

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE MESTRADO EM GEOGRAFIA

**O CAMPO TÉRMICO DA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO  
ALEGRE: UMA ANÁLISE A PARTIR DA INTERAÇÃO DAS VARIÁVEIS  
AMBIENTAIS NA DEFINIÇÃO DO CLIMA LOCAL**

**ERIKA COLLISCHONN**

Orientador: Francisco de Assis Mendonça

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Área de Concentração: Utilização e Conservação de Recursos Naturais

Florianópolis -SC

Novembro, 1998

**"O campo térmico da região metropolitana de Porto Alegre: uma análise a partir da interação das variáveis ambientais na definição do clima local".**

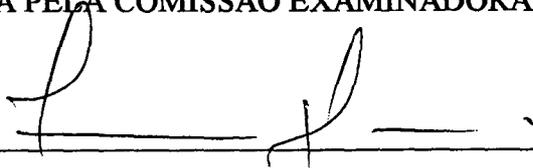
**Erika Collischonn**

*Dissertação submetida ao Curso de Mestrado em Geografia, área de concentração em Utilização e Conservação de Recursos Naturais, do Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da UFSC, em cumprimento aos requisitos necessários à obtenção do grau acadêmico de Mestre em Geografia.*

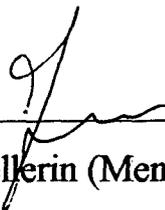
*Leila Christina Dias*

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Leila Christina Duarte Dias  
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Geografia

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM: 20/11/1998



Dr. Francisco de Assis Mendonça (Orientador-UFPR)



Dr. Joel Pellerin (Membro-UFSC)



M.Sc. Magaly Mendonça (Membro-UFSC)

Florianópolis - 1998

## Agradecimentos

Não fosse a participação de algumas pessoas e instituições na origem e evolução do processo, esta dissertação não teria se concretizado.

Ao Prof. Dr. Francisco Mendonça por ter acreditado no projeto desta dissertação, pelas tardes dedicadas exclusivamente à discussão do trabalho em Curitiba e por ter-me encorajado e provocado nos momentos de insatisfação e falta de estímulo.

Ao Renato Wanke de Melo que foi de marceneiro a psiquiatra, acompanhando toda esta caminhada.

Inúmeras outras pessoas colaboraram para que eu pudesse atingir os objetivos propostos, a elas meu agradecimento pelo apoio e solidariedade. São elas: Heinrich Hasenack e Lilian Ferraro pelo estímulo inicial na pesquisa em climatologia, Prof. Dr. Joel Pellerin, pelo sabor que soube dar às aulas de Sensoriamento Remoto, a meus irmãos Walter e Gisela pelo apoio em questões técnicas e de redação, a Viviane Goulart, Guilherme Reichwal Jr, Volmerio Coelho, Ricardo Wanke de Melo e Suzana Oliveira pelo apoio nos levantamentos de campo, a Alexandre Rauber e Gerson Riediger, pelo apoio na digitalização e aos colegas do Programa de Pós- Graduação em Geografia da UFSC pelos gostosos momentos de convivência em Florianópolis .

Do ponto de vista institucional, sou grata ao apoio da CAPES, pela bolsa de mestrado, e do Departamento de História e Geografia da Universidade de Santa Cruz do Sul, que me concedeu afastamento das minhas atividades docentes durante um ano e meio. Agradeço também o apoio do Laboratório de Climatologia do Depto de Geociências da UFSC - que cedeu os termômetros - do INMET e da Secretaria do Meio Ambiente de São Leopoldo, do Departamento de Proteção de Vôo da Aeronáutica e da METROPLAN, enfim, dos órgãos que permitiram levantamentos de dados em diversas etapas de pesquisa.

## RESUMO

Este estudo analisa as correspondências entre as variáveis climáticas, temperatura de superfície e temperatura do ar, e os atributos ambientais, sítio e uso do solo, na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), com o objetivo de compreender as associações de fatores que criam diferenças térmicas locais no verão nesta área. A particularidade do trabalho está na discussão teórica e na metodologia. Discute-se a questão da escala na especificidade do trato do clima metropolitano (clima regional, local e urbano). A metodologia proposta para este estudo foi a utilização de modelos numéricos de terreno e do sensoriamento remoto como suporte na cartografia dos aspectos de sítio, de uso do solo e de temperatura de superfície. Também foram utilizados dados da rede de estações meteorológicas e de campanhas de medição pontual. Conclui-se que a concentração populacional na área urbanizada, em função da multiplicação de superfícies construídas, evidencia uma modificação local do clima. No meio rural, a variedade de culturas, as áreas de cobertura vegetal permanente, a exposição e composição do solo também estão na origem de variações climáticas locais. Apesar das limitações dos dados, para obter-se valores absolutos da temperatura ambiente, o estudo propõe algumas sugestões quanto ao planejamento urbano-regional.

Palavras chave: Região Metropolitana de Porto Alegre, Clima local, uso do solo, cartografia térmica de superfície.

## ABSTRACT

This dissertation analyses correspondences between climatic variables, surface temperature and air temperatures and environmental attributes (place and landcover characteristics) in the Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), with the purpose of understanding the links between factors which create local thermal differences in this region in summer. The peculiarity of this work live on the theoretical discussion and on the methodology. The scalar problem is treated on the approach of metropolitan climate (regional climate, local climate e urban climate). The methodology proposed for this study lies in the use of Digital Terrain Model and of satellite-derived data as a basis for the cartographic aspects of the relief, landcover characteristics and surface temperature. Data from a network of meteorological stations and of punctual measurements have also been used. The conclusion is that the population concentration in urbanized area, with the consequent increase of built surface, has shown local modification of climate. In rural area, factors like the variety of landcover characteristics, the exposition and composition of the ground are also at the origin of local climatic variations. While noting the limitations of the data for obtaining absolute quantitative values for ambient air temperature, the study purposes some direction to the planning and development of the metropolitan area.

Key words: Local climate, temperature, landcover characteristics, surface thermal cartography.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1 O ESTUDO DO CLIMA LOCAL E DO CLIMA URBANO: DISCUSSÃO INTRODUTÓRIA .....</b>	<b>8</b>
1.1 Quadro metodológico referencial.....	8
1.2 As escalas de organização climática .....	10
1.3 O clima local .....	13
1.4 O clima urbano .....	21
1.5 Roteiro metodológico.....	25
1.5.1 Primeira Fase.....	28
1.5.2 Segunda Fase.....	28
1.5.2.1-A análise espacial.....	28
1.5.2.2- A análise temporal .....	33
1.5.3 Terceira Fase.....	39
<b>2 RMPA – ANÁLISE ESPACIAL: SÍTIO NATURAL, OCUPAÇÃO E USO DO SOLO .....</b>	<b>41</b>
2.1 O sítio urbano da RMPA na compartimentação topo-geomorfológica regional e local 41	
2.2 Evolução urbana.....	51
2.3 As características da área rural.....	66
2.4 Caracterização do entorno das estações fixas e móveis.....	69
2.4.1 Estações climatológicas principais.....	69
2.4.2 Estações de apoio.....	79
2.4.3 Postos de mensuração temporários.....	82
<b>3 RMPA: O AMBIENTE ATMOSFÉRICO E A FORMAÇÃO DO CLIMA LOCAL .....</b>	<b>84</b>
3.1 A inserção do clima local no âmbito regional.....	84
3.2 Os experimentos de campo .....	90
3.2.1 Condicionantes do experimento.....	90
3.2.2 Os eventos de experimentação no quadro temporal .....	92
3.2.3 Comportamento térmico dos diferentes ambientes em 7/03/97 .....	95
3.2.4 Comportamento térmico dos diferentes ambientes em 15/03/97 .....	99
3.2.6 Conclusões do experimento de campo .....	102

<b>3.3 RMPA - A termografia infravermelha de superfície.....</b>	<b>104</b>
3.3.1 RMPA- Características temporo -espaciais em dezembro de 1995.....	106
3.3.1.1 Situação climática da área de estudo em dezembro.....	106
3.3.1.2 A situação meteorológica em 19/12/95.....	110
3.3.2 Cartografia térmica de superfície em 19/12/95.....	113
3.3.2.1 Valores de emissividade da superfície.....	115
3.3.2.2 Cálculo das temperaturas de superfície.....	121
3.3.2.2.1 Definição do numerador da equação.....	122
3.3.2.2.2- Definição do denominador da equação.....	122
3.3.2.2.3 Definição da temperatura de superfície.....	123
3.3.3 Relação entre as temperaturas de superfície e a temperatura medida nas estações meteorológicas.....	126
<b>4 A INTERAÇÃO ENTRE A TERMOGRAFIA LOCAL E AS CONDIÇÕES AMBIENTAIS NA RMPA.....</b>	<b>128</b>
4.1 Os grandes contrastes térmicos da superfície.....	128
4.2 Resultados combinando as bandas espectrais - A composição colorida TM346.....	132
4.3 O impacto da urbanização.....	136
<b>5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES.....</b>	<b>139</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>145</b>

## ABREVIATURAS UTILIZADAS.

ECO-URBS-92- Seminário Internacional sobre os Problemas Ambientais de Grandes Centros Urbanos realizada durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento..

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IDRISI- Sistema de informações geográficas utilizado.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

LANDSAT TM - Satélite de cobertura terrestre - mapeador temático.

NOAA - Satélite meteorológico e oceanográfico.

RMPA- Região Metropolitana de Porto Alegre

8° DISME – 8ºDistrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura localizado em Porto Alegre/RS. Refere-se também nos capítulos à estação meteorológica localizada junto a sede deste.

METROPLAN - Fundação Metropolitana de Planejamento, hoje, Fundação de Planejamento Regional e Metropolitano da Secretaria de Planejamento do Estado do Rio Grande do Sul.

CEMAPA - Central de comandos Mecanizados de apoio a Agricultura, atual Divisão de Geografia e Cartografia (DGC) da Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul.

OMM- Organização Meteorológica Mundial.

SIG - Sistema de Informações Geográficas.

## Lista de tabelas

Tabela 1.1- Fatores geográficos produtores de climas locais	15
Tabela 1.2- Albedo médio de algumas superfícies	16
Tabela 2.1- RMPA- Crescimento da área urbanizada de 1971 a 1978	57
Tabela 2.2- RMPA - População Urbana, rural e total por município em 1991	61
Tabela 2.3- RMPA - Municípios Como maior área plantada de arroz	66
Tabela 3.1- Características locais de cada posto meteorológico	92
Tabela 3.2- RMPA - Levantamento de temperatura do ar, umidade relativa e vento no dia 7/03/97.	96
Tabela 3.3- RMPA - Levantamento de temperatura do ar, umidade relativa e vento no dia 15/03/97.	100
Tabela 3.4- RMPA - Temperatura do ar, umidade relativa e vento às 9h da manhã de 19/12/95.	111
Tabela 3.5- Agrupamento dos materiais terrestres, segundo a emissividade de superfície.	117

## Lista de Figuras

Figura 1- RMPA com destaque da área central de estudo.	7
Figura 1.1- Roteiro Metodológico	27
Figura 2.1- Hipsometria da RMPA e áreas adjacentes	42
Figura 2.2- RMPA- Hipsometria da área central	48
Figura 2.3- RMPA - Declividade do relevo da área central	49
Figura 2.4- RMPA - Orientação de vertentes da área central	50
Figura 2.5- RMPA - Valor do solo urbano em 1985.	58
Figura 2.6- RMPA - Conjuntos habitacionais construídos de 1977 a 1983	59
Figura 2.7- RMPA- Evolução da mancha urbana de 1975 a 1991	62
Figura 2.8- RMPA - sistema viário	64
Figura 2.9 - RMPA- Padrão de urbanização	65
Figura 2.10- RMPA - Composição colorida falsa cor (Bandas 3, 3 e 4) destacando as áreas com cobertura vegetal permanente	68
Figura 2.11- RMPA - Localização das estações meteorológicas e postos Temporários.	70
Figura 2.12- Uso do solo no entorno da Estação Meteorológica de Novo Hamburgo	75
Figura 2.13- Diagrama solar com obstrução do horizonte local para a Estação Meteorológica de Novo Hamburgo	75
Figura 2.14- Uso do solo no entorno da Estação Meteorológica de São Leopoldo	76
Figura 2.15- Diagrama solar com obstrução do horizonte local para a Estação Meteorológica de São Leopoldo	76
Figura 2.16- Uso do solo no entorno da Estação Meteorológica do 8°	77

## DISME, Porto Alegre

Figura 2.17- Diagrama solar com obstrução do horizonte local para a Estação Meteorológica do 8° DISME, Porto Alegre	77
Figura 2.18- Diagrama solar com obstrução do horizonte local para a Estação Meteorológica De Campo Bom	78
Figura 2.19- Diagrama solar com obstrução do horizonte local para a Estação Meteorológica da Copesul, Triunfo	78
Figura 2.20- Uso do solo no entorno da Estação Meteorológica da Ulbra, Canoas	81
Figura 2.21- Uso do solo no entorno da Estação Meteorológica da Base Aérea, Canoas	81
Figura 2.22- Uso do solo no entorno da Estação Meteorológica do Aeroporto, Porto Alegre	82
Figura 3.1- RMPA- Fatores macroclimáticos	85
Figura 3.2- Normais climatológicas (1961- 1990) para Porto Alegre	89
Figura 3.3- RMPA- Variação dos elementos do tempo de 1° a 20 de março de 1997	94
Figura 3.4- Posição dos principais sistemas de ação em 7/03/97	95
Figura 3.5- RMPA-Variação da temperatura entre as 9h, 15h e 21h no dia 7/03/97	97
Figura 3.6- Posição dos principais sistemas de ação em 15/03/97	99
Figura 3.7- RMPA- Variação da temperatura entre as 9h, 15h e 21h no dia 15/03/97	101
Figura 3.8- RMPA- Variação diária dos elementos do tempo de 10 a 19 de dezembro de 1995 - Estação 8°DISME, Porto Alegre	107
Figura 3.9- RMPA - Evolução decencial das temperaturas mínima, máxima e média ( de 10 a 19/12/95)	108

Figura 3.10 - RMPA- Curso da temperatura e umidade relativa do ar em 19/12/95 dezembro de 1995 - Estação 8°DISME, Porto Alegre	112
Figura 3.11- Dimensão do pixel TM e seu recobrimento em ambiente urbano e rural	114
Figura 3.12- A influência da atmosfera e a complexidade da energia recebida pelo sensor do satélite	116
Figura 3.13- Fórmula para obter uma imagem NDVI	118
Figura 3.14- RMPA- Classificação de uso do solo a partir da imagem NDVI para a estimativa de emissividade	120
Figura 3.15- Equação para o cálculo da temperatura de superfície	121
Figura 3.16- RMPA - Temperatura de superfície às 9h e 50min de 19/12/95	125
Figura 3.17- RMPA- Temperatura do ar, direção e velocidade do vento nas estações meteorológicas no dia 19/12/95 às 9 horas da manhã	126
Figura 4.1 - RMPA - Mapa base de localização	129
Figura 4.2- RMPA- Composição colorida (bandas 3,4 e 6) do Landsat TM5 de 19/12/95.	135
Figura 4.3 - Modelo clássico de configuração da ilha de calor	137

## **Lista de Fotografias**

Foto 1.1- Equipamento utilizado em levantamento de campo	36
Foto 2.1- Estação Meteorológica Sinodal de São Leopoldo	71
Foto 2.2- Estação Meteorológica de Campo Bom	71
Foto 2.3- Estação Meteorológica da Copesul, Triunfo	72
Foto 2.4- Área de pastagem	83
Foto 2.5- Área aterrada (Solo Nu)	83
Foto 2.6- Abrigo na Mata Morro do Paula São Leopoldo	83
Foto 2.7- Posto Entre Prédios (Condomínio Castor Farroupilha)	83

3.3.1.2 A situação meteorológica em 19/12/95.....	110
3.3.2 Cartografia térmica de superfície em 19/12/95 .....	113
3.3.2.1 Valores de emissividade da superfície .....	115
3.3.2.2 Cálculo das temperaturas de superfície.....	121
3.3.2.2.1 Definição do numerador da equação.....	122
3.3.2.2.2- Definição do denominador da equação .....	122
3.3.2.2.3 Definição da temperatura de superfície.....	123
3.3.3 Relação entre as temperaturas de superfície e a temperatura medida nas estações meteorológicas .....	126
<b>4 A INTERAÇÃO ENTRE A TERMOGRAFIA LOCAL E AS CONDIÇÕES AMBIENTAIS NA RMPA.....</b>	<b>128</b>
4.1 Os grandes contrastes térmicos da superfície.....	128
4.2 Resultados combinando as bandas espectrais - A composição colorida TM346.....	132
4.3 O impacto da urbanização.....	136
<b>5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES .....</b>	<b>139</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>145</b>

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1 O ESTUDO DO CLIMA LOCAL E DO CLIMA URBANO: DISCUSSÃO INTRODUTÓRIA .....</b>	<b>8</b>
1.1 Quadro metodológico referencial .....	8
1.2 As escalas de organização climática .....	10
1.3 O clima local .....	13
1.4 O clima urbano .....	21
1.5 Roteiro metodológico .....	25
1.5.1 Primeira Fase .....	28
1.5.2 Segunda Fase .....	28
1.5.2.1- A análise espacial.....	28
1.5.2.2- A análise temporal .....	33
1.5.3 Terceira Fase.....	39
<b>2 RMPA – ANÁLISE ESPACIAL: SÍTIO NATURAL, OCUPAÇÃO E USO DO SOLO .....</b>	<b>41</b>
2.1 O sítio urbano da RMPA na compartimentação topo-geomorfológica regional e local	41
2.2 Evolução urbana .....	51
2.3 As características da área rural.....	66
2.4 Caracterização do entorno das estações fixas e móveis.....	69
2.4.1 Estações climatológicas principais.....	69
2.4.2 Estações de apoio.....	79
2.4.3 Postos de mensuração temporários.....	82
<b>3 RMPA: O AMBIENTE ATMOSFÉRICO E A FORMAÇÃO DO CLIMA LOCAL .....</b>	<b>84</b>
3.1 A inserção do clima local no âmbito regional.....	84
3.2 Os experimentos de campo .....	90
3.2.1 Condicionantes do experimento.....	90
3.2.2 Os eventos de experimentação no quadro temporal .....	92
3.2.3 Comportamento térmico dos diferentes ambientes em 7/03/97 .....	95
3.2.4 Comportamento térmico dos diferentes ambientes em 15/03/97 .....	99
3.2.6 Conclusões do experimento de campo .....	102
3.3 RMPA - A termografia infravermelha de superfície.....	104
3.3.1 RMPA- Características temporo -espaciais em dezembro de 1995.....	106
3.3.1.1 Situação climática da área de estudo em dezembro .....	106

## INTRODUÇÃO

O nosso interesse pela compreensão do ambiente atmosférico resultante da relação entre o homem (cidade, campo) e a natureza (balanço de radiação e a circulação atmosférica) já vem de longa data, desde quando na graduação participamos, como bolsista de iniciação científica, do levantamento de dados para a pesquisa "Influência de variáveis ambientais sobre a temperatura do ar na área urbana de Porto Alegre" (Hasenack, 1986).

Naquela época já nos interessamos em desenvolver um estudo com este viés mas para uma área maior que envolvesse os municípios próximos a Porto Alegre, porque tínhamos lido os "Três estudos Rio-Grandenses" (Ab'Saber, A. N., Roche, J., 1966) e, no estudo "Metrópole do Brasil Meridional", nos instigou a afirmação do pesquisador francês:

"o clima subtropical[...] torna penosa a vida trepidante numa metrópole, a 30 graus de latitude, sem brisa marítima refrescante, com verões ardentes (média do mês mais quente, 25°, média das máximas, 35° e uma umidade relativa anual da magnitude de 85%)" (J. Roche, 1966).

Esta afirmação nos levou a propor o presente estudo que tem como objetivo analisar as inter-relações entre a atmosfera e os atributos ambientais (sítio e uso do solo) da Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), para compreender as associações de fatores que conferem determinado caráter térmico a ambientes específicos desta área, no verão.

Contando com os significativos resultados dos estudos de Danni (1980 e 1987) e Hasenack (1989), sobre o campo térmico da área urbana de Porto Alegre -RS, procuramos ampliar territorialmente estes estudos, com as novas tecnologias, como o processamento digital de imagens, integrado a sistemas de informação geográfica, sendo amparados também pela ampliação da rede de estações meteorológicas na última década na RMPA.

A importância das componentes termodinâmicas do clima no estudo de climas locais, segundo Monteiro (1976, p. 126), está não só no fato de conduzirem “...ao referencial básico para a noção de conforto térmico...”, mas, principalmente, por constituírem o “... nível fundamental de resolução climática, para onde convergem e se associam todas as outras componentes.” O comportamento da temperatura depende e, ao mesmo tempo, determina um conjunto de elementos de naturezas diversas e que convivem no mesmo espaço, em regime de trocas energéticas recíprocas e interdependentes.

O estudo das componentes termodinâmicas do clima é fundamental para o planejamento urbano, uma vez que o bem estar da população de uma região está intimamente relacionado a fatores como ausência ou excesso de circulação do ar, altas temperaturas combinadas a excessos de umidade, variações térmicas bruscas, carência de iluminação natural, entre outros. Este estudo pode vir a fornecer subsídios à temática mais ampla da “qualidade ambiental urbana” na Região Metropolitana de Porto Alegre e à sondagem sobre uma provável influência do crescimento urbano.

Este trabalho é composto por quatro capítulos, cada capítulo está dividido em seções e algumas seções em subseções.

O primeiro capítulo buscou delimitar o problema, com o apoio em levantamento e análise bibliográfica e, através da problematização do objeto de estudo, propor a elaboração do roteiro metodológico a seguir para alcançar o objetivos propostos na introdução.

O segundo e o terceiro capítulo tratam de dois blocos de atividades que foram elaboradas paralelamente uma a outra, a análise espacial e a análise temporal. A análise espacial e a análise temporal têm por meta a organização dos dados e criação de documentos básicos para o desenvolvimento da pesquisa.

No quarto capítulo estabelece-se a relação entre a configuração térmica da RMPA e as características morfológicas e de uso do solo.

O trabalho se encerra com a discussão dos resultados, apontando perspectivas e conclusões.

