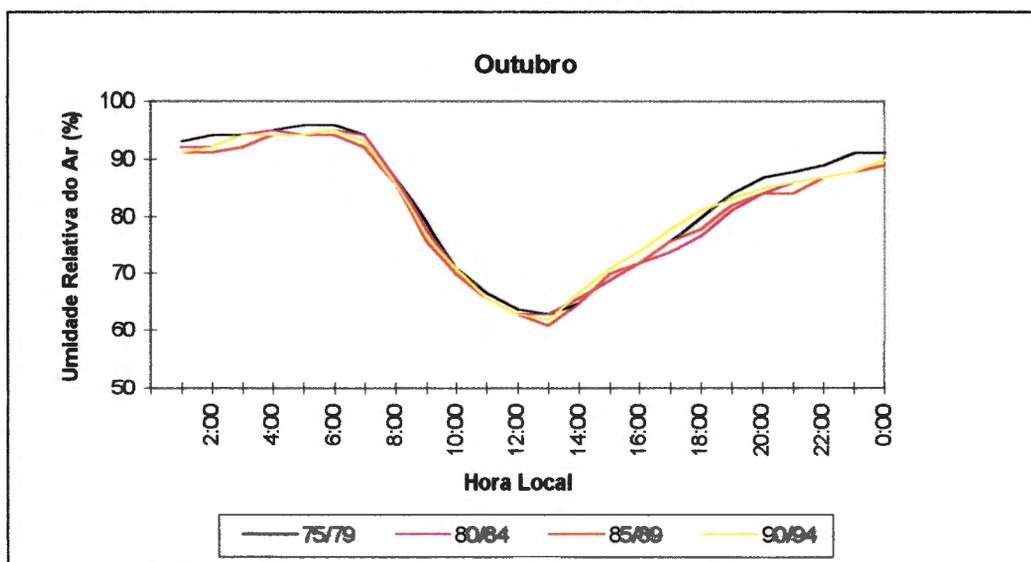
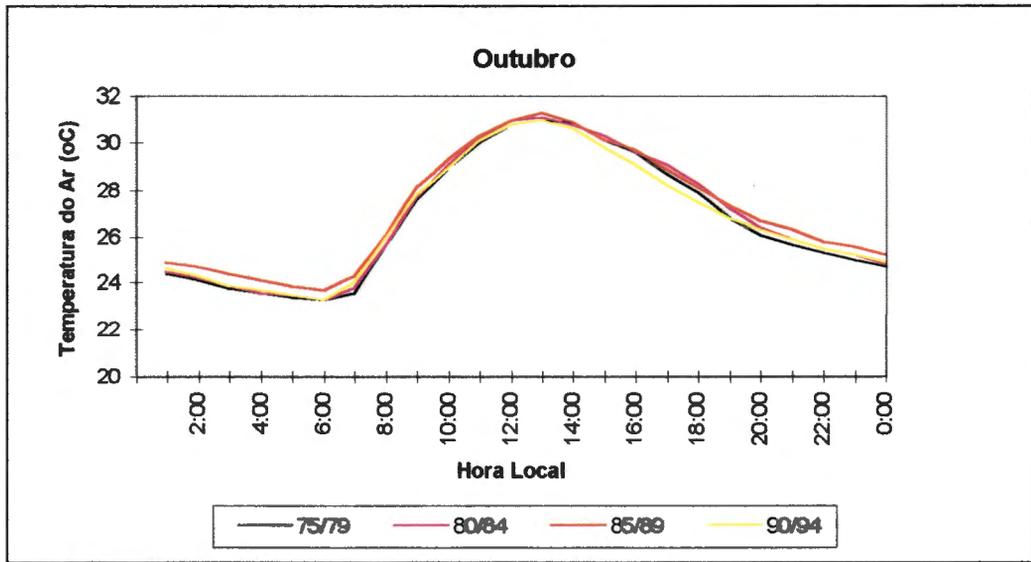


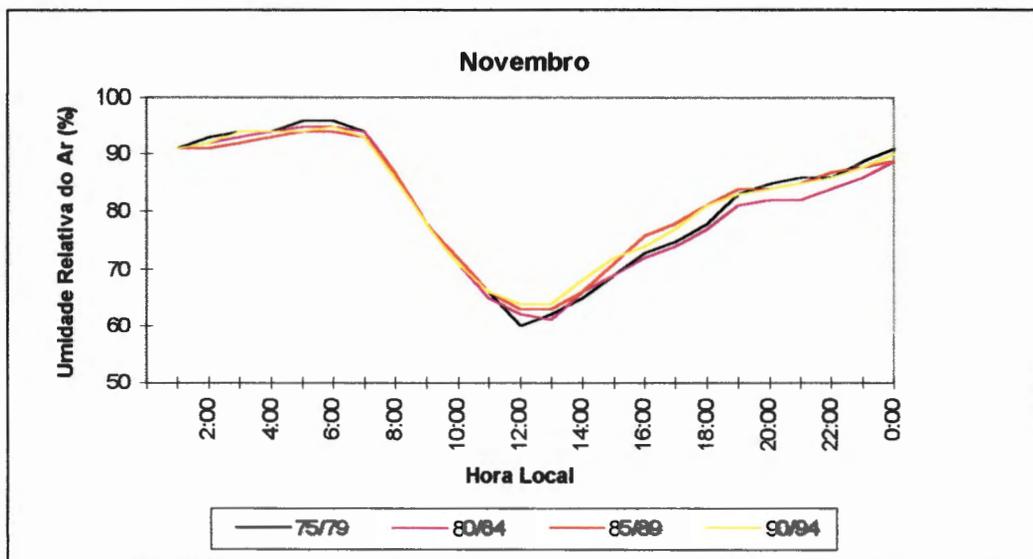