### **Área de estudo: motivação para a investigação e localização geográfica**

Com relação aos motivos científicos que guiaram a eleição da RMPA estava o fato de que esta área se configurava como um espaço atrativo, pela existência de pesquisas anteriores e pela facilidade de levantamento dos dados necessários à pesquisa. Esta facilidade está relacionada aos investimentos políticos e, conseqüentemente, de pesquisa, que já foram aplicados à mesma. Isto nos leva a entender a forma como a Região Metropolitana de Porto Alegre se configurou, tal qual hoje se apresenta.

O conceito de região metropolitana é uma mistura de considerações históricas com considerações semânticas e estatísticas. Quando se usa o termo metrópole tradicionalmente pensa-se num amplo centro de importantes atividades urbanas, o qual através de entidades culturais, econômicas e políticas passa a exercer uma influência evidente sobre cidades vizinhas. Mas a expressão "Região Metropolitana" adiciona a esta idéia um conceito administrativo, portanto não se trata somente de uma aglomeração de fatores indispensáveis para a manutenção de uma economia de mercado, mas também de estruturas governamentais (Martinotti, 1996, p.80-87).

As regiões metropolitanas brasileiras foram criadas em compatibilidade com os alvos nacionais estratégicos do pós guerra, objetivando estabelecer uma sociedade urbana baseada no sistema de mercado, portanto o verdadeiro movimento para a urbanização é o resultado da expansão da economia capitalista. Este processo que Santos (1989) chamou de mecanização do território ocorre na medida em que, *"sobre o território natural se cria o*

*nexo mecânico que vai fortalecer certas cidades, que vai dar mais forças a certas cidades, criando coesões regionais”.*

O processo de concentração populacional em grandes cidades é próprio da industrialização moderna que se instala no país, no bojo de uma economia monopolista, tendo o capital estrangeiro associado ao Estado como alavanca principal. As novas indústrias exigiam grandes áreas e promoveram ainda mais a concentração espacial, pois necessitavam proximidade de centros urbanos, capazes de fornecer força de trabalho abundante, facilidades de meios de transporte, proximidade de infra-estrutura e serviços complementares. São as chamadas economias de aglomeração (Almeida, 1993).

A política urbana do Governo Federal do Brasil, de 1964 a 1985, segundo Benício Schmidt (1993), estava baseada numa estratégia concreta de criação de estruturas institucionais que se ocupassem da questão urbana. Tal política visava atingir o desenvolvimento disciplinado, partindo da concepção espacial centrada em pólos econômicos e sociais, controlando organizações públicas, bem como orientando e induzindo comportamentos em organizações privadas atuantes nas áreas urbanas. Assim as regiões metropolitanas brasileiras foram criadas como entidades administrativas com poderes muito restritos, encarregadas do planejamento e promoção de serviços (de acordo com os “interesses nacionais”) em uma escala que extrapola os limites municipais. São, portanto, entidades abstratas pois não têm área territorial dentro da qual a autoridade fiscal possa ficar determinada, dependendo portanto de fundos especiais patrocinados pelos governos federal ou estadual que atuam sobre unidades territoriais concretas que são os municípios.

A Região Metropolitana de Porto Alegre foi criada através da Lei Complementar nº14, de 08.06.74 que estabeleceu mais 7 regiões brasileiras: São Paulo, Belo Horizonte, Curitiba, Recife, Salvador, Belém e Fortaleza. Em seguida, com a Lei Complementar nº20, de 01.07.74, a União criou a Região Metropolitana do Rio de Janeiro. As nove regiões metropolitanas foram criadas

segundo um modelo que destacou na rede urbana brasileira aqueles pólos de desenvolvimento de maior importância estratégica no espaço nacional. A delimitação da RMPA foi definida a partir dos seguintes critérios: continuidade dos espaços urbanizados, estimada através de fotografias aéreas; fluxos de transporte, fundamentalmente de transporte de passageiros; funções exercidas por cada um dos centros urbanos periféricos ao espaço urbano da Capital (GERM, 1973). Constituíam a RMPA em 1974 os seguintes municípios: Porto Alegre, Canoas, Alvorada, Cachoeirinha, Campo Bom, Novo Hamburgo, Estância Velha, Gravataí, Guaíba, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapiranga, Sapucaia do Sul, Esteio e Viamão. Posteriormente, a área se ampliou e fragmentou contando com mais municípios: Glorinha, Eldorado do Sul, Charqueadas, Triunfo, Ivoti, Dois Irmãos, Portão, Nova Hartz e Parobé (Figura 1).

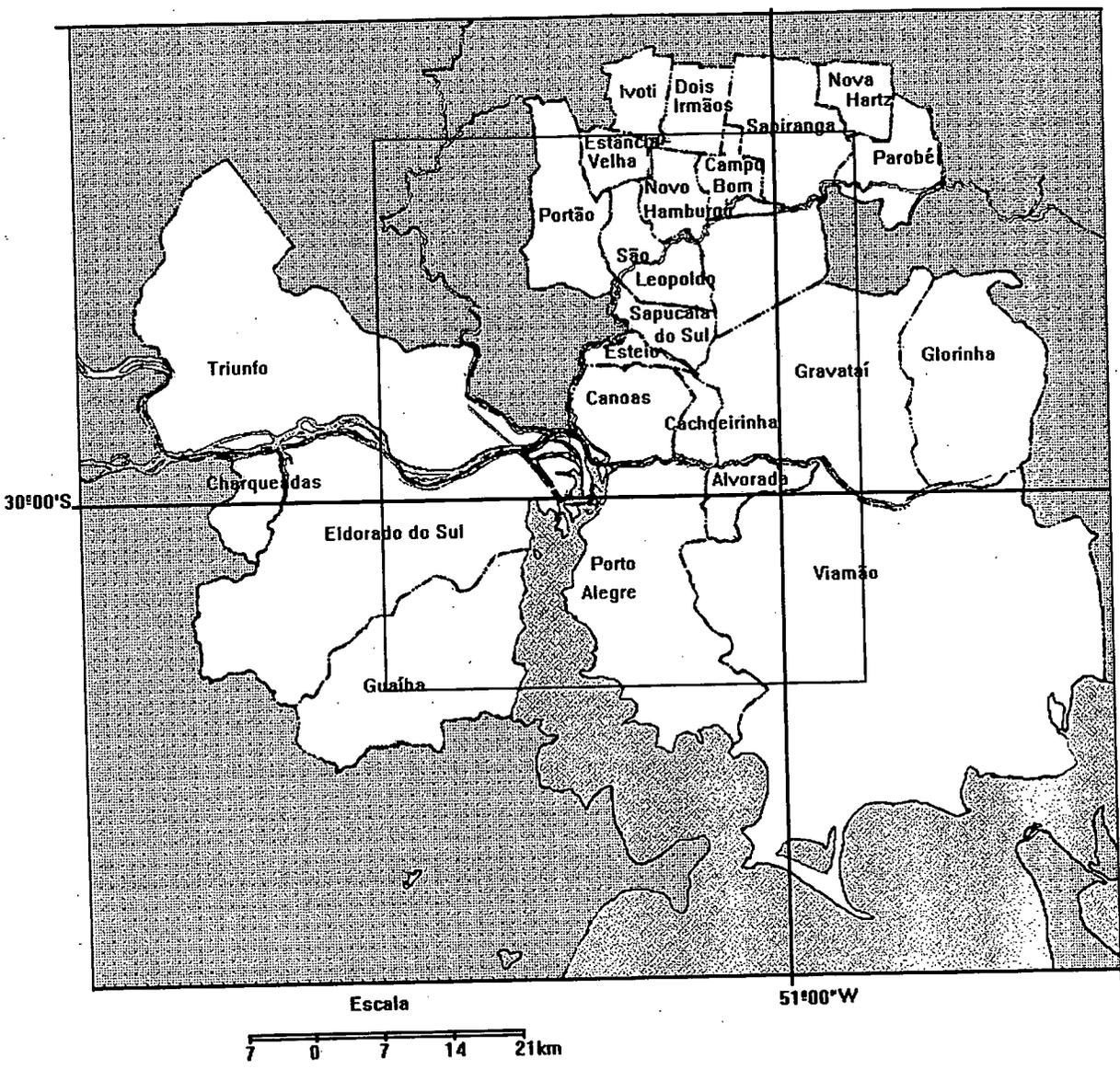
Segundo, nota emitida em jornal (Zero Hora, 30/07/98), em 23 de julho de 1998, foi sancionada lei que acrescenta mais dois municípios à RMPA, são eles: Nova Santa Rita e Araricá. Este fato não muda substancialmente a área de estudo uma vez que a emancipação de Araricá constituiu-se no desmembramento do município de Sapiranga que já compunha a RMPA; enquanto Nova Santa Rita já tinha sido incorporada neste trabalho, dentro do que se considera o contínuo metropolitano. Com a adição destes dois novos municípios, a RMPA passou a contar com 25 municípios, ocupando atualmente uma área de 6.146,6 Km<sup>2</sup>.

A unidade de base para a criação de Regiões metropolitanas no Brasil foi o município. É preciso considerar, no entanto, que as circunscrições municipais incluídas nesta Região nem sempre expressam a extensão da área urbanizada. Há municípios na RMPA como Novo Hamburgo, Triunfo, Viamão, Guaíba, Eldorado e mesmo Porto Alegre que compreendem uma ampla área agrícola. Desta forma, a RMPA seria uma metrópole que a literatura referente aos problemas metropolitanos e urbanos consideraria sobredimensionada (Martinotti, 1996, p.84).

Porém, ainda que haja uma expressiva área rural que não pode ser desconsiderada na Região Metropolitana de Porto Alegre, o processo mais significativo na alteração do ambiente natural acredita-se ser a urbanização. Entende-se por urbanização o processo de estabelecimento e crescimento urbano, mas o termo também designa o incremento populacional da cidade bem como sua expansão horizontal (Detwyler & Marcus, 1972). No âmbito deste trabalho, o termo será empregado nesta definição ampla, porque crescimento populacional e crescimento espacial estão interligados e também porque ambos influenciam e sofrem influências do ambiente. A preocupação maior, no presente estudo, volta-se sobretudo, às implicações físico-ambientais da urbanização, particularmente aquelas relativas ao campo térmico da atmosfera.

O termo "ambiente" é de natureza relacional, ou seja, ele só tem sentido quando em relação a um assunto. Neste estudo, consideram-se variáveis do ambiente as condições que influenciam na formação de diferentes características térmicas; portanto, a ênfase está no ambiente físico, incluindo aquele que é produção material da cultura.

No início desta seção, enfatizamos que um dos motivos da escolha da RMPA, como área de estudo, foi a possibilidade de obtenção de dados. No entanto, com o desenrolar da pesquisa, em função de restrições de ordem financeira e técnica descobriu-se a impossibilidade de cobrir toda esta área. Desta forma, a ênfase do estudo ficou limitada ao território que chamamos "área central" da RMPA (Figura 1), que contém praticamente toda a mancha urbana e seu entorno rural mais próximo. Em função destes fatores, talvez, fosse preferível usar o termo área metropolitana, que é diferente do conceito administrativo e não tem relação constante com nenhuma definição funcional, nem sequer com a área urbanizada.



Fonte: Metroplan, Mapa índice da cartografia -1995.

Figura 1: RMPA- divisão político-administrativa em 1995. O quadro destaca a área central deste estudo.

# **1 O ESTUDO DO CLIMA LOCAL E DO CLIMA URBANO: DISCUSSÃO INTRODUTÓRIA**

Este capítulo tem como objetivo a proposição de um quadro teórico-metodológico de referência e a aproximação aos pressupostos científicos, da ciência geográfica e da climatologia, que conduzam a uma estratégia congruente e significativamente útil à compreensão do campo térmico da Região Metropolitana de Porto Alegre.

A primeira seção deste capítulo define as premissas do sistema interpretativo que serviu de fundamento da investigação e o recorte temático dado a este trabalho. A extensão e a articulação entre as escalas na pesquisa climática, são tema tratado na segunda seção. A terceira seção deste capítulo aborda a especificidade climática local bem como os critérios que interessam à compreensão dos fenômenos atmosféricos em escala local. Em seguida analisa-se mais especificamente os efeitos urbanos na transformação local do clima. Não se fez uma evolução das análises sobre o clima urbano, pois considera-se que este assunto já foi devidamente aprofundado em outros trabalhos (Monteiro, 1976; Lombardo, 1985; Hasenack, 1986; Mendonça, 1995) que nos serviram de referência. Por fim, demonstra-se, tanto de forma gráfica como de forma escrita, as principais etapas da pesquisa e o conjunto de dados e de técnicas analíticas empregadas.

## **1.1 Quadro metodológico referencial**

A estrutura e organização das idéias, do ponto de vista conceitual, mais utilizadas no âmbito da climatologia urbana brasileira é a proposição denominada Sistema Clima Urbano - SCU, de Monteiro (1976), que por sua vez aplica as noções de funcionalidade sistêmica de von Bertalanffy

(1973). Esta moldura teórica orienta a investigação em diferentes escalas de tratamento espaço-temporal e em diferentes graus de complexidade urbana.

O Sistema Clima Urbano pode ser, a princípio, decomposto em diversos elementos, porém as íntimas associações entre estas partes permitem, do ponto de vista da percepção humana, aglutinar os elementos em conjuntos de maior afinidade e interação, embora nunca se possa, em verdade, desimcompatilizá-los completamente uns dos outros. Partindo da percepção sensorial e comportamental do habitante da cidade, Monteiro (1976, p.125), propôs o encaminhamento da análise do clima urbano em três subsistemas: o termodinâmico (conforto térmico), o físico-químico (qualidade do ar) e o hidrometeorológico (impacto meteorológico). As componentes termodinâmicas do clima são a constituição do nível fundamental de resolução climática, para onde convergem e se associam todas as outras componentes e, por isto mesmo, têm sido os aspectos mais explorados nos estudos de climas urbanos.

Este fatiamento em três níveis de resolução do sistema trouxe algo fundamentalmente novo à análise climática. Ao invés de reduzir a análise do clima a um dos seus atributos elementares e mais discretos possíveis como, por exemplo, a temperatura, sugeriu a aglutinação de um conjunto de atributos que, mantendo associação intrinsecamente atmosférica (composição, comportamento e produção meteorológica), são dirigidos à percepção sensorial e comportamental do habitante da cidade. No caso do subsistema termodinâmico os atributos são a radiação, a temperatura, a umidade e a circulação horizontal, que conduzem ao referencial básico para a noção de conforto térmico urbano.

Esta visão centralizada na percepção humana também valoriza, entre as componentes espaço-temporais do sistema climático, a influência das estruturas superficiais, portanto, o que se definiria basicamente como climatologia geográfica.

À luz da teoria apresentada por von Bertalanffy (1973), deve-se considerar o sistema como uma totalidade. Neste sentido também o subsistema termodinâmico do clima metropolitano, que é o objeto de estudo

deste trabalho é uma totalidade. Considerá-lo assim é uma regra de método, contudo a prática exige que se encontre, paralelamente, através da análise, a possibilidade de dividir o todo, em partes. A análise é uma forma de fragmentação do todo que deverá permitir, ao seu término, a reconstituição do todo.

## 1.2 As escalas de organização climática

A dimensão escalar de um determinado objeto de estudo, fundamental para todos os raciocínios geográficos relativos ao espaço e ao tempo, é objeto de numerosas confusões e controvérsias, que não se limitam à linguagem, como bem frisou Lacoste (1988), mas também envolvem questões de ordem conceitual e metodológica. A questão das repartições espaciais (taxonomia), embora vivida no dia a dia da pesquisa geográfica, tanto do ponto de vista da extensão, que é um dos velhos princípios da geografia, quanto da representação cartográfica, está longe de ser resolvida.

Na climatologia há diversas propostas de sistematização dos estudos climáticos, porém, com diferenças tanto nos termos como nos conceitos (Yoshino, 1975, Monteiro, 1976, Ayoade, 1988, Ribeiro 1993) . No entanto, há uma certa unanimidade quanto à distinção de três gradações de estudos climáticos interativos, considerando a relação entre os fluxos de matéria/energia e os elementos condicionantes de sua definição, que foram como sendo os níveis macroclimático, mesoclimático e microclimático.

No nível macroclimático considera-se a interação entre a radiação solar, a curvatura da Terra e os seus movimentos de rotação e translação. A macroclimatologia está *“relacionada com aspectos dos climas de amplas áreas da Terra e com os movimentos atmosféricos em larga escala”* (Ayoade, 1988, p.4).

No nível mesoclimático atenta-se para a interação entre a energia disponível (para o processo de evaporação e geração de campos de pressão) e as feições do meio terrestre. A mesoclimatologia está “*preocupada com o estudo do clima em áreas relativamente pequenas, entre 10 e 100 km de largura, por exemplo, o estudo do clima urbano e dos sistemas climáticos locais severos tais como tornados e temporais*” (Ayoade, 1988, p.4).

No nível microclimático examina-se a interação entre os sistemas ambientais particulares na modificação dos fluxos de energia, umidade, massa e momentum. A microclimatologia está “*preocupada com o estudo do clima próximo à superfície ou de áreas muito pequenas, com menos de 100 metros de extensão*” (Ayoade, 1988, p.4).

O comportamento da temperatura é dependente de um conjunto de elementos de naturezas diversas e que convivem num mesmo tempo e num mesmo espaço, em regime de trocas energéticas recíprocas e interdependentes. Este conjunto integrado de elementos constitui os fenômenos climáticos que se fundem no tempo e no espaço, revelando unidades ou padrões passíveis de serem medidos em seu ritmo (duração) e em seu tamanho (extensão).

A perspectiva da duração consiste na determinação das invariantes e variantes do sistema. A preocupação com o desempenho evolutivo, ou seja, com a escala temporal dos fenômenos climático/meteorológicos introduz o problema da escolha dos intervalos de tempo que conduzirão a análise. A variação "anual", em suas seqüências sazonais, revela a dinâmica funcional dos processos e caracteriza-lhes o "regime" (Monteiro, 1978, p. 57).

A definição de tipologias térmicas no interior de uma determinada área é dependente da escala de trabalho. A cada nível escalar deve corresponder uma abordagem específica, no sentido da coerência entre os fatores geográficos a considerar, a extensão e a duração do fenômeno climático. No entanto, a definição de ordem de grandeza específica do clima estudado é

bastante variável, pois fatores de ordem regional como a circulação secundária/terciária, a topogeomorfologia e distribuição das superfícies aquáticas podem, em interação com atividades agrícolas e fatores de ordem estritamente urbana, definir os episódios observados.

As relações entre os elementos ou variáveis são sempre de duas naturezas: relações simples e relações globais. O clima de uma área com uma dada extensão resulta de três principais influências: os processos atmosféricos resultantes dos fatores geográficos locais, a influência dos padrões do clima de escala imediatamente inferior e, o efeito do clima predominante em larga escala. Nesse sentido Landsberg (1981) afirma que, cada localidade é governada pelos padrões meteorológicos de grande escala (escala sinóptica), sendo que o ambiente modifica em maior ou menor grau, as condições locais da camada de ar acima do solo (camada limite da atmosfera). A interação entre a escala sinóptica e a escala local oscila continuamente. Algumas vezes, predominam condições de grande escala e, em outras, prevalecem as condições locais, embora ambas estejam sempre presentes.

A área de estudo, sob o ponto de vista climático, não pode ser vista de maneira estanque e isolada; é um clima inserido no contexto macroclimático e, de outro lado, é constituído por um conjunto de microclimas existentes no interior da área, em função das características de sítio e das novas formas criadas e exigências de energia adquiridas com a agricultura e urbanização. Deve-se portanto procurar compreender a organização do clima local por dois caminhos. Como expôs Monteiro (1976), o comportamento atmosférico, integrado às demais esferas e processos naturais, organiza espaços climáticos dos níveis superiores para os inferiores. Nesta interação, após uma diferenciação espacial produzida por influência da latitude, em nível zonal, a dinâmica das grandes células atmosféricas (centros de ação) e os fatores geográficos continentais (relevo, terras e águas) produzem, em nível regional, uma organização fundamental. A partir daí a variação dos fatores geográficos no seu interior gera uma “especialização” em nível local, tanto mais

diversificada, quanto mais heterogênea for a região. Este será o tema da próxima seção.

### 1.3 O clima local

A especificidade climática local pode ser entendida como uma valorização específica (ligada ao lugar) de um conjunto de variáveis. Em um mesmo lugar, cada elemento está sempre variando de valor, porque entra em relação com os demais, e essa relação é, em grande parte, ditada pelas condições do lugar. Sua evolução conjunta num lugar cria características próprias, ainda que subordinadas ao movimento do todo. Como indicam Olivier & Faibidge (Apud Ribeiro, 1993:290)

“em mesoclimatologia a configuração do terreno, o tipo de solo e sua cobertura vegetal são considerados como feições da localidade, sujeitos a pequenas mudanças no tempo, determinando o clima que predomina em determinado lugar, de ordem de centenas de quilômetros quadrados, e pode ser chamado de clima local”.

Um conjunto de aspectos do ambiente, quais sejam, a quantidade de energia disponível, as possibilidades de transformação desta energia em calor nos materiais de superfície, a presença ou ausência de vegetação, a transferência do calor da superfície para as baixas camadas da atmosfera e o papel do relevo, potencializam a diferenciação climática local (Tabela 1.1).

Durante o dia, o aquecimento da superfície resulta, por um lado, da quantidade de energia solar disponível ao nível do solo e da exposição

destes objetos à radiação solar (fatores externos) e, por outro, da capacidade dos objetos de converterem a radiação solar incidente em calor (fatores internos) (Cantat, 1987, p.43).

Os principais fatores externos a considerar no aquecimento superficial são a altura e o azimute do sol e a exposição das superfícies à radiação solar. Quanto mais alto estiver o sol do horizonte, mais perpendicularmente e com mais intensidade a superfície receberá os raios solares. As referências às entradas de energia no sistema resultam de estudos realizados em áreas urbanas de latitudes médias, cujas condições de radiação solar não devem ser comparadas às existentes em latitudes tropicais e subtropicais, sem uma análise prévia. Nestas zonas, devido à maior insolação e ao maior ângulo de incidência dos raios solares, os fluxos de energia entre o espaço construído e a atmosfera local devem ser intensificados (Danni, 1987).

O azimute solar, por sua vez, ajudará a determinar, nas regiões de relevo ondulado ou montanhoso, qual a orientação das encostas que recebe os raios solares com maior intensidade. Para a topografia preexistente, o aquecimento é maior sobre superfícies perpendiculares aos raios solares; este princípio também vale para a topografia artificialmente criada, principalmente nas zonas urbanizadas. Além disso, nas áreas urbanas, paredes verticais determinam zonas de sombra, normalmente mais frias, conforme Cantat (1987, p.72).

Para uma mesma radiação solar incidente, porém, a superfície terrestre pode se aquecer de maneira diferenciada em função dos fatores internos, ou seja, o estado da superfície ativa, que engloba a superfície que interfaceia com a atmosfera e a camada sub-superficial.

Tipo de superfície	Itens a serem mapeados
Rocha	Tipo, cor, condutividade térmica
Solo	Tipo, textura, cor, conteúdo de ar e umidade e condutividade térmica
Água	Área superficial, profundidade e movimentos
Vegetação	Tipo, altura, densidade, cor e mudanças sazonais
Agricultura	Cultivo; tipo, altura e cor; mudanças sazonais
Propriedades da superfície	
Forma geométrica	Plana, convexa, côncava.
Suprimento de energia	Latitude e altitude, grau de obstrução do horizonte natural, aspecto, declividade e exposição.
Exposição	Proteção proveniente de feições orográficas, Proteção proveniente de construções e árvores, etc.
Rugosidade topográfica	Áreas rurais: extensão das florestas, campos e cultivos, posição de quebra ventos e grau de agrupamento ou dispersão do habitat rural. Áreas urbanas: distribuição e altura média dos diferentes tipos de áreas construídas, orientação e exposição das ruas, blocos e construções individuais; densidade de parques, praças e outros espaços livres, perfil vertical da área.
Albedo	Tipo de superfície
Capacidade radiativa	Temperatura padrão e máxima da superfície; radiação terrestre observada.

Fonte: YOSHINO (1975, p.12).

Tabela 1.1 -Fatores geográficos produtores de climas locais

O estado da superfície ativa é o fator básico do clima local, pois interfere diretamente nos fluxos de energia para as baixas camadas da atmosfera, criando ambientes diferenciados quanto ao aquecimento. Estas diferenças se acentuam conforme a condição sinóptica, pois dependem dos fluxos de radiação e das trocas de calor entre os locais.

Para entender estes fluxos, a análise do balanço de energia seria de fundamental importância para o conhecimento mais aprofundado das componentes termodinâmicas do clima local, porém, em função da necessidade de equipamentos de alto custo e da necessidade de relativização de parâmetros quantitativos do clima em ambientes muito heterogêneos, esta tem sido desenvolvida principalmente do ponto de vista descritivo e qualitativo (Monteiro, 1976). Mesmo não se dispondo de meios para quantificar os fluxos de energia, é fundamental considerar algumas propriedades básicas das superfícies que recebem, armazenam e transmitem a energia solar, tais como: o albedo, a condutividade térmica e o calor específico.

O albedo, ou fração da energia solar refletida em relação à energia solar incidente, determina a quantidade de energia disponível para aquecimento. Um corpo com albedo alto se aquece menos já que a quantidade de energia que pode se transformar em calor é pequena.

Superfície	albedo
Concreto	0,22
Asfalto	0,07
Culturas e campo	0,12-0,25
Florestas	0,06-0,15
Solo (seco)	0,15
Solo (úmido)	0,08
Espelho d'água (altura solar > 60°)	0,05

FONTES: TUBELIS & NASCIMENTO ( 1992, p. 41).  
CANTAT, 1987, p. 43.

Tabela 1.2: Albedo médio de algumas superfícies.

Estes valores de albedo são variáveis também em função da textura, mas principalmente, em função da cor dos materiais. Um solo escuro seco, por exemplo, tem menor albedo que um solo seco claro e, portanto, absorve mais radiação solar (tabela 1.2). O fato de o albedo médio das cidades ser menor do que o de áreas cultivadas, explica a maior absorção da radiação que atinge a superfície urbana (Oke,1978).

A energia solar absorvida pelas superfícies aquece as mesmas de maneira diferenciada, em função das propriedades térmicas dos materiais que as constituem, entre as quais se destacam o calor específico e a condutividade térmica.

O calor específico de uma substância é, em termos gerais, a quantidade de calor necessária para aumentar em 1°C a temperatura de uma grama desta substância. Segundo Mota (1989, p.183), o calor específico dos solos minerais varia pouco, sendo em média, de 0,18 a 0,20 cal/g °C, enquanto o húmus tem um calor específico de 0,45 cal/g °C e a água 1 cal/g °C. Os materiais de construção, para uma variação de 20°C a 21°C, têm um calor específico que varia entre: 0,22 cal/g °C para o asfalto, 0,21 cal/g °C para tijolo e argamassa, entre 0,17 e 0,18 cal/g °C para rochas de construção e 0,17 cal/g °C para ligas contendo ferro (Cantat, 1987, p.43). A água, em função de seu alto calor específico, tem uma maior inércia térmica, enquanto o solo nu, o concreto, e os metais sofrem grandes variações de temperatura ao receberem a radiação solar diurna. Estudos em cidades de latitudes médias, mostraram que os corpos aquáticos, em função da sua inércia térmica, podem produzir ilhas de frio durante o dia e ilhas de calor durante a noite (García, 1990).

A condutividade térmica é o processo pelo qual o calor é conduzido de partícula a partícula, sem que as mesmas sofram deslocamentos ao longo do condutor, ou seja, a energia calor é transferida sem o transporte de

matéria (Bonadiman, 1993, p.152). Permanecendo outros fatores constantes, quanto maior a condutividade térmica do material, menores são as variações de temperatura de superfície e mais efetivo é o seu papel como reservatório de calor. A condutividade térmica de um material é determinada pela sua porosidade, umidade e conteúdo de matéria orgânica. O ar é um mau condutor de calor, portanto um solo poroso e seco, bem como o arenoso concentram o calor, recebido através da radiação solar, numa fina camada de superfície; por outro lado, um solo compacto se aquece menos, pois o calor se propaga mais facilmente para o fundo. No entanto uma pequena quantidade de água entre as partículas num solo poroso quebra o isolamento do ar; e conforme mais água é adicionada, a capacidade calorífica do solo sobe rapidamente, diminuindo o aumento de temperatura produzido por uma dada quantidade de energia.

A matéria orgânica, em função da maior quantidade de ar que contém, não transfere calor tão rapidamente quanto um solo mineral, mas tem maior capacidade de retenção de água. Desta forma um solo orgânico seco poderá ter uma superfície mais aquecida que um solo mineral, uma vez porque, devido à cor negra, absorve mais calor (menor albedo) e outra que o ar não permite uma transferência do calor para o fundo. Se, no entanto, este solo estiver úmido, ele pode ser mais frio que os solos minerais secos e as superfícies construídas.

Os solos rurais úmidos têm elevada inércia termal, sendo este um fator relevante a considerar no estudo dos contrastes térmicos urbano-rurais em ambiente climático tropical como destacaram Imamura-Bornstein (1991) e Mendonça (1995).

Nem toda energia solar absorvida pela superfície é utilizada para o seu aquecimento. O principal processo que consome a energia absorvida é a evapotranspiração, que se define como a evaporação de toda a superfície de um certo local, mais a transpiração das plantas no mesmo sítio (Tubelis & Nascimento, 1992). A evaporação é um processo lento que ocorre em qualquer temperatura. A explicação para o fenômeno da evaporação encontra resposta

no modelo cinético molecular da matéria. As moléculas de um líquido encontram-se em constante agitação. Quando uma das partículas situa-se na superfície do líquido e adquire, através de sucessivas colisões, energia suficiente para vencer a força que a conserva presa ao restante do líquido, ela evapora. As moléculas que abandonam o líquido são as que possuem maior velocidade e, como conseqüência, a energia do líquido diminui porque a energia cinética média das moléculas que nele permanecem torna-se menor. É por isso que a evaporação da água produz um resfriamento no meio do qual se desprende. A transpiração é um processo semelhante, no entanto, a água liberada é a do interior das folhas. Este processo também consome energia que é transferida em forma de calor latente para o vapor d'água, sendo que a folha transpirante torna-se mais fria. Em função disso superfícies úmidas ou com vegetação não se aquecem tanto com a radiação solar quanto superfícies sem água (Bonadiman, 1993).

A umidade durante o ano todo nos trópicos e subtropicos úmidos resultam no vigor da vegetação, onde lhe é permitido crescer. Estas áreas cobertas de vegetação, promovem, especialmente em dias sem nuvens, altas taxas de evapotranspiração e a conseqüente perda de calor. A importância da vegetação no controle climático, em cidades do trópico úmido, foi comprovada por Nichol (1994) em Singapura, pela estreita correlação obtida entre a temperatura diurna da superfície e do ar com a imagem do índice de vegetação extraído de imagens do Satélite Landsat. Em Londrina, Mendonça (1995, p. ) constatou que *“Os espaços verdes urbanos, embora poucos, se configuraram em verdadeiras descontinuidades do plateau [ilha térmica], desempenhando importantes ‘efeito oásis e ‘efeito parque’ no clima urbano”*.

Em função do que foi visto nos parágrafos anteriores, fica claro que há uma enorme gama de fatores que potencializam as diferenças na temperatura da superfície ativa. Junto a ela ocorrem os processos de absorção e emissão de radiação, a água se evapora e condensa, porém, o calor ou frescor que se sente nas baixas camadas da atmosfera, é perceptível graças às transferências de calor entre esta superfície e o ar. Portanto, quando se analisa a

temperatura do ar a 1,5m do solo há de se considerar os processos de transferência de calor da superfície para a atmosfera.

A transferência de calor, que é consequência imediata da temperatura da superfície é a radiação termal. A radiação termal, ao contrário da radiação solar, está sempre presente no ambiente, emitindo constantemente energia. A transferência de calor por condução é restrita ao ar diretamente em contato com o solo, mesmo que haja uma grande diferença de temperatura entre estes dois meios. Isto se deve à má condutividade térmica do ar. Esta camada de ar aquecido, no entanto, se torna mais leve e se eleva, sendo substituída por um ar mais frio e denso que, por sua vez, também se aquece. Assim, por convecção térmica, a massa de ar aumenta sua temperatura (fluxo de calor sensível).

A evapotranspiração também transfere energia da superfície para a atmosfera, pois, provoca um resfriamento do ar em contato com as superfícies onde esteja ocorrendo (espelhos d'água, solos úmidos, vegetação) e o vapor d'água recebido pelo ar libera novamente a energia quando se condensa na atmosfera (fluxo de calor latente).

Além do diferencial aquecimento das superfícies e, conseqüente, transferência de calor da superfície para as baixas camadas da atmosfera, outro fator fundamental na geração do clima local é o relevo. Para Ribeiro (1993, p.290) *“a modificação da circulação regional, no sentido da produção de diferenças climáticas locais pode ser provocada pela superfície ou pode potencializar certa propriedade pré-existente no fluxo regional”*. A circulação atmosférica regional, projetada sobre a forma topográfica local, é de tal forma importante na definição de ambientes térmicos diferenciados que, segundo Monteiro (1990-c, p.98) *“pode-se admitir que seu papel acaba sendo tão ou mais importante que o próprio sol”*. Chandler (1965) inclusive foi mais além afirmando que a influência da topografia é tão forte que a magnitude da ilha de calor depende mais da localização geográfica que do complexo urbano.

Nesta escala, Ribeiro (1993, p.291) considera não menos importante, o efeito da ação antrópica, que pode ser vista sob dois aspectos,

atuando, geralmente, em conjunto: a capacidade de alterar a cobertura do solo e as mudanças provocadas pelas atividades humanas na atmosfera. Em função da magnitude que esta ação adquire em áreas urbanizadas e, pela extensão que as cidades ocupam na Região Metropolitana de Porto Alegre, criou-se uma seção à parte neste capítulo que faz uma revisão teórico-conceitual sobre o chamado clima urbano. Este aspecto, portanto, será analisado de forma mais apropriada na próxima seção.

Como vimos até aqui, os fatores fisiográficos, as propriedades térmicas da superfície e os fatores antrópicos, são as condições para a criação de climas locais. No entanto, os climas locais não são permanentes; os estados atmosféricos na escala do clima local perduram, geralmente entre 12 horas e uma semana. O que comanda a sua gênese ou extinção "*é a sucessão habitual de sistemas e subsistemas atmosféricos, configurados pela variação diária dos elementos climáticos, o que resulta na definição dos tipos de tempo que, por sua vez, possuem duração mínima de 12 horas*" (Ribeiro, 1993, p.291).

Assim, a identificação da dinâmica atmosférica regional quando do estudo de climas em nível da meso, topo e microescala é fundamental.

## 1.4 O clima urbano

A intensificação da ocupação humana e conseqüente criação de infra-estruturas numa determinada área provoca efeitos colaterais (Oke, 1978, p.229) sobre o clima local. Alterações cada vez mais intensas nos fluxos de energia e matéria anteriormente citados resultam em ramificações cada vez mais complexas no sistema, incluindo efeitos de reação .

O processo de urbanização produz mudanças radicais na natureza da superfície, através da extrema artificialização da cobertura do solo (inclusive aumentando a rugosidade) associada à emissão de poluentes das mais

diversas origens para a atmosfera. É sobre as metrópoles que se dá a maior alteração das superfícies e a deterioração da qualidade do ar e, como considera Landsberg (apud. Monteiro 1976, p.57), “...o desenvolvimento urbano tende a acentuar ou eliminar as diferenças causadas pela posição ou sítio”

Dentre as modificações produzidas pela urbanização citadas por Oke (1978), e adaptadas por Hasenack (1989), estão:

- a) a modificação das características térmicas da superfície, pela substituição de áreas verdes (cultivo, pastagens, mata) por ruas e edificações, o que aumenta a absorção de energia bem como impermeabiliza a superfície, gerando, em consequência menor evaporação, já que a água da chuva escoar rapidamente pelo esgoto pluvial;
- b) o arranjo geométrico e a orientação dos edifícios também contribuem para uma maior absorção de energia;
- c) o aumento da rugosidade urbana altera os padrões de circulação do ar, de um lado pela canalização do vento ao longo de ruas e avenidas e de outro pelo efeito de “quebra vento”, impedindo a penetração do ar da periferia para o interior da cidade;
- d) a atividade humana (processos produtivos, fluxos, climatização dos prédios) altera a atmosfera urbana pela adição de calor e material particulado. Como consequência tem-se o aumento do “efeito estufa”<sup>1</sup> além do aumento dos núcleos de condensação no ar local,

---

<sup>1</sup> A atmosfera da Terra é constituída de gases que permitem a passagem da radiação solar e absorvem grande parte do calor (a radiação infravermelha térmica), emitido pela superfície aquecida da Terra. Esta propriedade é conhecida como efeito estufa. Graças a ela, a temperatura média da superfície do planeta mantém-se em cerca de 15°C. Quando se alerta para riscos relacionados com o efeito estufa, o que está em foco é a sua possível intensificação, causada pela ação do homem, e a consequência dessa intensificação para o clima da Terra. A hipótese da intensificação do fenômeno é muito simples, do ponto de vista da física: quanto maior for a concentração de gases, maior será o aprisionamento do calor, e consequentemente mais alta a temperatura média do globo terrestre.

contribuindo para o aumento da precipitação pluviométrica.

O fenômeno da “ilha de calor” é o efeito mais evidente e também o mais bem estudado sobre a alteração climática induzida pela urbanização. Citado pela primeira vez numa publicação científica em 1958, o termo designa o fato de as cidades serem mais quentes que o meio rural ou menos urbanizado que as rodeia (García, 1990, p.33).

“As diferenças urbano rurais no ambiente atmosférico tem se constituído em objeto de reflexão de muitos pesquisadores há vários séculos, muito embora somente após a década de cinquenta do século XX é que o interesse para o estudo desta temática tenha despertado a atenção de um número cada vez maior de estudiosos; o número de trabalhos sobre o clima aumentou progressivamente em termos de quantidade, qualidade e intensidade.” (Mendonça, 1995, p. )

Os estudos climáticos aplicados às mais diversas realidades urbanas do planeta empregaram diferentes técnicas e metodologias de pesquisa. As novas técnicas, como o sensoriamento remoto, não excluíram os tradicionais levantamentos de temperatura ou comparações entre estações meteorológicas, já empregados em 1818 por Luke Howard em seu estudo sobre Londres (Hasenack, 1985). Segundo Mendonça (1995), ao invés da exclusão de procedimentos metodológicos, se observa mais uma complementaridade entre o novo e o velho.

O procedimento mais utilizado nos estudos de clima urbano é a análise comparativa entre diferenças observadas nos dados de observatórios fixos ou convencionais através de métodos estatísticos descritivos (García, 1990). Este procedimento permite a valoração precisa em termos quantitativos das diferenças térmicas.

Quando se analisa a maior parte dos referenciais do clima urbano, percebe-se que estes, talvez em função de sua necessidade de síntese, consideram o corpo da cidade como um todo, sobre o qual são traçadas isolinhas de diferenças principalmente termo-higrométricas, como a ilha de calor. Este tipo de configuração é válida para um crescimento urbano concêntrico, como o do modelo de Burgess (Monteiro, 1990-c, p. 83), onde auréolas com densidade de ocupação decrescente se dispõem em torno de um centro principal de negócios. Para áreas metropolitanas onde ocorre uma evolução urbana multinuclear esta configuração não é real. Danni (1982) e Imamura (1991, p.2) constataram que, mesmo na escala intra-urbana, quando se analisa áreas heterogêneas quanto a sítio, estruturação e funcionalidade urbana, a ilha térmica não se constitui num platô térmico monolítico, mas num mosaico de bolsões de ar quentes e frios, correlacionados com o uso do solo.

As posturas conceituais e teóricas referentes a escala de análise adotada, sua complexidade interna e sua articulação com outras grandezas, serviram para a definição de estratégias de operacionalidade deste estudo, que serão tratadas no roteiro metodológico exposto na próxima seção.

## 1.5 Roteiro metodológico

Um roteiro metodológico pretende ser aplicável a uma realidade concreta, que é reconhecível, num dado momento, através de certo número de fenômenos. A abstração racional do clima, exige, portanto, a definição da escala taxonômica como parte da própria metodologia de pesquisa climática. A cada nível escalar deve corresponder uma abordagem específica, no sentido da coerência entre extensão e duração do fenômeno climático com as técnicas analíticas, que vão desde a obtenção dos dados, passando pelo tratamento estatístico-matemático até sua representação gráfica e cartográfica.

Em estudos que ressaltam a avaliação da ação antrópica sobre as condições climáticas é imprescindível uma observação meteorológica ajustada às escalas inferiores de abordagem (Lombardo, 1985, p.28). Conforme Monteiro (1976, p.109), quanto as categorias de organização geográfica e suas articulações com o clima urbano, o estudo climático da RMPA se enquadra na quinta unidade de grandeza (clima local), onde a escala geográfica de tratamento situa-se entre 1:100.000 e 1:250.000. Neste particular Monteiro (1976) propõe a análise espacial como fator de organização que teria um papel estruturador da investigação como um todo; esta análise espacial se fundamenta na representação cartográfica do conjunto de complexos territoriais que constituem a base física da área de estudo, e daqueles que são o resultado do trabalho humano materializado e geografizado<sup>2</sup> na forma de casas, fábricas, plantações.

Para a análise temporal Monteiro propôs, como meios de observação e fontes de dados, os postos meteorológicos e rede complementar. Na coletânea de artigos complementares a “Teoria e Clima Urbano” publicados na Revista Geosul nº 9, Monteiro (1990-a, p.14) inclui as estratégias de abordagem considerando que, para as metrópoles, pela sua grandeza e

---

<sup>2</sup> Expressão utilizada por Santos (1985, p.22).

complexidade, deveria ser aplicada uma conjugação de procedimentos de maior sofisticação termológica e acuidade de alcance, sobretudo o acoplamento do trabalho de campo (um controle indispensável) à análise de imagens de sensoriamento remoto.

O roteiro metodológico para o estudo do campo termodinâmico RMPA foi elaborado considerando as propostas de Monteiro (1976 e 1990-a) e Mendonça (1995) e apresenta três fases de trabalho ou níveis distintos, cuja seqüência gráfica está mostrada na figura 1.1 e que será detalhado nas seções seguintes.