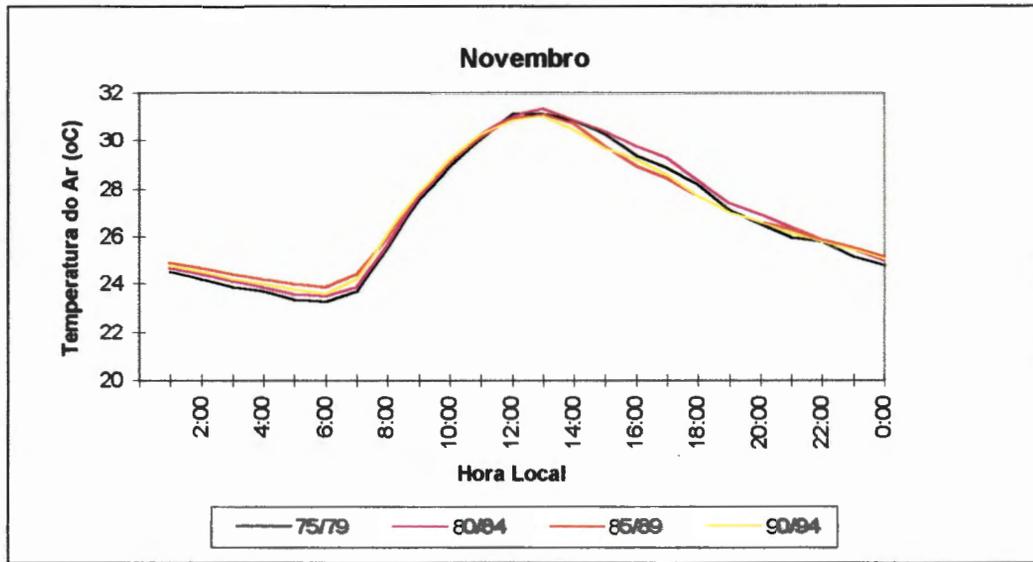


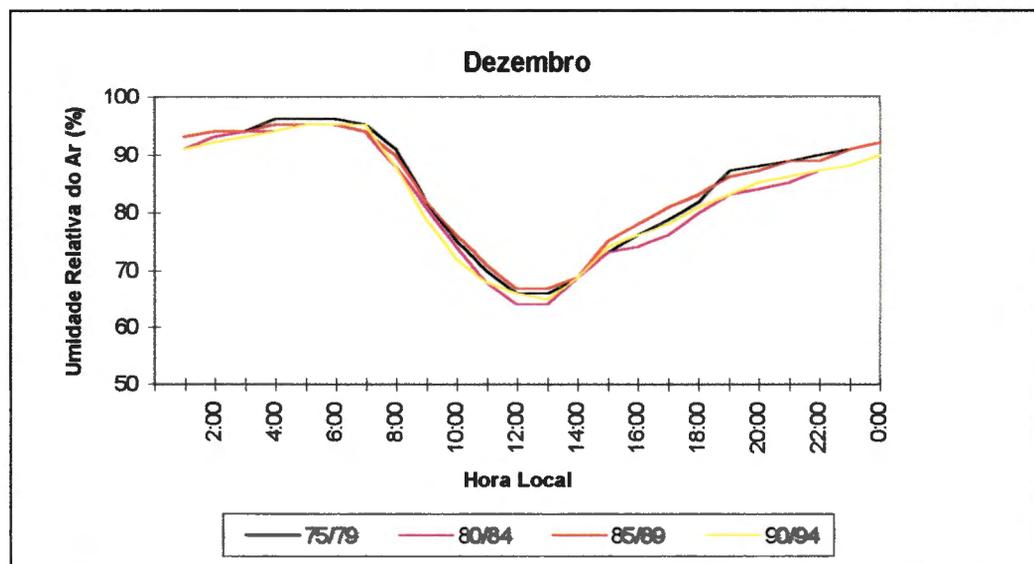
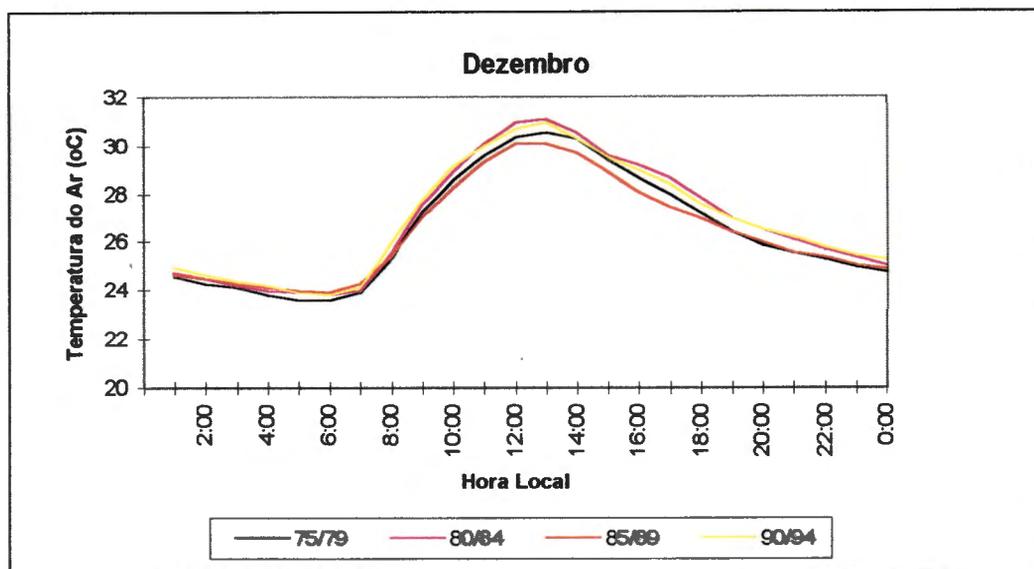












ANEXO F - Curvas de correlação entre a porcentagem de arborização urbana e as temperaturas médias, máximas e mínimas diárias durante as três fases experimentais.