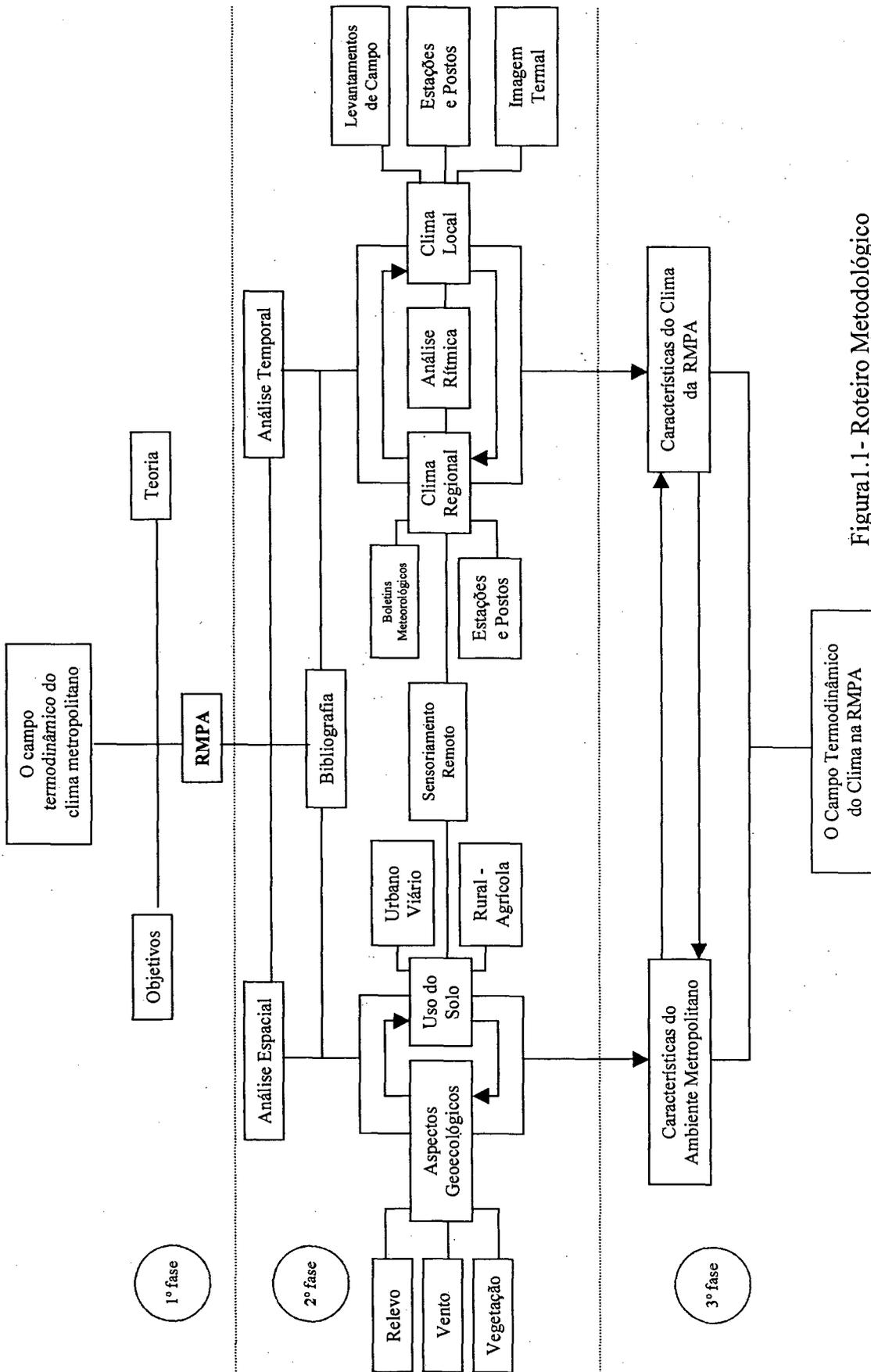


Figura 1.1 - Roteiro Metodológico

### **1.5.1 Primeira Fase**

Na primeira fase, realizou-se um levantamento e análise da bibliografia existente sobre climatologia local e sobre a área de estudo, procurando-se através da problematização do objeto de estudo propor a elaboração dos objetivos da pesquisa. O resultado é o que se pode conhecer na introdução do trabalho e nas primeiras quatro seções deste capítulo.

Atenção especial foi dada aos estudos já realizados sobre o clima de Porto Alegre, a trabalhos de caráter metodológico que fizessem referência ao uso de imagens de satélite, à análise rítmica do clima e às técnicas de levantamento e análise de dados diretos. Nesta mesma etapa também se consultaram diversas fontes que, junto com a observação direta, permitiram o conhecimento das diferentes características geográficas, tanto físicas como humanas da Região Metropolitana de Porto Alegre.

### **1.5.2 Segunda Fase**

A segunda fase se subdivide em dois blocos de atividades que foram elaborados paralelamente um ao outro: análise espacial e análise temporal. A análise espacial e a análise temporal têm por meta a organização dos dados e criação de documentos básicos para o desenvolvimento da pesquisa.

#### ***1.5.2.1-A análise espacial***

A análise espacial diz respeito à compatibilização das informações sobre os aspectos geoecológicos (topografia, gradiente e orientação das vertentes, rede hidrográfica e vegetação) e os componentes

antrópicos (mancha urbana, densidade de construção e tipos de cobertura de superfície na área rural).

A análise espacial da área de estudo permite a caracterização da realidade metropolitana e se constitui num dos fatores básicos para a compreensão do campo termodinâmico, tema central desta pesquisa. Uma análise introdutória para o estudo do clima metropolitano requer, como já destacaram Monteiro (1976, 1990-a), Lombardo (1985) e Mendonça (1995), uma boa documentação cartográfica dos fatores do sítio geográfico (compartimentos topográficos, declividades e orientação de vertentes, direção e velocidade de ventos, cobertura vegetal) e, por outro lado, das características urbanas (área urbanizada e sua dinâmica funcional) e do meio rural que ocupam este sítio.

Para caracterização do sítio e do uso do solo da RMPA foram utilizados os seguintes documentos:

- a) cartas Topográficas da Área Urbana da Região Metropolitana de Porto Alegre na escala 1:25.000 e 1:10.000, da Fundação de Planejamento Regional e Metropolitano - METROPLAN;
- b) cartas Topográficas do Serviço Cartográfico do Exército, na escala 1: 50.000;
- c) cartas plani-altimétricas produzidas pela CEMAPA-Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul na escala 1:100.000;
- d) carta com a área da mancha urbana da Região Metropolitana no ano de 1991 nas escalas 1:50.000 e 1: 100.000 do Setor de Cartografia da Fundação Metropolitana de Planejamento (METROPLAN);
- f) fotos Aéreas do anos 1990/ 91 nas escalas 1:40.000 (área urbana e rural) e 1:8.000 área urbana;

- g) South America Digital Elevation Model<sup>3</sup> (Lambert Azimuthal Equal Area Projection) com resolução de 1km X 1km;
- h) imagens multiespectrais de 19/12/95 do sensor TM do satélite Landsat;
- h) controle de campo.

A proposta de embasamento cartográfico de Mendonça (1995) para o estudo clima urbano de cidades médias, compõe-se de seis cartas, representando por um lado o sítio (hipsometria-geomorfologia, declividades e orientação de vertentes, e direção e velocidade dos ventos) e, por outro, as características do fato urbano (uso do solo), sua setorização e a definição dos locais para levantamento de dados. Esta proposta foi seguida em linhas gerais no estudo de caso da RMPA, entretanto, foram feitas algumas adaptações em função da diferença de escala e dos dados utilizados. A setorização, que naquele estudo teve por objetivo a identificação de ambientes intra-urbanos, não teve o mesmo nível de detalhamento aqui, principalmente em função das limitações de tempo e de equipamentos para os posteriores levantamentos de temperatura em cada um dos setores.

A etapa de elaboração das diferentes cartas do embasamento cartográfico para o estudo do clima local foi realizada com a utilização dos programas SURFER<sup>4</sup>, AUTOCAD<sup>5</sup> e do Sistema de Informações Geográficas IDRISI<sup>6</sup>.

---

<sup>3</sup> Este modelo numérico de terreno de toda a América do Sul, foi obtido na rede INTERNET, no endereço: [http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/gicc/tab Lambert\\_sa.html](http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/gicc/tab Lambert_sa.html)

<sup>4</sup> Trata-se do sistema utilizado neste trabalho para criar uma grade uniforme de valores numéricos a partir de valores discretos, utilizando interpoladores matemáticos.

<sup>5</sup> Trata-se do sistema utilizado neste trabalho para a digitalização de mapas.

<sup>6</sup> É um sistema de software, composto de um conjunto de processadores que permitem criar, analisar, armazenar e produzir mapas, baseado em trabalhos de campo e fontes de arquivo.

Para a elaboração do mapeamento da RMPA dentro dos grandes compartimentos topográficos do estado do Rio Grande do Sul, utilizou-se um modelo digital de terreno da América do Sul, disponível na rede Internet, com uma resolução de 1km por 1km.

Para a escala de análise local, com o uso dos programas AUTOCAD e SURFER, pretendia-se elaborar um modelo digital de terreno de toda a RMPA, através da digitalização das curvas com equidistância de 20m, a partir das cartas topográficas na escala 1:50.000. Entretanto, juntando-se as imagens altimétricas correspondentes a cada uma das cartas digitalizadas, percebeu-se que a justaposição de todas as imagens altimétricas criaria um arquivo impossível de ser manipulado num computador pessoal. Por isso decidiu-se criar um modelo com um nível de detalhamento comparável com a imagem de satélite (resolução 30m x 30m) somente para a área sobre a qual foi realizada a maioria dos estudos e não para o total da RMPA.

A partir deste modelo, foi elaborada uma carta hipsométrica, situando a metrópole gaúcha dentro da bacia do rio Jacuí e da compartimentação altimétrica do relevo. O modelo, além de permitir uma caracterização hipsométrica da área em estudo, foi utilizado para fornecer informações complementares àquela da altitude, quais sejam: a declividade e orientação de vertentes, que permitiram o estabelecimento de relações com o mapa de uso do solo com outras informações georeferenciadas. As imagens obtidas através de processos matemáticos foram reclassificadas para os intervalos recomendados por Cunha (1986) e Mendonça (1995).

Uma carta de uso do solo como subsídio ao estudo do campo térmico metropolitano deve destacar atributos formadores da metrópole e seu entorno tais como: estruturação urbana, disposição vertical (altura das construções) e horizontal (adensamento) das edificações, distribuição da cobertura vegetal, rede viária, superfícies líquidas, fronteira urbano rural, corredores de transporte e características das culturas agrícolas.

Dentro do embasamento cartográfico de uma área de intensa urbanização, como é a RMPA, a representação do uso do solo diretamente ligada ao fato urbano teve destaque. Na análise espacial foi criada uma sessão específica referente à evolução da urbanização na RMPA, com base em documentação que permitiu inclusive mapear o crescimento da mancha urbana.

Mesmo assim não foi desconsiderada a condição de uso e ocupação do solo do entorno das cidades, uma vez que a urbanização na área não é um bloco único. Além disso, as características do ambiente rural têm influência no clima urbano; Mendonça (1995, p.) salientou este fato no seu estudo para a cidade de Londrina-PR, concluindo que:

“a participação da inércia termal dos solos rurais na formação dos climas urbanos da área é um dado fundamental para a compreensão dos mesmos[...]. Assim, no estudo do clima urbano de cidades de porte médio e pequeno é fundamental que se cartografe o uso do solo das circunvizinhanças da cidade, do mesmo modo que a observação do calendário agrícola regional e a utilização de dados coletados sobre as superfícies rurais.”

A preocupação principal foi a de analisar a distribuição espacial dos diferentes usos do solo. A técnica considerada mais indicada para a classificação de uso do solo foi o processamento de imagens, já que não havia a necessidade de uma resolução espacial muito detalhado. Entretanto, o emprego de imagens de satélite na elaboração de cartas de uso e ocupação do solo esbarra em alguns problemas. As maiores dificuldades verificadas na utilização de dados orbitais na obtenção de informações sobre o ambiente intra-urbano envolvem a complexidade do ambiente, que pode apresentar uma grande heterogeneidade de alvos, mesmo em se tratando de tipos semelhantes de ocupação, e as limitações de resolução dos sensores. Como observou Novo (1989, p. 238), a classificação de uso do solo urbano através de técnicas digitais

esbarra no fato de a variância interna das classes ser muito grande, devido à variabilidade própria deste ambiente.

Com o propósito de realização de levantamentos eventuais de temperatura, umidade relativa e vento, foram selecionadas 4 áreas com características de uso do solo diferenciadas daquelas existentes nas estações meteorológicas locadas na RMPA, evitando-se, na medida do possível, as áreas marginais aos corpos líquidos e as de compartimentação topográfica muito diferenciada. Para conhecer a especificidade local de cada estação, que pudesse indicar fatores determinantes da temperatura na área, foi feito o levantamento do ambiente em torno de cada estação. Este foi realizado com base em visitação direta ao local (registrada através de fotografia ou pelo diagrama com o grau de obstru o do horizonte local), ou através de fotografia aérea.

Para a caracteriza o do padrão de uso do solo existente no entorno mais amplo das esta es meteorológicas e postos temporários de mensura o, utilizou-se o procedimento proposto por Brandão (1996, p. 34). Primeiro, definiu-se um raio de 800m em torno do abrigo, em fotografias aéreas. Através de fotointerpreta o delimitou-se os diversos tipos de cobertura do solo. Para isto, utilizaram-se fotografias aéreas cedidas pela Funda o Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional (escala 1:8.000) A etapa seguinte, a do cáculo do tipo de cobertura predominante, foi alcançada fazendo-se uso do SIG IDRISI, a partir do qual obteve-se o mapeamento dos padrões de uso do solo para todas as áreas amostrais.

### ***1.5.2.2- A análise temporal***

A análise temporal, como parte do estudo do subsistema termodinâmico do clima da RMPA, envolve a busca do conhecimento da dinâmica atmosférica regional com o objetivo de caracterizar o clima regional,

de um lado, e a dinâmica atmosférica local e o campo térmico daí derivado, de outro. A partir do conhecimento da dinâmica atmosférica nestas duas dimensões, pode-se identificar os principais fatores climáticos que entram na formação do clima metropolitano e suas subdivisões locais.

A análise temporal foi subdividida em dois momentos: levantamentos em laboratório, a partir de documentos, e levantamentos de campo. Com a utilização de documentação bibliográfica geral foi caracterizado o clima regional e local. As informações de boletins meteorológicos publicados nos jornais locais, bem como a posterior consulta ao boletim Climanálise do INPE permitiram referenciar a situação sinótica na escala zonal e regional. O emprego do sensoriamento remoto, assim como dos dados obtidos de estações e postos meteorológicos permitiram uma abordagem climática local.

A perspectiva inicial desta pesquisa era a de desenvolver estudos voltados para a compreensão da dinâmica térmica, principalmente do ponto de vista de sua espacialidade, bem como a sondagem sobre uma provável influência do crescimento urbano em algum parâmetro do clima, tendo como base os registros meteorológicos das séries temporais. A Região Metropolitana de Porto Alegre dispõe de uma rede de observações meteorológicas densa, graças ao empenho do INMET, do Ministério da Aeronáutica, de centros experimentais, escolas de agronomia e engenharia agrícola e da Associação dos Ex-Alunos do Colégio Sinodal. No entanto, as dificuldades encontradas para a consecução dos objetivos propostos, como a ausência de séries temporais comparáveis e a questionável confiabilidade em alguns dados existentes, acabaram encaminhado o trabalho para outro rumo.

Os dados dos postos de observação padrão serviram, então, à caracterização do clima local, ou à amarração às observações complementares. Conforme já exposto, além destas estações, foram realizados levantamentos em postos temporários em ambientes que não estão representados em nenhuma das estações meteorológicas convencionais.

Os dados das estações climatológicas padrão utilizados neste trabalho foram cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Ministério da Agricultura, pela Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária S/A (INFRAERO), pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente de São Leopoldo e pelo Departamento de Agrometeorologia da UFRGS.

Os dados analisados no capítulo “Experimentos de Campo” foram gerados a partir de 2 levantamentos de campo realizados em março de 1997.

O levantamento de dados de campo é, segundo Mendonça (1995, p.) *“a parte da análise temporal que depende diretamente do pesquisador e, quanto maior for o seu detalhamento espaço-temporal, melhor será a identificação dos agentes formadores do clima estudado”*. Para Monteiro (1990-b, p.26), o segmento temporal mínimo para o trabalho direto de observação de campo é de 24 horas contínuas e as medidas realizadas devem ser referenciadas a um posto meteorológico local, bem como, deve-se ter a preocupação com a evolução recente (três dias no mínimo) da situação sinótica, reveladora das condições regionais.

Em função da dificuldade de se dispor de equipamentos e observadores por um período prolongado, optou-se por dois levantamentos no verão de 1997, privilegiando tipos de tempo anticiclônico. A verificação das situações meteorológicas, nas quais foram levantados os dados, foi obtida através do enquadramento das variações térmicas e hídricas constatadas entre vários ambientes, nas seqüências habituais do tempo.

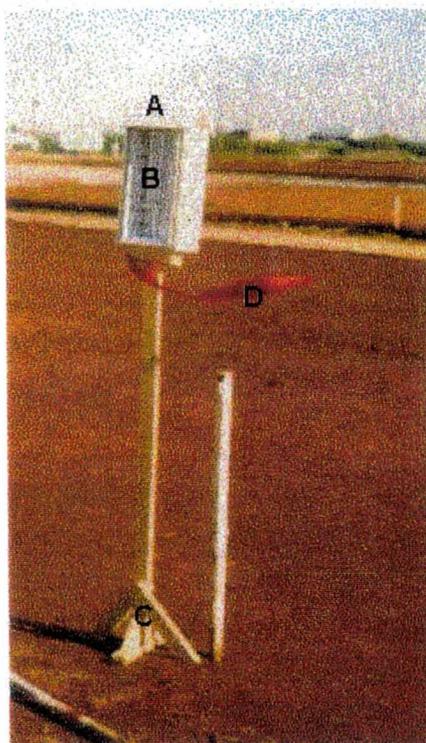
Os dados dos postos temporários foram levantados às 06:00, 09:00, 15:00 e 21:00 h, a fim de serem comparáveis aos dados levantados com aqueles de estações meteorológicas oficiais (horário padrão internacional OMM). Os postos temporários são: Mata, Campo, Entre Prédios e Solo Nu (figura 1.2). Os equipamentos utilizados para este levantamento foram os do Laboratório de Climatologia da Universidade Federal de Santa Catarina. Cada base de observação (Foto 1.1) constou dos seguintes equipamentos:

a) mini-abrigo meteorológico: construído de madeira com paredes duplas e perfuradas, pintado na cor branca;

b) base do abrigo, construída em sentido cruzado indicando as direções leste, oeste, norte e sul, para correta posição do abrigo que deve ser posicionado com a abertura em direção sul;

c) fita de cetim, fixada na parte inferior do mini-abrigo, utilizada para indicar a direção do vento;

d) par de termômetros (Marca INCOTERM) com precisão de  $0,2^{\circ}\text{C}$ , utilizado para indicar temperatura e umidade relativa do ar.



#### LEGENDA:

- A- Mini-abrigo meteorológico.
- B- Termo-higrômetro de leitura direta.
- C- Base do mini-abrigo  
Rosa dos ventos
- D- Fita de cetim para mostrar a direção dos ventos

Foto 1.1- Equipamento utilizado em levantamento de campo.

Os dados obtidos associados às medidas padrão das estações meteorológicas, registros de intensidade e direção dos ventos, foram comparados em gráficos, mas não foram plotados em mapas com isolinhas, em função do número restrito de postos de coleta. Além disso, esta técnica sempre está em desvantagem em relação à termografia através do infravermelho, que permite a obtenção de uma imagem momentânea da distribuição da temperatura da superfície terrestre com uma capacidade de resolução espacial que não é possível de obter com nenhuma rede de medições estacionárias. Por isso utilizou-se o processamento de imagens de satélite na identificação do clima metropolitano.

Analisando os trabalhos disponíveis, nota-se que a maior parte das imagens de satélite utilizadas para estudos meteorológicos e climáticos tem baixa resolução espacial ou seja, seu campo instantâneo de visada (IFOV) abrange uma área considerável de terreno imageado (~1 km<sup>2</sup>). Desta forma, o imageamento auxilia no estudo das condições atmosféricas em escala zonal e regional, abastecendo os meteorologistas com uma grande quantidade de informações acerca da posição, intensidade e deslocamento dos sistemas atmosféricos e da evolução da temperatura dos oceanos.

Os sensores de maior interesse para o estudo do campo térmico são aqueles que coletam radiação eletromagnética na faixa do infravermelho termal (comprimento de onda entre 8 e 12 microns). Características do campo térmico de áreas urbanizadas foram inicialmente examinadas com a utilização de sensores de baixa resolução. O satélite heliossíncrono NOAA/AVHRR (National Oceanic and Atmosphere Administration/ Advanced Very High Resolution Radiometer) com uma resolução espacial de 1,2 km foi utilizado por Balling e Brazel em 1988 e Roth e outros em 1989 (apud Nichol, 1994, p.1225). Lombardo (1985) encontrou diferenças de 9 graus de temperatura entre o centro de São Paulo e a periferia da mancha urbanizada com imagens deste satélite. Por outro lado, as imagens do sensor HCMM/HCMR (Heat Capacity Mapping Mission/ Heat Capacity Mapping Radiometer) com resolução de 0,6 km foram utilizados por Carlson e

Boland em 1978 , Vukovitch em 1983 e Henry e outros em 1989 apud Nichol (1994). Nestes estudos, os autores citam a pequena resolução espacial dos dados de satélite, comparada com a alta frequência espacial de superfícies urbanas como a responsável pela impossibilidade de se obter relações precisas entre as temperaturas de superfície calculadas a partir de valores de radiância do sensor e aquelas medidas em superfície. Só é possível determinar-se a temperatura exata para grandes superfícies com propriedades físicas constantes.

As imagens de satélite do sensor TM6 do Landsat 5 (120m x 120m), apesar da maior resolução espacial, não podem proporcionar a expressão pronta do campo térmico, que se apresenta como uma complexidade de vários estratos. As temperaturas medidas pelo sensor não são idênticas à temperatura do ar medida na camada próxima à superfície. Mas, através da termografia, obtêm-se índices relativos das diferenças na estrutura termal relacionadas com a ocupação no ambiente urbano, ou seja, ilhas de calor, entradas de ar fresco, entre outros (Wirtschaftsministerium Baden Württemberg, 1993).

Como o clima das camadas de ar junto ao solo está intimamente relacionado à superfície ativa (Chandler, 1976), o sensor TM6 torna-se uma ferramenta importante no domínio da climatologia local, estando ainda subutilizado na avaliação de políticas ambientais no planejamento urbano. A utilização do canal nº6 do TM segundo os estudos de Cantat (1987) , Nichol (1994) e Mendonça (1995) , podem contribuir para o entendimento do papel do tipo dos materiais superficiais e do seu arranjo na definição do campo térmico, bem como indicar áreas potenciais de interação energética com a camada de ar junto à superfície.

Bariou et al (1993, p.75) sintetizaram três técnicas utilizados para o cálculo das temperaturas de superfície da terra a partir de imagens originadas do satélite Landsat 5. Estas técnicas convertem literalmente os valores de radiância da imagem em temperatura do corpo negro usando basicamente a Lei de Planck. No entanto, estas técnicas subestimam a

temperatura de superfície, se não forem feitas correções de acordo com a emissividade de cada cobertura do solo. Em função disso optou-se pelos processamentos utilizados por Nichol (1994) para o cálculo das temperaturas de superfície em Singapura.

Utilizou-se o Sistema IDRISI para o processamento digital das imagens de satélite e demais técnicas de análise geográfica. O Sistema IDRISI contém um conjunto amplo de ferramentas, tanto para o processamento digital de imagens, como para as demais técnicas de análise geográfica (Eastman, 1995).

O processamento digital de imagens através do *software* IDRISI pode ser amplamente dividido em quatro operações: restauração, realce da informação, criação de novos canais, transformação e classificação das imagens. Outras ferramentas de análise geográfica que foram largamente utilizadas foram RECLASS, ASSIGN, SCALAR e OVERLAY. RECLASS e ASSIGN são parecidos e podem ser usados para isolar classes de interesse em um mapa ou imagem, bem como atribuir novos valores a estas classes. SCALAR e OVERLAY produzem imagens novas como resultado de uma operação matemática sobre uma imagem ou entre duas imagens existentes.

### 1.5.3 Terceira Fase

A terceira fase do roteiro metodológico constitui o momento em que se buscará sintetizar, separadamente, as características geográficas da área de estudo, das características climáticas regionais e do clima local. Depois de definidas as sínteses, em separado, das características geográficas metropolitanas (sítio, forma, evolução, morfologia, função, etc.), do clima regional e do campo térmico local (experimentos de campo, termografia infravermelha, etc), deverá se seguir a correlação entre os elementos formadores do campo térmico em estudo. O estabelecimento da relação entre os vários

dados permitirá a identificação de relações de causa e efeito entre os elementos, assim como a relevância de cada um na constituição de diferenças térmicas locais.

Nesta terceira fase, analisa-se as correspondências entre os aspectos observados, o que se mostrou complexo, já que temos somente alguns elementos registrados e caracterizados. No entanto, os ensinamentos de Popper (Apud Monteiro, 1976, p.149), quando considera que não se deve jamais desistir de tentativas para explicar, de forma causal, todo o tipo de evento que se pode descrever, são um valioso fio condutor nesta fase de avaliação.

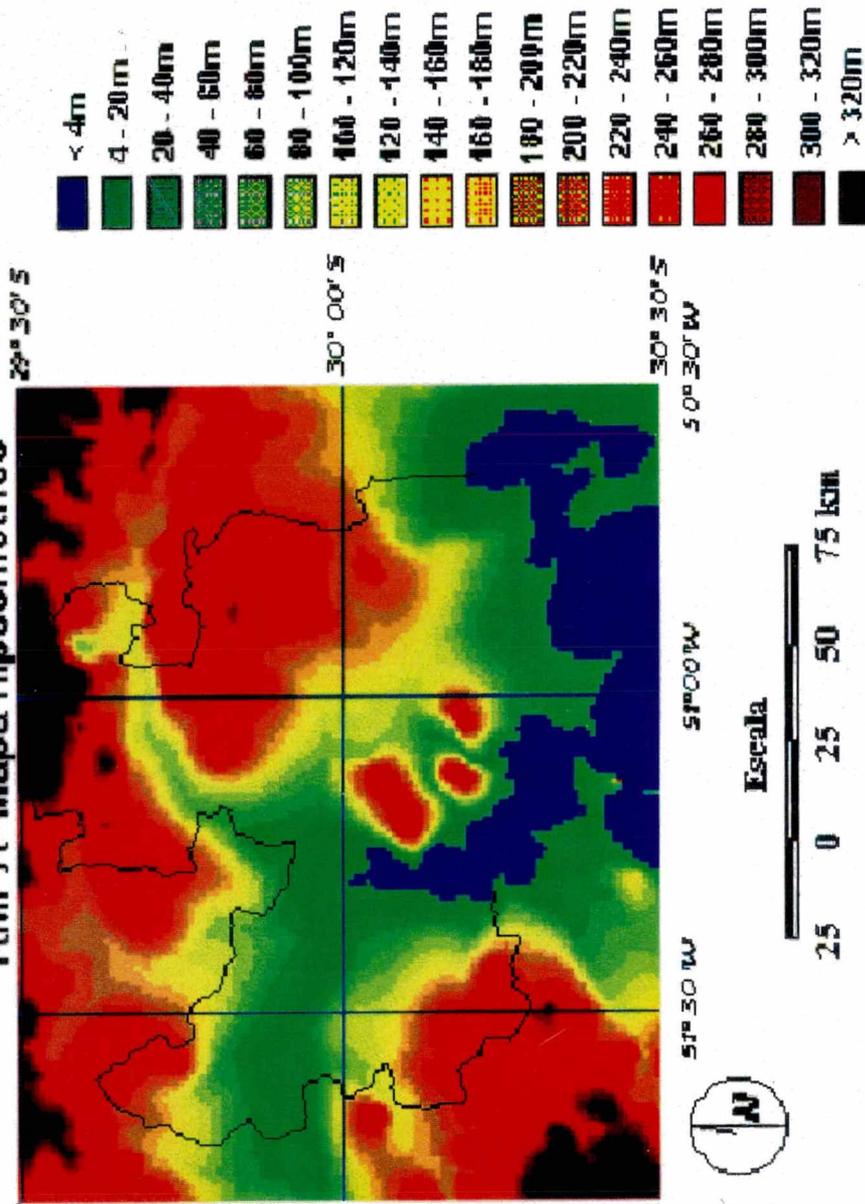
## **2 RMPA – ANÁLISE ESPACIAL: SÍTIO NATURAL, OCUPAÇÃO E USO DO SOLO**

Neste capítulo examina-se as variáveis ambientais da RMPA. Considera-se variáveis do ambiente as condições que influenciam na formação de diferentes características térmicas; portanto, a ênfase está no ambiente físico, incluindo aquele que é produção material da cultura. Inicia-se, portanto, pelas características do sítio da RMPA, expondo as unidades morfológicas que nele se distinguem. Depois revela-se a ocupação antrópica, tomada não como superposição mas como integração ao primitivo geo-ecológico, e o dinamismo da área neste representado pelos fluxos de tráfego de veículos e pelo calendário agrícola.

### **2.1 O sítio urbano da RMPA na compartimentação topo-geomorfológica regional e local**

Limitada, morfológicamente, ao norte, pelos contrafortes meridionais da Serra Geral, e ao sul, pelas baixas elevações cristalinas, a RMPA assenta-se numa área relativamente complexa, onde se inter cruzam diversos elementos topográficos. Estão presentes trechos do Planalto Sul-Riograndense, da Depressão Periférica, do fundo da Planície Costeira, do sistema lagunar e do rebordo estrutural inferior da Serra Geral com testemunhos associados (Maio, 1988).

# RMPA- Mapa hipsométrico



Fonte: [http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/glcc/tab Lambert\\_sa.html](http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/glcc/tab Lambert_sa.html).

Organização: Erika Collischonn

Figura 2.1 Hipsometria da RMPA e áreas adjacentes.

Os alinhamentos de relevos cristalinos (Planalto Sul-Riograndense), de direção geral NE-SO, cortam os municípios a sudeste da RMPA, criando um sistema de morros de altitudes diferenciadas. Na margem esquerda do Guaíba, as maiores elevações correspondem ao maciço de Porto Alegre, apresentando cotas superiores a 200m. Este conjunto de morros está entremeado por elevações com altitude entre 120 e 130 metros, tais como, interflúvios de vertentes mamelonares, espigões alongados e patamares escalonados, separados ou não por pequenos colos. As cotas menores de 10m, margeando este conjunto, *“coincidem com as planícies aluviais e baixos terraços encerrados entre os espigões promontórios, que vão morrer às margens do Guaíba”* (Ab’Saber, 1966, p.13). Na margem direita do Guaíba, há também terrenos mais elevados e morros alinhados em continuidade às formas da outra margem.

Na encosta inferior da Serra Geral, as feições principais que se estabelecem são inerentes aos aspectos morfométricos das bacias (Caí e Sinos) e sub-bacias fluviais. Além destas componentes locais, o significado desta encosta extravasa sua importância para a escala regional, como destacou Maio (1988, p. 60). A disposição aproximadamente linear da encosta, motiva um obstáculo à penetração dos ventos litorâneos e da Massa Polar Atlântica, fazendo com que haja maior pluviosidade nesta área (média de 2000 mm anuais) do que em outras unidades morfológicas em estudo como registram os dados de Porto Alegre (1.400 mm) e Viamão (1.192 mm).

Deprimida em relação aos planaltos ao norte e ao sul encontra-se a depressão periférica, que deve sua gênese a uma evolução intimamente ligada à rede hidrográfica da bacia do Jacuí, apresentando um relevo suavemente ondulado (entre 5 e 150 metros de altitude). Entre as colinas e relevos tabuliformes interpenetram-se seções de planícies, onde a drenagem é anastomosada ou mesmo desorganizada. Viamão, Gravataí, Alvorada, Canoas e Eldorado do Sul, constituem as unidades municipais onde se verificam os mais

baixos níveis topográficos, domínio das planícies inconsolidadas (Maio, 1988, p.62).

O rio Jacuí é o eixo natural da depressão Periférica e a ele se aglutinam, ao norte da cidade de Porto Alegre os caudais dos baixos cursos dos rios Caí, Sinos e Gravataí. Este conjunto de rios, na sua confluência, se dividem em um grande número de braços que formam o labirinto de ilhas do Delta do Jacuí.

O relevo montanhoso e as vastas áreas planas constituem os principais domínios fisiográficos da RMPA que, aliados à presença de uma grande massa de água (Figura 2.1), devem interagir continuamente, resultando numa situação climática peculiar.

O sítio da RMPA, segundo Ab'Saber (1966, p.12) "*envolve todo um mosaico de pequenos compartimentos, bem individualizados, irregularmente abrangidos pelas vagas de urbanização regional, porém todos eles comprometidos com a expansão metropolitana do organismo urbano*". Pode-se pautar uma urbanização divergente a partir do Lago Guaíba, mas que engloba vários sítios diferentes. No entanto, o sítio da RMPA como um todo, considerando-se que nele ocorre a junção dos rios Jacuí, Caí, Sinos e Gravataí (Figura 2.1), tem características de convergência.

Para caracterizar melhor estes compartimentos menores na área de estudo, realizou-se uma cartografia mais detalhada da área onde foram realizados a maioria dos experimentos (área core), para a qual utilizou-se um Modelo Digital de Terreno<sup>7</sup>, gerado com base nos dados altimétricos de 8 cartas topográficas de escala 1:50.000. Para a criação deste modelo, inicialmente digitalizaram-se<sup>8</sup> as curvas de nível destas cartas, de 20 m em 20m, com o uso do programa AUTOCAD-MAP. Os arquivos criados foram importados do SIG – IDRISI e deste, exportados para o Programa SURFER, onde foram criados os modelos digitais de terreno. As imagens altimétricas correspondentes a cada

---

<sup>7</sup> É uma imagem cuja variável Z representa a distribuição espacial da topografia.

<sup>8</sup> Processo de transferência da informação topográfica dos mapas para o computador.

carta foram unidas no SIG – IDRISI e assim criou-se um modelo único que abrange praticamente a área de 8 cartas na escala 1:50.000. A partir deste, foram realizados mapeamentos temáticos destacando as condições fisiográficas fundamentais na formação de diferentes características térmicas (efeito topoclimático). São eles, o mapa hipsométrico, o mapa de declividade e o mapa de orientação de vertentes do relevo.

A caracterização hipsométrica da área de estudo (Figura 2.2) é fundamental para o entendimento do comportamento dos ventos. As áreas abertas como a várzea do rio Gravataí (centro-leste), do Guaíba e à várzea do rio Jacuí a oeste, facilitam a penetração e até podem potencializar, respectivamente os ventos, leste e sudeste, sul, sudeste e sudoeste e oeste. A presença da encosta da Serra Geral a norte, por um lado, funciona como um anteparo à circulação que vem do sudoeste e sul, o que resulta em índices pluviométricos mais elevados nesta área. Por outro lado, pode provocar uma compressão adiabática no ar que vem do quadrante norte, o que cria situações de desconforto térmico nas cidades de pé de serra - Sapiranga, Campo Bom, Novo Hamburgo e Estância Velha. A presença de morros testemunhos a sudeste do rio dos Sinos pode gerar uma redução ou até alteração na circulação do vento regional no Vale dos Sinos. Para Porto Alegre, Danni (1980, p.42), observou que, a topografia age na diferenciação térmica da atmosfera, possibilitando a formação de ilhas de calor nas áreas próximas às vertentes norte dos Morros Santana, da Polícia, e Teresópolis quando ocorrem ventos de este, sul e sudeste (provável efeito de abrigo a sotavento). O vale do arroio Sabão (entre Porto Alegre e Viamão) é uma das principais áreas de entrada de ar fresco para Porto Alegre.

Na análise climática, a carta de declividade de vertentes, considerada isoladamente, não tem tanta relevância como nos estudos geomorfológicos; porém, quando associada à orientação das vertentes, desempenha um papel importante na distribuição da energia calorífica e luminosa ao nível local. A carta clinográfica da RMPA (Figura 2.3) foi elaborada com base no modelo digital de terreno. As classes de declividade de

terreno, foram definidas de acordo com a proposta de De Biasi (1990) que, por sua vez, considera aspectos do Código Florestal Brasileiro ( Lei n.4771, 1965).

Na área core RMPA destacam-se como áreas de declividade mais acentuada, as vertentes da Serra Geral (ao norte da imagem), feições estas esculpidas pelos rios Sinos, Caí e afluentes destes. Também se destacam como áreas mais inclinadas as elevações que correspondem ao maciço de Porto Alegre e à área de morros testemunhos entre os Rios Gravataí e Sinos. A área mais urbanizada dispõe-se nas áreas com declividade menos acentuada.

A carta de orientação de vertentes é fundamental em estudos climáticos, já que superfícies com orientações e inclinações diferentes recebem quantidades diferentes de radiação solar direta. A este respeito, Tubelis & Nascimento (1992, p. 51) assinalaram que, *“superfícies com orientação norte e sul, com diferentes inclinações, recebem energia solar como se fossem horizontais e situados em outra latitude”*.

Este dado torna-se ainda mais relevante quando se considera uma localidade na zona subtropical sul. Aí, a quantidade de radiação recebida, por uma vertente bastante inclinada e voltada para o norte, será bem maior do que a de outra, com a mesma inclinação e no mesmo local, posicionada em direção sul. Por outro lado, superfícies que possuam orientação leste ou oeste terão menores durações diárias de insolação, devido a um adiantamento do momento do pôr do sol para terrenos leste e atraso no momento do nascer do sol para terrenos oeste. A radiação solar global será a mesma para ambas orientações na mesma inclinação. Este é portanto, um importante fator topomicroclimático, principalmente quando se analisa temperaturas de superfície, mas também na temperatura e umidade do ar.

A carta de orientação de vertentes Figura (2.4) elaborada para a área core da RMPA evidencia que há uma predominância das vertentes frias (sudeste, sul, sudoeste) numa faixa paralela ao Rio dos Sinos e a norte deste, do outro lado, predominam as vertentes quentes (nordeste, norte, noroeste). Nota-se também uma ligeira predominância de vertentes quentes em Porto Alegre.

Nas outras áreas, em função da movimentação do relevo, há uma variedade de orientações de vertentes, não sendo possível determinar-se a predominância de uma delas.

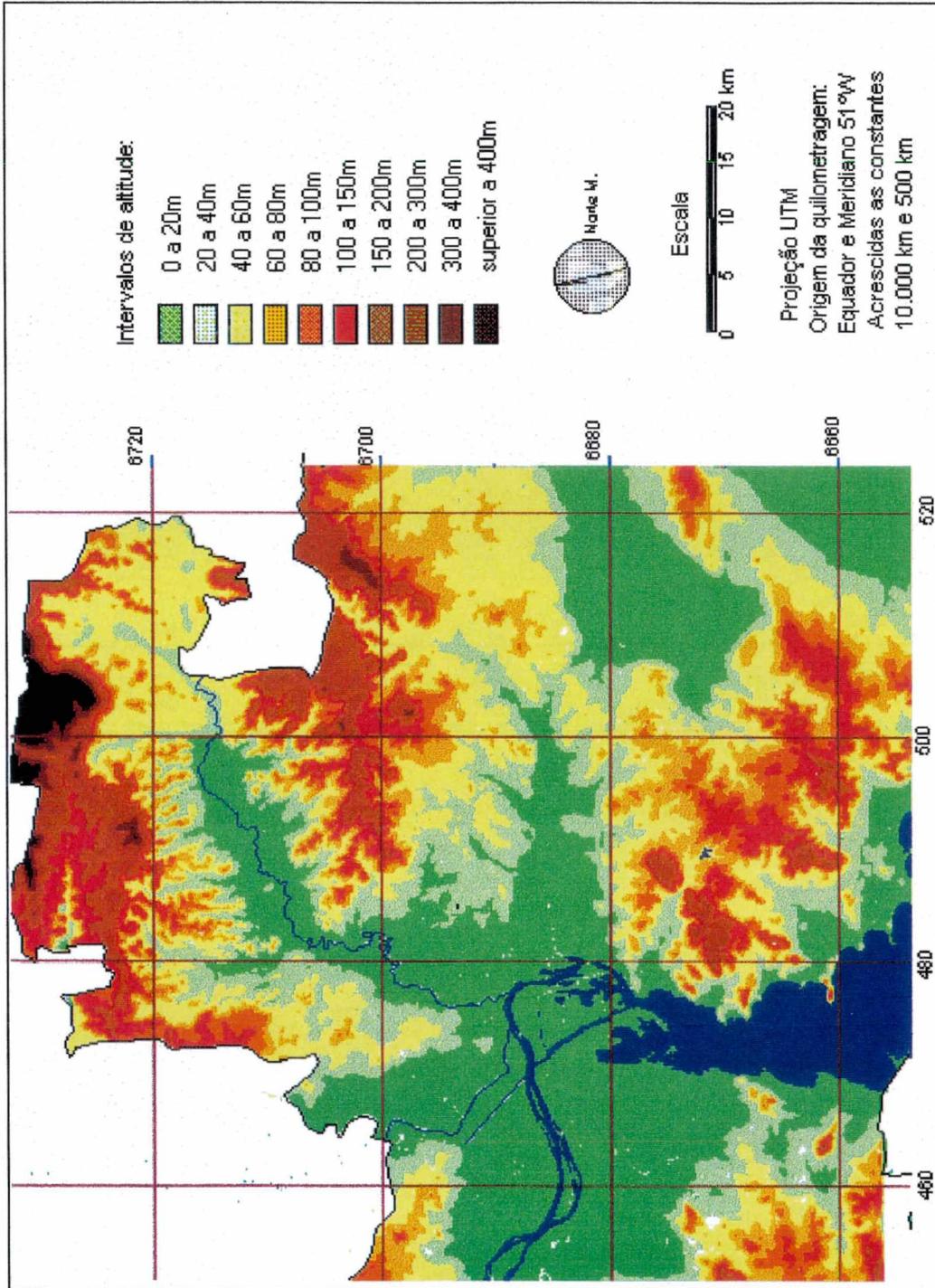


Figura 2.2- RMPA- Hipsometria da área central. (Elaborado por Erika Collischonn)

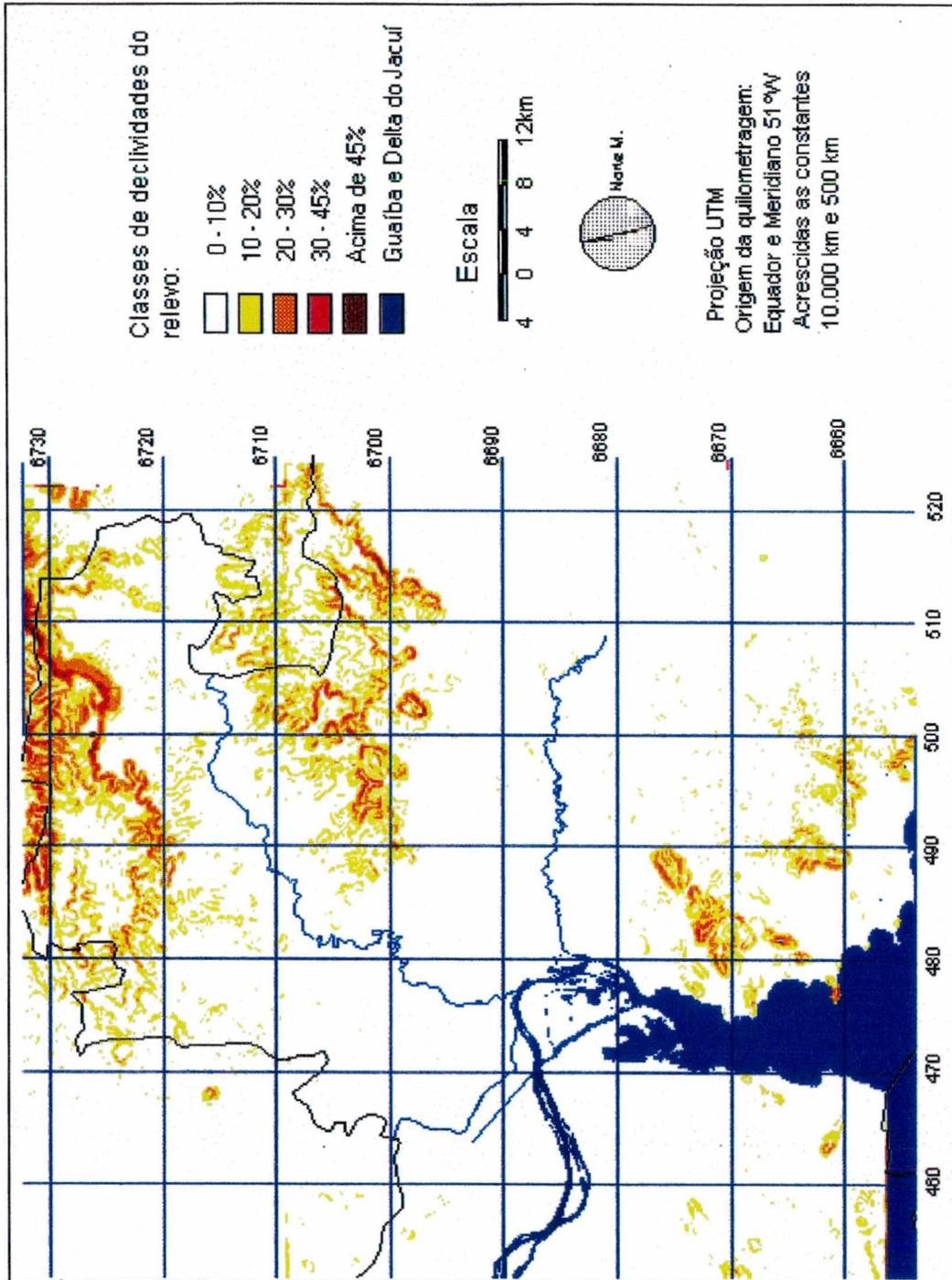


Figura 2.3- RMPA - Declividade da área central (Elaborado por Erika Collischonn)

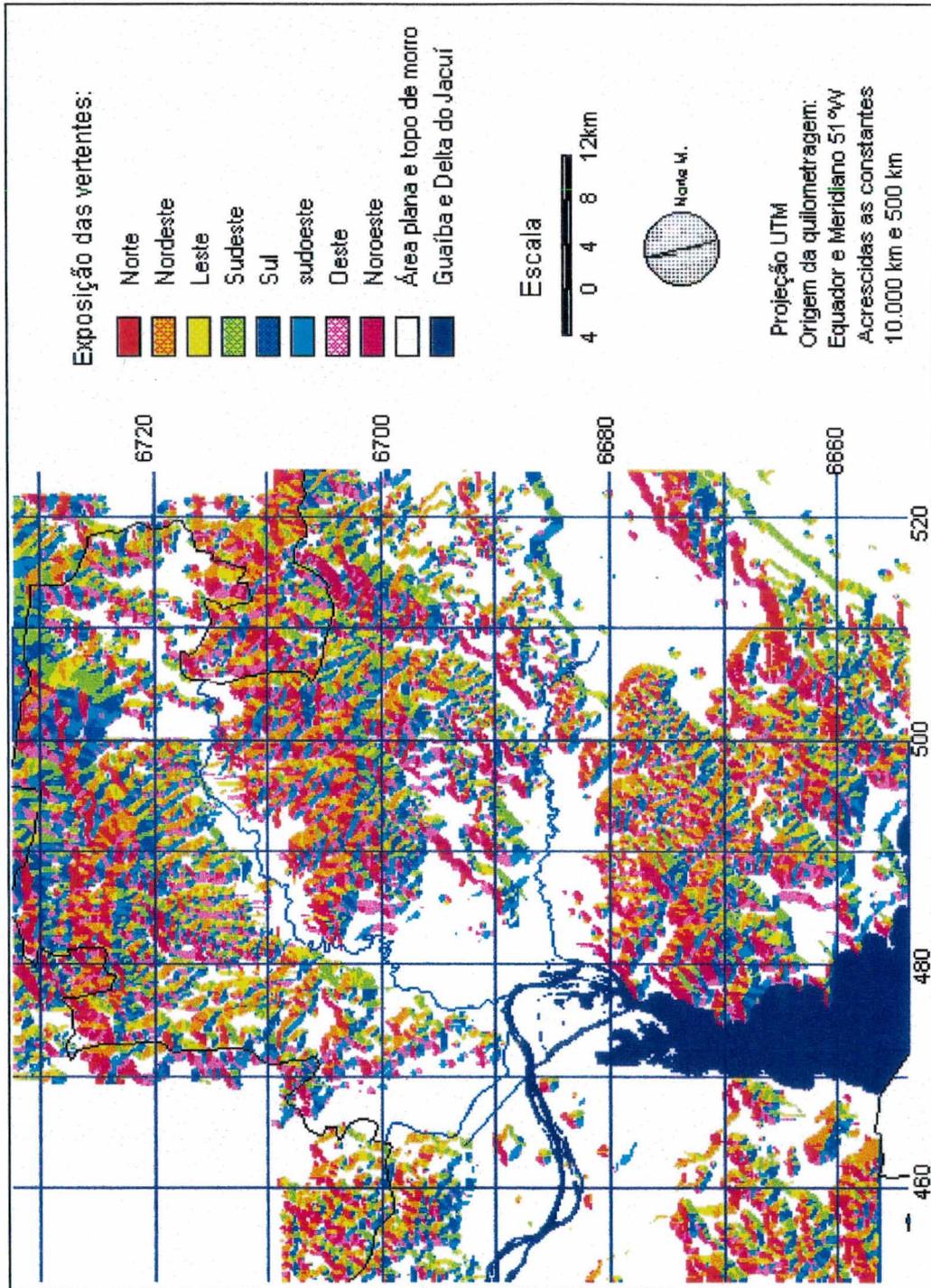


Figura 2.4- RMPA - Orientação de vertentes na área central (Elaborado por Erika Collischonn)

## 2.2 Evolução urbana

A análise da evolução urbana de um espaço permite compreender a dinâmica da mancha urbana. Divide-se a evolução urbana na área de estudo em duas fases distintas: uma anterior a criação da RMPA (do final do século XIX até a década de 70) e a outra que se inicia em meados dos anos 70 e continua expressando a dinâmica atual.

O desenvolvimento urbano e o crescimento demográfico no século XIX e início do século XX, que resultaram na formação da Grande Porto Alegre, podem ser compreendidos na sua relação com a imigração europeia e com o processo de industrialização.

O desenvolvimento de um contínuo urbano que atualmente praticamente une as cidades ao longo da BR-116 que ligou Porto Alegre a Estância Velha, se inicia com a fundação de São Leopoldo ao norte de Porto Alegre em 1824. Segundo Singer (1977, p. 157), *“São Leopoldo, era uma colônia bem localizada, com fácil acesso a Porto Alegre [e que concentrava em si todo o esforço colonizador deste primeiro período] constituindo-se em ponto de partida para a colonização alemã nos períodos seguintes”*.

Porto Alegre estava num momento de crise e estancamento do seu desenvolvimento. A capital da Província tinha perdido sua importância com a substituição do trigo pelo charque como principal produto comercial do Rio Grande do Sul. Com esta mudança, o centro de gravidade da vida econômica se deslocou para o sul da Província.

Assim, de 1824 a 1858, Porto Alegre constituía-se apenas em mercado de consumo para os excedentes agrícolas da colônia de São Leopoldo mas, aos poucos, foi tomando a hegemonia na exportação de produtos da lavoura (Roche, 1966; Singer, 1977, p.157-163). A cidade ainda estava limitada à península em forma de espigão alongado (de direção E-W) e às praias que a

margeiam. Deste núcleo partiam os caminhos (as futuras avenidas radiais), ao longo dos quais foram aparecendo os aglomerados, que mais tarde iriam unir-se no processo de crescimento da cidade.

Inicialmente o escoamento da produção das áreas coloniais era feito por navegação fluvial e carros de bois, mas, para que a colonização pudesse continuar avançando, foi iniciada, em 1869, uma ferrovia que, partindo de Porto Alegre, alcança São Leopoldo em 1874 e Novo Hamburgo em 1876 (Singer, 1977., p.159). No fim do século a capital volta a tornar-se o grande centro econômico do Estado, exportando gêneros alimentícios voltados ao mercado nacional.

A partir de 1890, Porto Alegre também entra em franco processo de industrialização, sendo que em 1920, a capital assumia a liderança industrial do Estado. A indústria de Porto Alegre cresce, num primeiro período, apoiada no mercado das colônias, depois se lança no mercado nacional contando, no entanto, com sólida base regional (Singer, 1977,p.167). Este processo faz crescer os bairros industriais e de residência proletária em Porto Alegre estendendo-se a área urbana a norte do espigão (Roche, 1966).

Durante as primeiras décadas do século XX, já começa a tomar forma a principal zona industrial do Rio Grande do Sul que se estabelece numa faixa funcionando como ligação de Porto Alegre com São Leopoldo e Novo Hamburgo, induzida pela via férrea. Escreve Singer (1977, p.184): “*A indústria porto-alegrense extravasa os limites da cidade e transforma os municípios vizinhos (Guaíba, Canoas, Esteio e Sapucaia) em subúrbios industriais da capital, em relação aos quais há perfeita continuidade urbana, o que permite falar em ‘Grande Porto Alegre’.*”

Ao mesmo tempo, em Porto Alegre ocorre uma ocupação descontínua sobre as colinas, vales e extensões planas periféricas ao centro. Este crescimento horizontal, sobretudo depois de 1940, foi possível pela instalação de serviços de transporte coletivo (bonde e ônibus) e circulação de automóveis. É nesta época também que é aberta a Avenida Farrapos (direção Sul-Norte),

para ligar o centro às estradas de rodagem que partem para o interior. Abre-se assim um novo eixo de expansão sobre as áreas planas que margeiam o Guaíba e o Gravataí e mais adiante o Sinos, onde se estenderão principalmente os bairros de camadas populares, ligados a loteamentos feitos por companhias particulares (Vila Jardim e Vila Floresta) ou a construções de iniciativa governamental (Vila do IAPI) em Porto Alegre, ou ainda, ao desenvolvimento espontâneo como Niterói, já em Canoas (Roche, 1966; Singer, 1977., Knijnik & Loss, 1994).

As fábricas também migraram para o norte, nos terrenos planos da várzea do Gravataí e baixo rio dos Sinos, para os recém emancipados municípios de Canoas e Esteio, onde segundo Roche (1966, p.74-75) “*os terrenos eram livres, baratos, com fácil provisão de água e servidos pela nova rodovia federal que prolonga a Avenida Farrapos*”.

A partir da década de 1960, outro processo que vai afetar claramente a ocupação deste eixo, é a decadência da agricultura nas colônias da encosta da Serra Geral (Singer, 1977), em função do desgaste da terra, da subdivisão demasiada dos lotes por partilha de herança e da queda relativa dos preços reais dos produtos agrícolas do Rio Grande do Sul (pela entrada no mercado de novos concorrentes com certas vantagens, como maior proximidade dos grandes centros consumidores). Resultou deste conjunto de fatores um considerável êxodo rural. Parte da população sem condições de vida nas áreas agrícolas seguiram para a fronteira agrícola, à procura de terras virgens. Outro contingente se encaminhou às cidades de Porto Alegre, Novo Hamburgo, Canoas, Esteio, Gravataí, principalmente. Assim se ampliam os loteamentos e ocupações espontâneas em todos os municípios que circundam Porto Alegre.

Segundo Panizzi (1990), as preocupações em torno dos problemas urbanos começaram a se manifestar em 1967, quando foi elaborado um estudo delimitando o território da área metropolitana de Porto Alegre e proposta uma ação conjunta para os seus, na época, 14 municípios. Desta

forma, antecipou-se às demais áreas metropolitanas do país e mesmo à decisão do Governo Federal de criar em 1974, as nove regiões metropolitanas que lideram o sistema urbano nacional.

Pode se dizer, então, que, a partir de 1970, a expansão metropolitana de Porto Alegre ocorreu com a ocupação de extensas áreas suburbanas, adensamento de áreas já urbanizadas e crescimento vertical intenso na área central. A industrialização continua sendo um fator importante na ampliação da mancha urbana, mas nem sempre de forma direta. Outros fatores entram em jogo, como a criação de um vasto reservatório de mão-de-obra e a oportunidade de extração de renda da terra além de investimentos em infraestrutura e nos setores vinculados, direta ou indiretamente, à produção de habitações.

Em 1970, a RMPA apresentava uma população total de 1.531.254 habitantes, o que representava 23,0% da população total do Rio Grande do Sul. A distribuição desta população nos municípios da RMPA, configurava uma forte concentração em Porto Alegre que detinha 61,75% da população urbana da região. A mancha urbana foi incorporando pequenos núcleos, consolidando-se, assim as primeiras conurbações, tendo como eixos as rodovias e estradas existentes. O traçado físico da mancha assume a forma de leque cuja extremidade mais estreita se situa sobre a área central peninsular de Porto Alegre para espalhar-se através de radiais que ligam as demais áreas ao centro (Mold, 1975).

O crescimento da mancha urbana, no entanto, passa a enfrentar obstáculos físicos e jurídicos. Em Porto Alegre, a linha de morros de direção SO-NE foi um entrave natural à expansão urbana para sul, enquanto ao norte, as zonas alagadas às margens dos rios Gravataí e Sinos representavam obstáculos à urbanização, entretanto, não tão fortes que impedissem a evolução do processo natural nesta área. As restrições jurídicas à urbanização, por outro lado, também já são uma realidade na região. Conforme Panizzi (1990) já em 1954, Porto Alegre e Canoas promulgaram Leis de loteamentos a fim de

disciplinar os empreendimentos imobiliários. A partir de então, os loteadores dirigiram suas atividades para outros municípios periféricos à capital: Viamão, Gravataí, Guaíba e, posteriormente, Alvorada e Cachoeirinha. Além dessas iniciativas isoladas de municípios como Porto Alegre e Canoas, em termos de conjunto, a área metropolitana foi uma das pioneiras na elaboração de uma política de organização do território. Mesmo assim, a área não deixou de se caracterizar pelo crescimento populacional e pela expansão das periferias e pela “desordem” urbana. Isto ocorre porque, conforme Panizzi (1990), que fez um estudo sobre a política elaborada e implantada nesta região, o distanciamento entre o planejamento regional e o cotidiano dos moradores do espaço metropolitano gaúcho era enorme. Além disso, a concentração dos recursos investidos nos programas de habitação, transporte, saneamento e equipamentos sociais, bem como a centralização dos mecanismos de decisão, submetiam as escolhas locais às ordens do Governo Federal.

Em função das restrições anteriormente citadas, a expansão na década de 70 se fez rapidamente em direção a Viamão e Gravataí, em especial, acompanhando o traçado das estradas estaduais. Entre Porto Alegre e Cachoeirinha (a nordeste do centro de Porto Alegre) havia uma descontinuidade de espaço urbanizado em razão das condições físicas já apontadas de que o rio Gravataí é o responsável. Alvorada, pelo contrário, estava desde o seu início praticamente ligada à capital. Entre Canoas e Porto Alegre a descontinuidade diminui, já que a urbanização se estendeu mesmo nas várzeas inundáveis dos rios Gravataí e dos Sinos. Prosseguindo em direção norte a partir de Porto Alegre, em 1975, a ocupação urbana apresentava-se contínua até as proximidades de Sapucaia. Na outra grande unidade territorial da RMPA, controlada pelos municípios de Novo Hamburgo e São Leopoldo, também cresce a mancha urbana, sendo que as rodovias contribuíram no papel de eixos por onde se expande a urbanização. A extensa várzea do Rio dos Sinos, entre São Leopoldo e Novo Hamburgo também passou a ser ocupada.

Esta expansão urbana vem sendo acompanhada desde 1971, inicialmente pelo Grupo Executivo da Região Metropolitana e, em seqüência,

pela METROPLAN. Num primeiro período, de 1971 a 1978, os estudos de crescimento da área de ocupação basearam-se em levantamentos aerofotogramétricos. Assim considerava-se área de ocupação urbana aquela que abrange os componentes residencial, área industrial, área verde e área básica. Nesta última categoria, incluem-se as áreas que atendem além da população da própria cidade, a clientela de outras cidades e que o planejamento dificilmente poderá realocar, como: portos, aeroportos, estações ferroviárias, parques estaduais e municipais, universidades e áreas militares. Assim, muitas destas áreas, apesar de se caracterizarem efetivamente como grandes áreas verdes, neste levantamento são consideradas áreas de ocupação urbana (METROPLAN, 1988). A tabela 2.1 apresenta o crescimento da mancha urbana em valores absolutos e relativos entre os anos de 1971 e 1978 para os municípios da área de estudo; verifica-se que, no período de 1971 a 1978, a mancha urbana (em hectares) se ampliou principalmente nos municípios de Viamão, Porto Alegre, Canoas, Gravataí, São Leopoldo e Sapucaia do Sul.

A partir do fim da década de 70, passam a se evidenciar na RMPA os efeitos das políticas públicas de habitação e transporte. No início da década de 80 foi implantado o trem metropolitano (TRENSURB) no eixo Norte-Sul sobre o mesmo leito da antiga linha férrea, que foi o primeiro elemento estruturador da conurbação que se estende de Porto Alegre a Novo Hamburgo. A sua inserção nesta direção, bem como a implantação dos corredores urbanos de Porto Alegre, privilegiam os principais eixos regionais, reforçando a estrutura espacial preexistente. O TRENSURB parece ter favorecido a valorização dos terrenos em algumas áreas do seu entorno.

MUNICÍPIOS	HECTARES		CRESCIMENTO	
	1971	1978	Percentual	Absoluto em ha
Porto Alegre	12.105,9	14.399,5	19,0	2.293,6
Canoas	3.290,5	5.451,5	65,7	2.161,0
Esteio	874,2	945,6	8,2	71,4
Sapucaia do Sul	1.105,0	1.707,1	54,5	602,1
São Leopoldo	1.509,1	2.428,6	60,9	919,5
Novo Hamburgo	2.564,5	2.965,2	15,6	400,7
Sapiranga	384,5	784,9	104,1	400,4
Campo Bom	525,3	779,4	48,4	254,1
Estância Velha	252,2	448,3	77,8	196,1
Guaíba	756,3	1.061,4	40,3	305,1
Gravataí	1.341,9	2.509,4	87,0	1.167,5
Cachoeirinha	584,1	1.063,2	82,0	479,1
Alvorada	1.029,8	1.314,7	27,7	284,9
Viamão	1.840,4	4.649,4	152,6	2.809,0
RMPA	28.163,7	40.508,0	43,8	12.344,3

Fonte: METROPLAN, 1988, p.54.

**Tabela 2.1: RMPA – Crescimento da área urbanizada entre 1971 e 1978.**

O mapa de 1985 (Figura 2.5), permite inferir hipóteses sobre a forma de crescimento urbano que se intensifica neste momento. As áreas em preto no mapa caracterizam as áreas da RMPA (exceto o município de Porto Alegre) onde as terras tinham valor médio mais alto. Nestas áreas passa a intensificar-se o processo de verticalização, principalmente nas cidades de Canoas, São Leopoldo e Novo Hamburgo.

Por outro lado, a abertura de programas de atendimento às famílias de baixa renda pelo Banco Nacional de Habitação (BNH) em andamento desde 1978, propicia um grande incentivo às empresas privadas de atuação na faixa de habitação popular. A localização destes empreendimentos estava basicamente ligada à variação do valor da terra urbana. Desta forma a mancha urbana se estende sobre as áreas com terras mais baratas (áreas hachuradas na figura 2.5). O assentamento da maior parte dos conjuntos habitacionais se deu nos municípios do eixo Leste-Oeste da região, ou seja, nos municípios de Gravataí, Alvorada, Cachoeirinha e Guaíba (Figura 2.6).



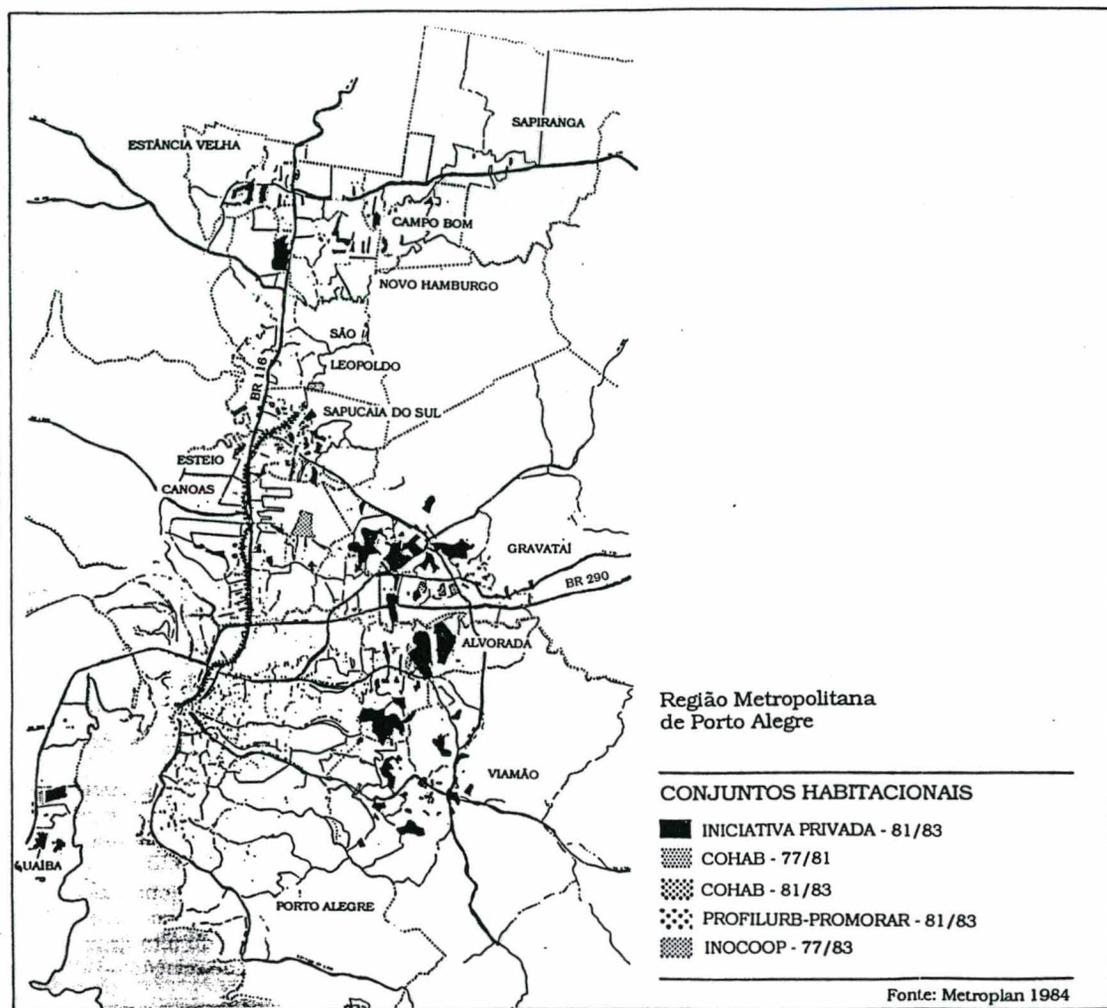


Figura 2.6- RMPA - Conjuntos Habitacionais construídos de 1977 a 1983 (exceto em Porto Alegre).

O eixo Norte-Sul da RMPA não teve uma expressiva ampliação da área urbanizada com as políticas públicas de habitação, mesmo havendo uma clara carência de habitação popular, uma vez que, nos municípios situados nesta faixa não existia grande oferta de terras a baixo custo (Almeida, 1993, p.329-331). Assim, apesar de grande parte das indústrias se localizarem neste eixo não havia oferta de moradia para a população proletária. Desta forma, aos segmentos sociais de renda menor que 3 salários mínimos restavam poucas alternativas. Entre elas, as mais frequentes são os processos de invasão ou ocupação irregular de terrenos públicos ou privados, para construção de sua moradia. Este é um processo que se acentua nas cidades dos eixos norte principalmente no final dos anos 80. Naquela data, segundo o informe Zero Hora Especial – RS 2000 (11/12/95), em São Leopoldo havia 120 loteamentos clandestinos, em Esteio constavam 21 vilas irregulares e nos bairros de classe média baixa em Novo Hamburgo, 69% das construções eram clandestinas ou ocupavam áreas impróprias. Para as demais cidades (Canoas, Sapucaia do Sul, Campo Bom e Estância Velha), não há dados numéricos, mas o problema da falta de habitação é citado.

Segundo o censo demográfico de 1991 (IBGE, 1996) a RMPA contava com uma população de 2.849.898 habitantes, dos quais, 93% moravam em área urbana. A distribuição da população por local de domicílio e por município (Tabela 2.2) mostra que esta realidade é generalizada para todos os municípios da RMPA.

Município	Pop. Urbana	Pop. Rural	Pop. Total
Porto Alegre	1241585	21818	1263403
Canoas	240946	-	240946
N. Hamburgo	180048	3727	1831845
Gravataí	150023	11822	161845
Viamão	139019	11691	150710
São Leopoldo	143182	6550	149732
Alvorada	124771	137	124908
Sapucaia do Sul	93303	355	93658
Cachoeirinha	78536	219	78755
Guaíba	65821	8234	74055
Esteio	63450	67	63517
Sapiranga	47038	5126	52164
Campo Bom	41565	1211	28156
Parobé	27058	1098	28156
Estância Vellha	23787	1306	25093
Charqueadas	22128	354	22482
Portão	14708	2767	17475
Dois Irmãos	16060	1003	17063
Triunfo	8947	7084	16031
Eldorado do Sul	11038	4637	15675
Ivoti	8202	6371	14573
Nova Hartz	7226	1688	8914
Glorinha	579	3613	4192
RMPA	2749020	100878	2849898

Fonte: IBGE, 1996.

Tabela 2.2- RMPA- População urbana, rural e total por município em 1991.

O mapa “RMPA Evolução da Mancha Urbana entre 1975 e 1991” (figura 2.7), foi elaborado conforme bases cartográficas de diferentes datas e com diferentes critérios de definição da mancha urbana. Em função disso não é próprio para um cálculo percentual de crescimento ou para a análise do crescimento de uma área específica, mas permite visualizar a ampliação da área urbana na Região Metropolitana de Porto Alegre nas duas últimas décadas, em termos gerais. A grande mancha de urbanização recente, que aparece a oeste do mapa constitui o Guaíba Country Club - um conjunto de empreendimentos imobiliários para sítios de lazer, portanto, apesar de já se configurar um núcleo urbano na área, não apresenta grande densidade de edificações.

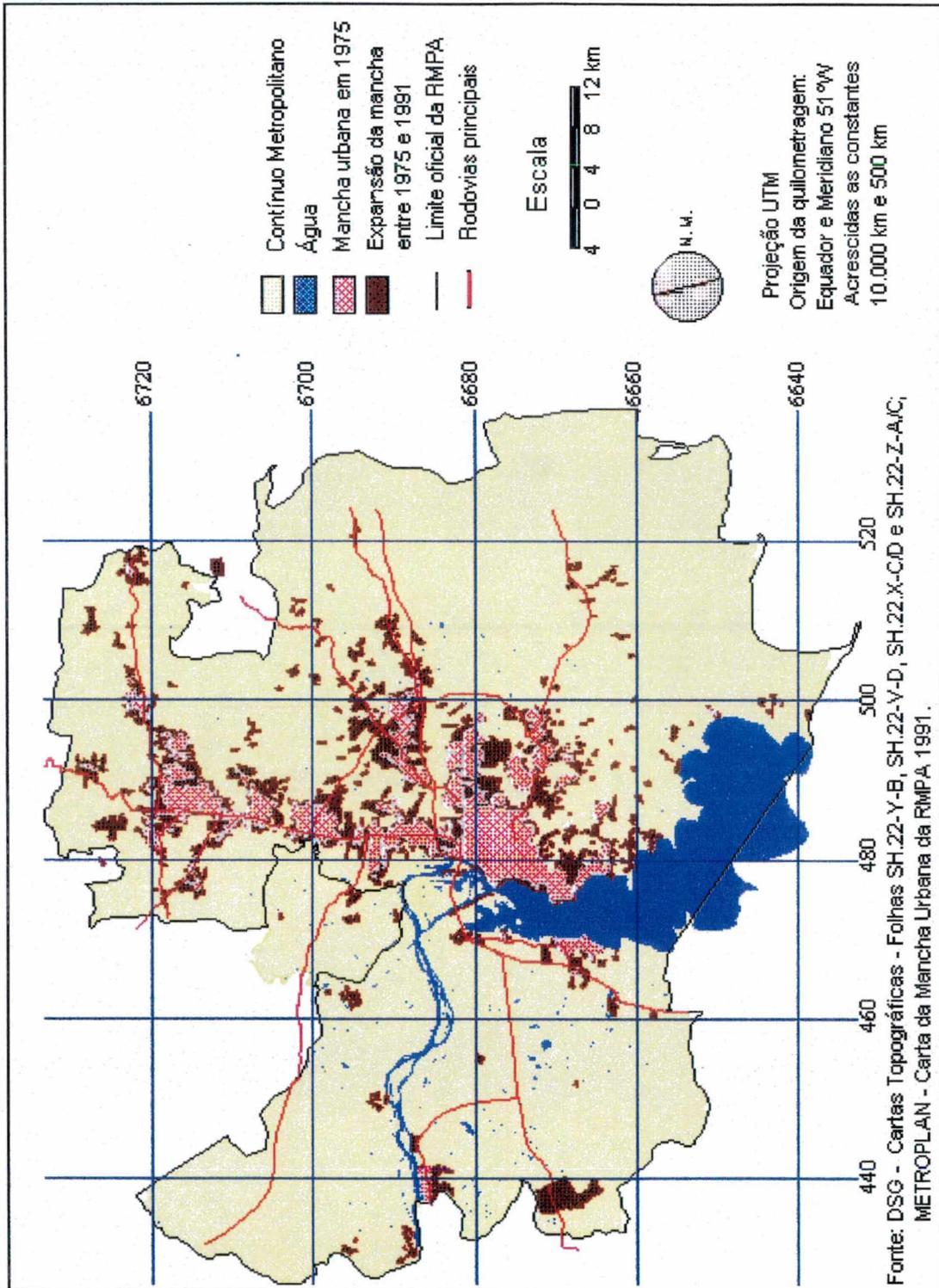


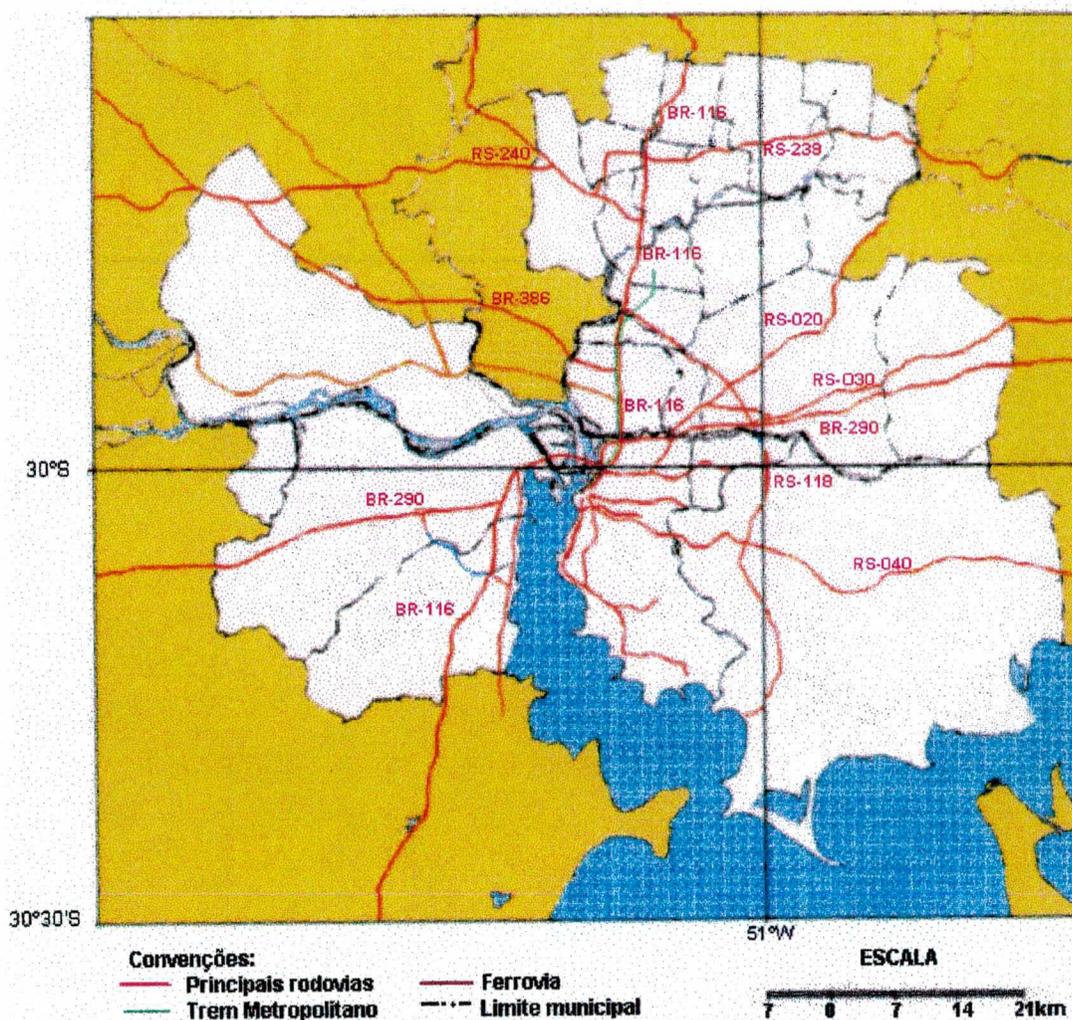
Figura 2.7- RMPA - Evolução da mancha urbana de 1975 a 1991.

Em Porto Alegre a mancha cresce horizontalmente, principalmente para sul, até porque as demais áreas já estão quase totalmente ocupadas. Os espaços livres que existiam em 1975, entre Alvorada, Porto Alegre e Viamão, diminuíram consideravelmente em 1991 e nota-se a tendência de formação de uma única mancha urbana obstaculizada, em parte, pela presença do morro Santana. Também é considerável a expansão urbana a partir do contínuo urbano Cachoeirinha - Gravataí, com tentáculos principalmente ao longo das rodovias. Os demais núcleos urbanos só não se expandem horizontalmente, como uma mancha de azeite, em função da presença de áreas que não podem ser ocupadas (Parque, Refinaria, Aeroportos), ou porque as rodovias têm criado eixos preferenciais de crescimento.

As rodovias principais do sistema viário daRMPA (Figura 2.9) que acabaram originando também eixos preferenciais de urbanização, são:

- a) BR-116 – que corta a Região metropolitana na direção Norte-Sul e atravessa os Municípios de Dois Irmãos, Estância Velha, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul, Esteio, Canoas, Porto Alegre, Eldorado do Sul e Guaíba;
- b) BR-290 - rodovia que tem direção Leste-Oeste, atravessando os Municípios de Gravataí, Cachoeirinha, Porto Alegre e Eldorado do Sul;
- c) BR-386 - que tem direção Noroeste-Sudoeste, ingressa na região em Triunfo, indo encontrar-se em Canoas com a BR-116;
- d) RS-020 - que inicia em Porto Alegre, passa por Cachoeirinha e Gravataí e segue em direção à Taquara (já fora da Região);

- e) RS-030 - que inicia em Gravataí, no entroncamento com a RS-020, seguindo por Glorinha em direção ao litoral;
- f) RS-040 – que inicia no limite entre Porto Alegre e Viamão, seguindo para leste, para o litoral;
- g) RS-118 – rodovia com configuração perimetral no interior da região promovendo a ligação entre as BR-116 e BR-290 e as RS-020, RS-030 e RS-040;
- i) RS-239 – que inicia na BR-116, entre Estância Velha e Novo Hamburgo, Campo Bom, Sapiranga, Nova Hartz e Parobé.



Fonte: Metroplan, 1994. Mapa índice da cartografia básica Metropolitana

Figura 2.8- RMPA -Sistema Viário principal.

Todo esse processo de crescimento urbano, efetuado com variados graus de intensidade no tempo e no espaço, em função dos diferentes momentos econômicos e, principalmente políticos, que a RMPA vivenciou, vêm exercendo pressão sobre as componentes do ambiente que compõe a paisagem original desta região.

Pode-se dizer que a atual massa edificada da RMPA tem características de urbanização complexa (multi-nucleada). Há basicamente 4 núcleos de intensa verticalização no centro das cidades de Porto Alegre, Novo Hamburgo, São Leopoldo e Canoas; entremeados de amplas áreas de crescimento horizontal. Inspirado-se nos croquis de (Monteiro, 1990-c, p.88), pode-se expressar a relação topografia – cidades ao longo do eixo da BR-116 entre Novo Hamburgo e Porto Alegre no padrão da Figura 2.8.



Fonte: Monteiro, 1990, p.88. (modificado por Erika Collischonn).

Figura 2.9 - RMPA - Padrão de urbanização do eixo norte-sul.

## 2.3 As características da área rural

O setor agropecuário pertencente à RMPA se caracteriza em termos de produtividade, principalmente, como fornecedor de alimentos (hortícolas, leite e derivados) à grande área urbana. No entanto, não há um cinturão verde do tipo clássico nos arredores da metrópole. As áreas rurais que produzem para o abastecimento imediato das cidades se dispõem de forma descontínua na RMPA.

Em termos de extensão espacial, não são as áreas produtoras de hortifrutigranjeiros, as de maior expressão. O arroz irrigado constitui-se na principal cultura micro-regional, quando se considera o número de hectares plantados; em 1994, segundo o IBGE (1996), foram plantados na RMPA, 42.141 hectares desta cultura (Tabela 2.3). A orizicultura domina os banhados dos baixos rios Jacuí, Sinos, Caí e Gravataí, e quase toda a orla do Guaíba. Em função disso os municípios que se destacam na RMPA, quanto a área plantada são Viamão, Eldorado do Sul, Triunfo, Charqueadas, Guaíba, Gravataí, Porto Alegre e Canoas (correspondendo a 98,4% da área total).

Município	Viamão	Eldorado do Sul	Triunfo	Charqueadas	Guaíba	Gravataí	Porto Alegre	Canoas
Área (hectares)	22.850	6.761	4.200	3.200	1.759	1.500	735	480

Fonte: IBGE, 1996.

**Tabela 2.3- RMPA- Municípios com maior área plantada com arroz em 1994.**

As grandes plantações orizícolas, aproximam-se dos subúrbios industriais e dos conjuntos habitacionais, com eles confinando, sem quaisquer

faixas de transição mais evidentes, que possam ser consideradas como cinturão verde.

O plantio do arroz, na RMPA, ocorre no mês de outubro. Nos meses de novembro, dezembro e janeiro a lavoura é alagada, exigindo uma grande quantidade de água, normalmente oriunda de açudes, ou bombeada de rios. A colheita é realizada no período de Março a Maio.

Outras culturas importantes, porém de menor expressão em termos de área plantada na região, são o milho, o feijão, a mandioca, a laranja, a melancia e o pêssego. (IBGE, 1996).

Para identificar as áreas onde há cobertura vegetal permanente fez-se no processador de imagens de satélite do software IDRISI uma composição colorida falsa cor, criada a partir das imagens dos canais 3 e 4 do sensor TM do satélite Landsat de dezembro de 1997 (Figura 2.10). Nesta imagem, o vermelho destaca as áreas com vegetação e o azul, branco e azul esverdeado, as áreas em solo nu, áreas urbanizadas, e as superfícies cobertas de água. As áreas que se apresentam como manchas vermelhas contínuas são o Delta do Jacuí (1); o Banhado do Rio dos Sinos nos municípios de São Leopoldo, Novo Hamburgo e Portão (2); as áreas íngremes nos morros Porto Alegre (3), Sapucaia, São Leopoldo e Novo Hamburgo o entorno do Polo Petroquímico (4), algumas matas mais dispersas na várzea do rio Gravataí (5); as vertentes da Serra Geral (6).

A silvicultura também é significativa na área. Em função da localização de fábricas de papel e celulose em Guaíba, nos municípios de Guaíba, Eldorado do Sul e Charqueadas, cultiva-se espécies exóticas (eucaliptos, acácias, pinus) para a produção de celulose (manchas vermelhas a sudoeste da Figura 2.10). De outra parte em Triunfo e Portão planta-se mais a acácia negra para a produção de tanino, utilizado no curtimento de couro.

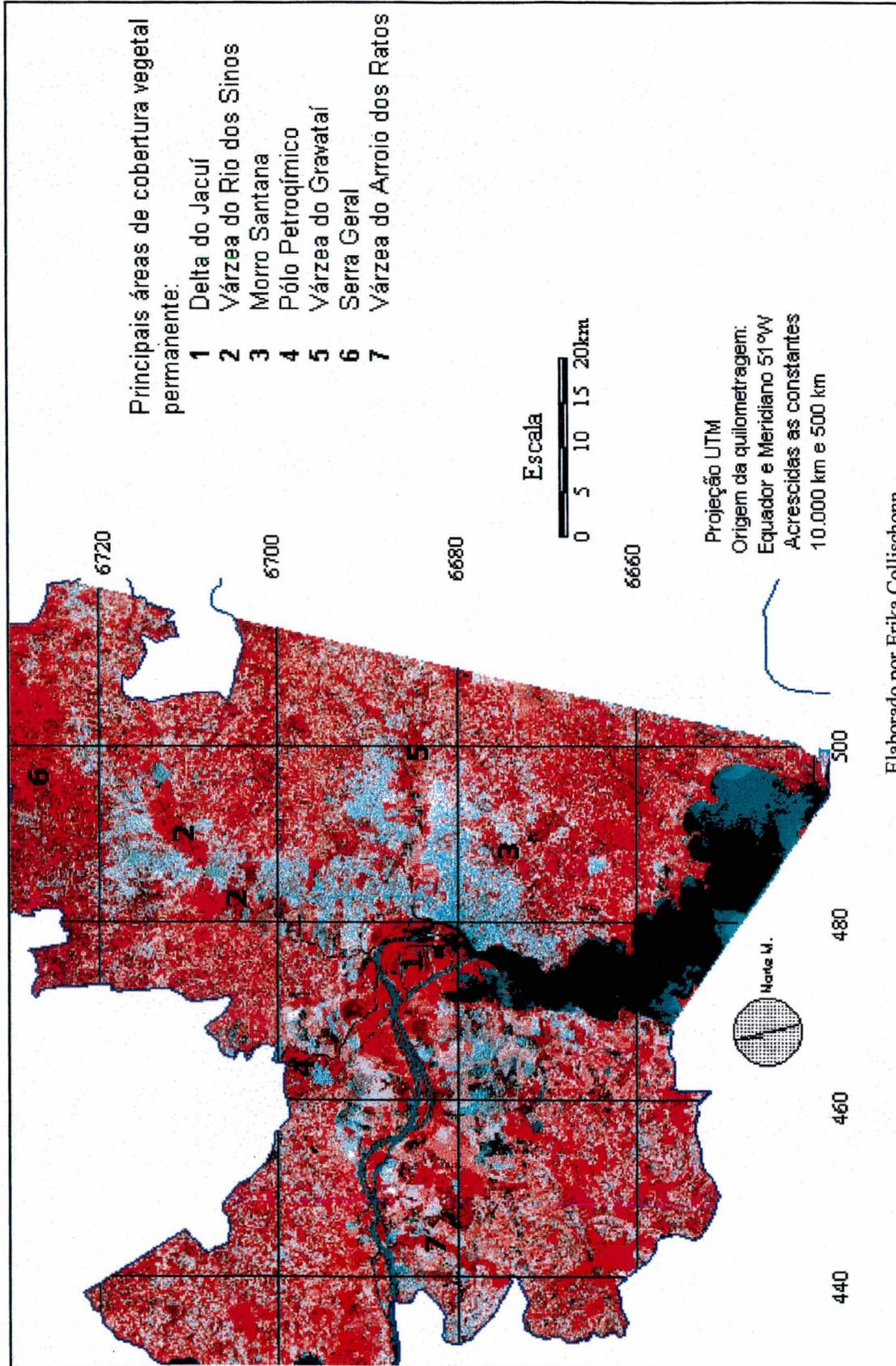


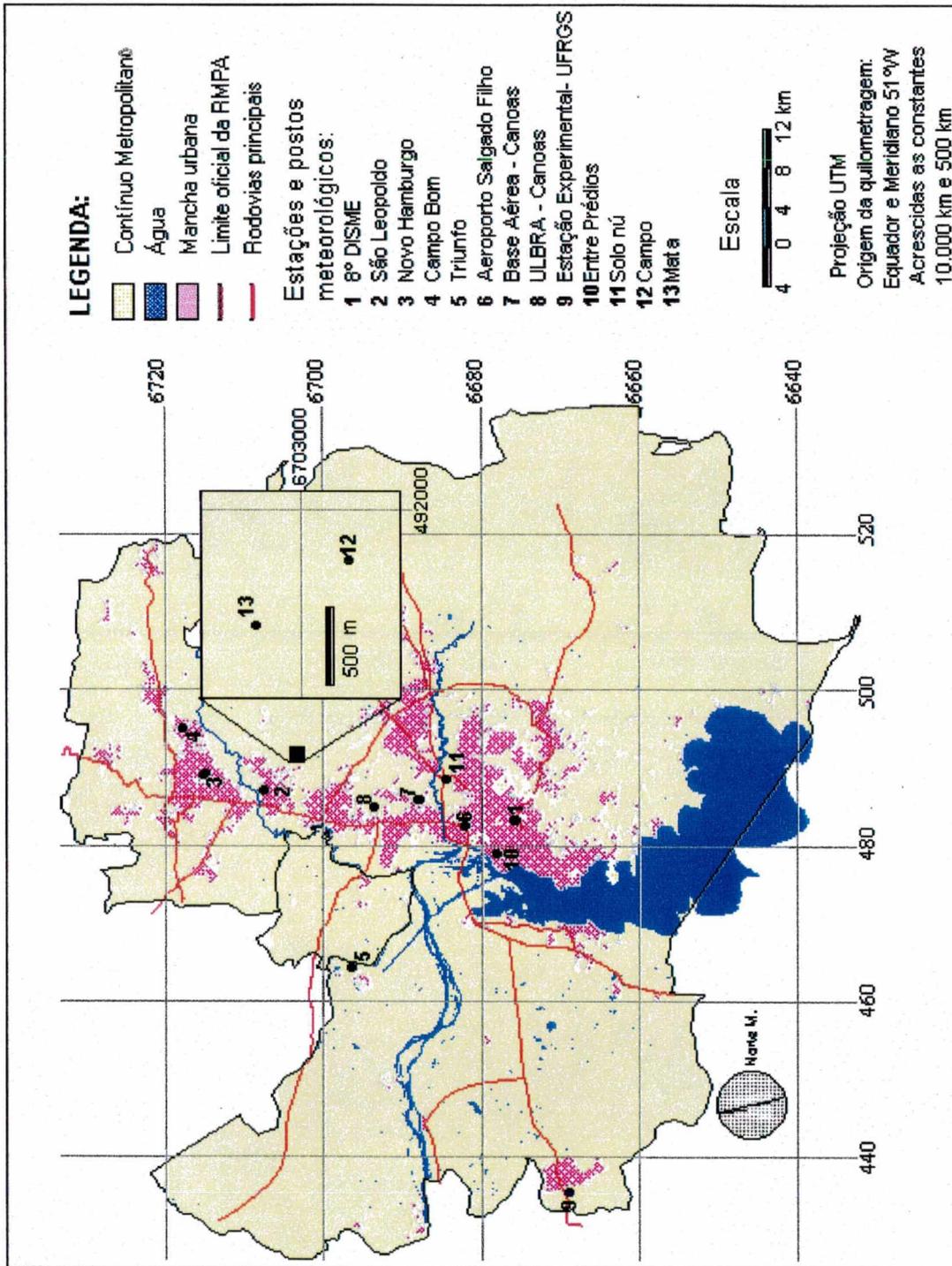
Figura 2.10- RMPA - Composição colorida falsa cor (Bandas 3, 3 e 4) destacando as áreas com cobertura vegetal permanente (vermelho).

## **2.4 Caracterização do entorno das estações fixas e móveis**

Para conhecer a especificidade local de cada estação meteorológica da RMPA (Figura 2.11), e daí levantar os controles mais importantes das temperaturas na área, realizou-se um levantamento do uso/ ocupação do solo em torno de cada estação. As características do entorno (sítio, cobertura vegetal, superfície com edificações, corpos d'água) foram obtidas de duas maneiras : visita ao local com registro fotográfico e levantamento do ângulo de obstrução do horizonte local e ou através de fotografias aéreas.

### **2.4.1 Estações climatológicas principais**

Considerou-se como rede principal neste trabalho as estações da rede do INMET (8°Dime em Porto Alegre, Novo Hamburgo, Triunfo e Campo Bom) e a estação Meteorológica de São Leopoldo, mantida pela prefeitura municipal daquela cidade (Fotos 2.1, 2.2, 2.3.). Todas elas foram caracterizadas através de diagramas com o ângulo de obstrução do horizonte local. Trata-se de diagramas solares estereográficos construídos para a latitude de 30°S sobre os quais foi traçada a projeção do horizonte local em função da altura e distância das obstruções em torno do ponto.



Elaborado a partir da base cartográfica e da localização das coordenadas UTM das estações (por Erika Collischonn)

Figura 2.11- RMPA - Localização das estações meteorológicas e postos temporários.

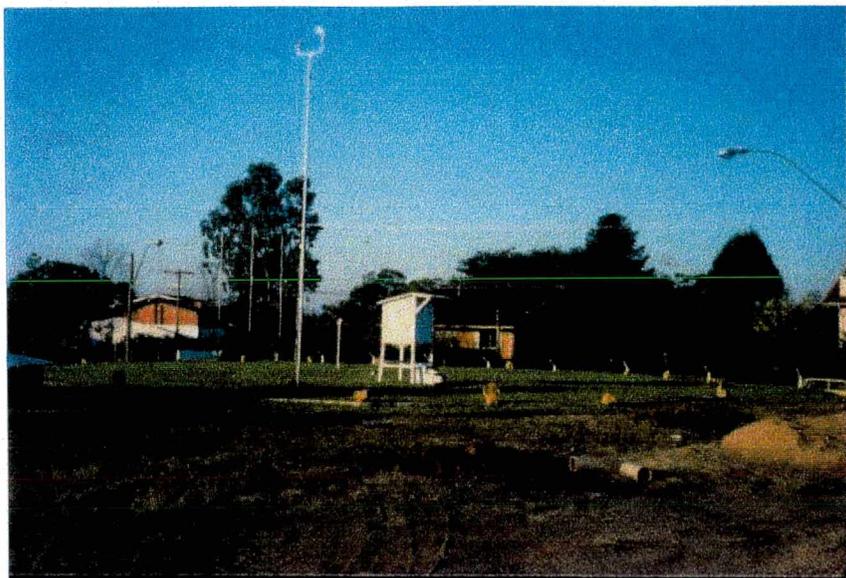


Foto de Erika Collischonn

Foto 2.1- Estação Meteorológica de São Leopoldo

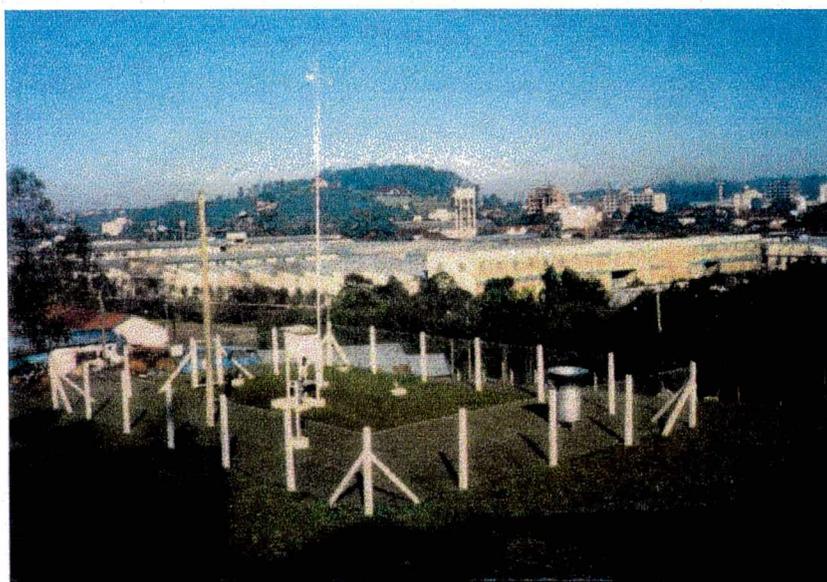


Foto de Erika Collischonn

Foto 2.2- Estação Meteorológica de Campo Bom (INMET)



Foto de Erika Collischonn

Foto 2. 3 – Estação Meteorológica da COPESUL (INMET)

Segundo Hasenack (1995, p.8-9):

*“O ângulo de obstrução não representa só as características físicas dos objetos presentes em torno da estação meteorológica, mas também a interferência destes sobre a radiação recebida. A maior obstrução do horizonte, além disso, reduz a velocidade com que a energia armazenada na superfície do solo e nas edificações é devolvida por irradiação à atmosfera. Em consequência, a liberação da energia destes locais se dá por um período mais longo.”*

Para verificar o grau de obstrução do horizonte local, tomou-se como centro o abrigo de cada estação meteorológica, onde se encontram os

termômetros, e observou-se em um intervalo de 10° de azimute, com o auxílio da bússola e de um clinômetro, o ângulo de obstrução do horizonte local que a vegetação e ou as edificações produziam. Posteriormente, estes dados foram plotados sobre um diagrama polar estereográfico construído para a latitude de 30° S. Neste diagrama se traçou a projeção do horizonte local em função da altura e distância das obstruções em torno do ponto. A indicação de horas (tempo local) para o curso do sol nos solstícios e equinócios dá uma idéia dos períodos em que cada abrigo fica à sombra nas diversas estações meteorológicas, além de permitir uma rápida comparação entre elas. Para a estação do 8° Distrito de Meteorologia (DISME) utilizou-se o diagrama elaborado por Hasenack (1994, p.7).

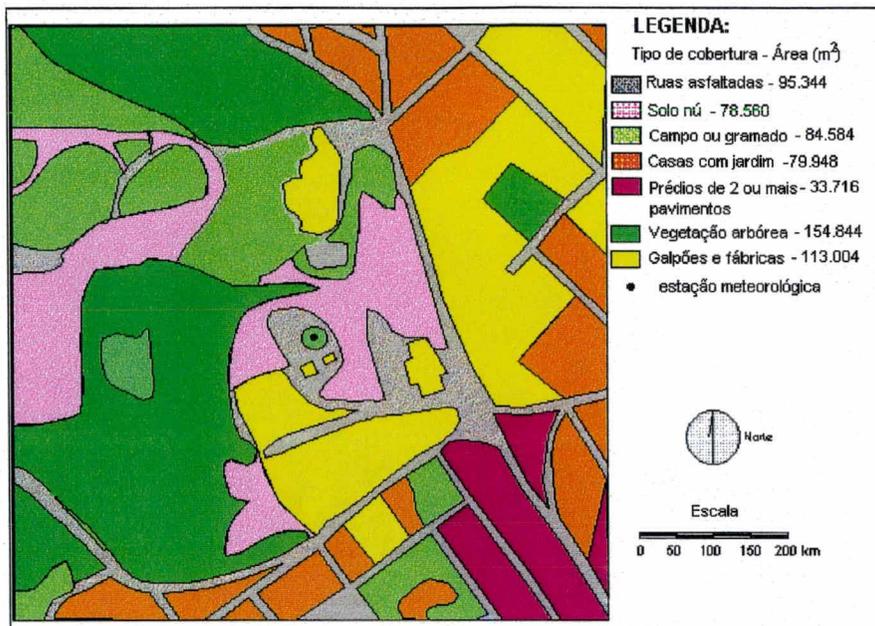
Além do grau de obstrução do horizonte que afeta basicamente a quantidade de radiação direta que chega ao abrigo, foi considerado o padrão de uso do solo do entorno da estação, com base em fotos aéreas na escala 1:8.000, calculando-se a porcentagem de área correspondente aos diversos tipos de cobertura existentes num raio de 800m em torno da estação. Como só foi possível obter fotografias nesta escala para algumas estações, em área urbana, não foram elaboradas plantas de uso do solo do entorno das estações de Campo Bom, Triunfo e Eldorado. Procurou-se então caracterizá-lo a partir de fotografias tiradas durante as visitas a campo.

A estação meteorológica de Novo Hamburgo está localizada junto a garagem de máquinas da Prefeitura Municipal de Novo Hamburgo; a cerca de 200m da estação há uma usina de produção de asfalto. A cercania mais próxima da estação é pobre em vegetação, sendo que aí predominam o asfalto, o solo nu e os galpões. Na área compreendida numa área de 800m x 800m tendo a estação como centro (Figura 2.12), predominam: vegetação arbórea a oeste e noroeste da estação, e pavilhões de fábricas e garagens a leste e sul da mesma. A estação tem um horizonte praticamente livre de obstrução, pois está localizada sobre uma elevação especialmente aterrada para locar o abrigo e os demais instrumentos (Figura 2.13 ).

A estação meteorológica do morro do Espelho, em São Leopoldo, já está localizada num bairro jardim (Figura 2.14). A norte e oeste da estação se encontra uma área, pertencente a Igreja Evangélica de Confissão Luterana do Brasil, que é intensamente arborizada e, no interior da qual, se encontram alguns prédios isolados. Ao leste da estação a ocupação já é mais intensiva, porém também com muito verde. A obstrução do horizonte é praticamente uniforme em todas as direções (Figura 2.15).

A estação do 8º DISME se encontra junto ao Jardim Botânico de Porto Alegre. Este, juntamente com os demais prédios do próprio Instituto Nacional de Meteorologia e do Clube Farrapos, a norte e leste e o Hospital da PUCRS a sul, constituem o entorno mais próximo da estação (Figura 2.16). Apesar de se perceber obstrução no horizonte de todo o entorno da estação, esta obstrução só é significativa em termos de altura da obstrução a oeste (Figura 2.17). Aí a vegetação chega a obstruir com um ângulo de 20°, desta forma, na primavera a partir das 17 horas, o solo deverá aparecer em parte obscurecido pelas árvores.

A estação meteorológica de Campo Bom não se enquadra perfeitamente dentro das condições definidas para uma estação meteorológica principal (Tubelis e Nascimento, Op. Cit), pois tem o nascente obstruído não só por vegetação, mas também por um morro (Figura 2.18). Desta forma, somente nos dias próximos ao solstício de verão a insolação se inicia às 7 horas da manhã, no resto do ano se inicia após as 8 horas. À tarde, a vertente deste morro, voltada para oeste, acaba recebendo a radiação solar como se estivesse numa latitude mais baixa, o que pode influenciar na medida de temperatura do abrigo. A estação meteorológica, da mesma forma como em Novo Hamburgo, está localizada na garagem da Secretaria de Obras de Campo Bom. A área a oeste e norte da estação é ocupada por extensos pavilhões industriais, mas no entorno mais próximo da estação ainda há áreas verdes.



Fonte: Fotointerpretação de Fotografias Aéreas 1:8.000. Elaborado por Erika Collischonn.

Figura 2.12- Uso do Solo no entorno da estação meteorológica de Novo Hamburgo.

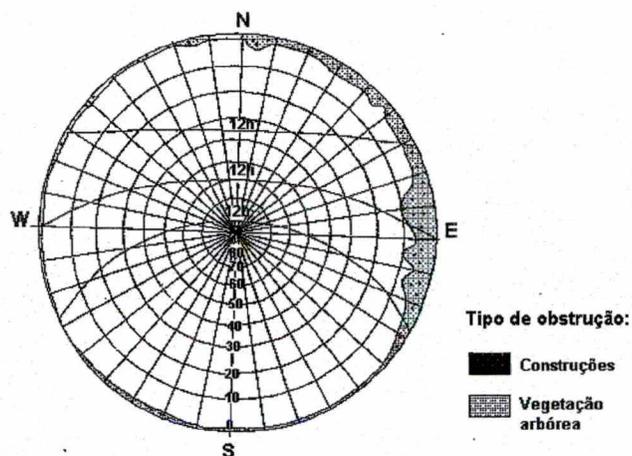
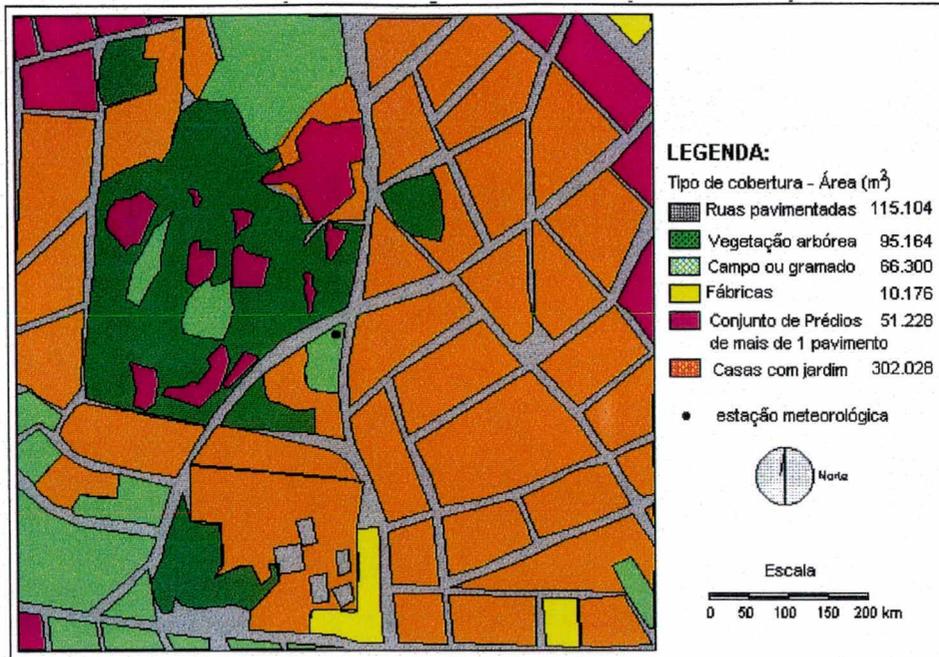
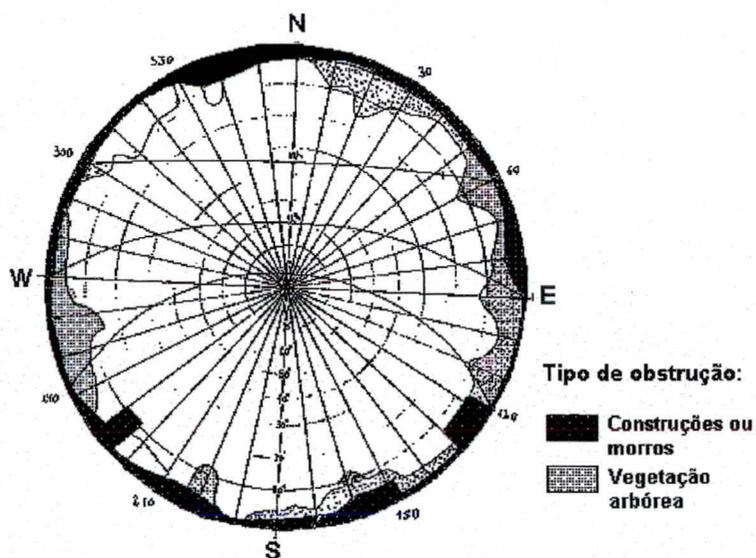


Figura 2.13 - Diagrama solar com a obstrução do horizonte solar para a estação meteorológica de Novo Hamburgo.



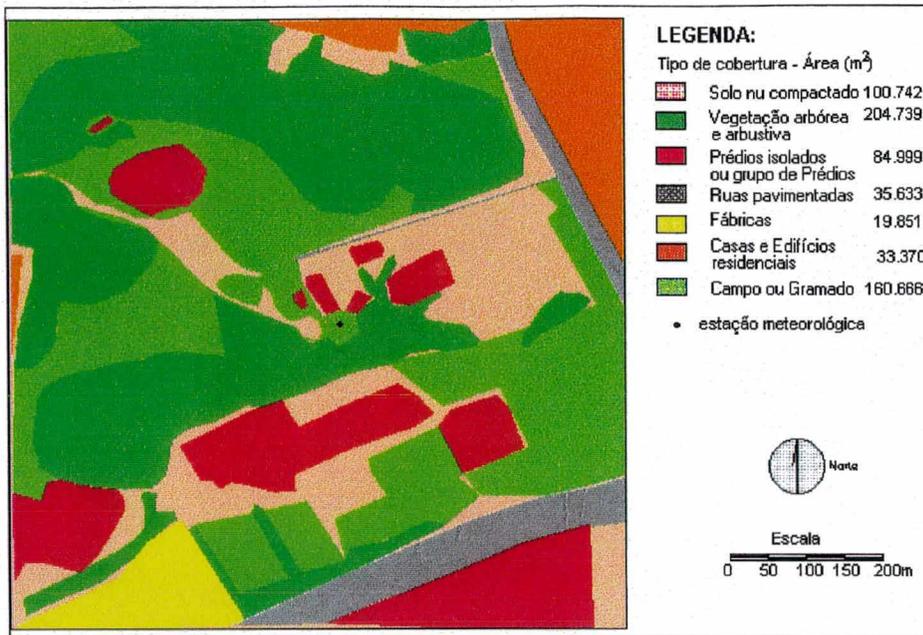
Fonte: Fotointerpretação de Fotografias Aéreas 1:8.000. Elaborado por Erika Collischonn.

Figura 2.14- - Uso do Solo no entorno da estação meteorológica de São Leopoldo.



Elaborado por Erika Collischonn.

Figura 2.15- Diagrama solar com obstrução do horizonte local para a estação Sinodal em São Leopoldo.



Fonte: Fotointerpretação de Fotografias Aéreas 1:8.000. Elaborado por Erika Collischonn.

2.16- Uso do Solo no entorno da estação meteorológica do 8º Distrito de Meteorologia em Porto Alegre.

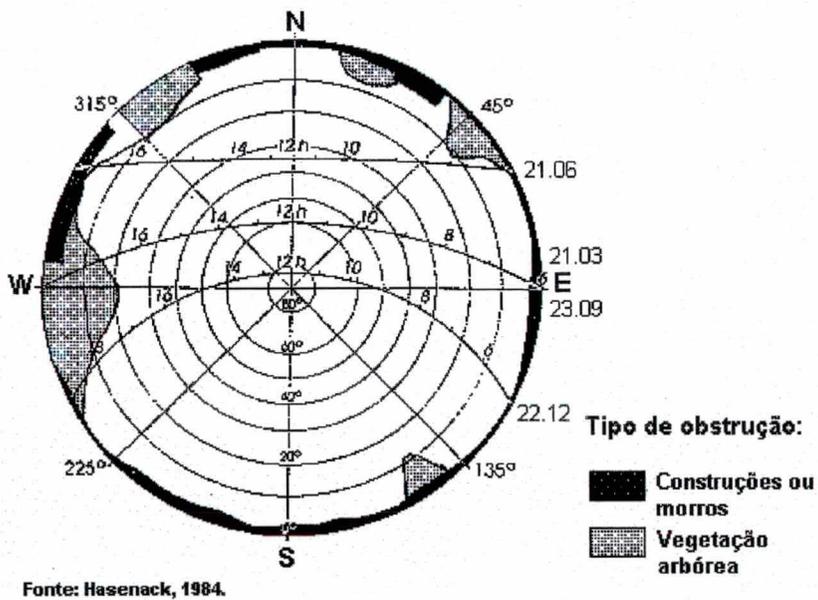


Figura 2.17- Diagrama Solar com a obstrução do horizonte local para a estação meteorológica do 8º Distrito de Meteorologia em Porto Alegre.

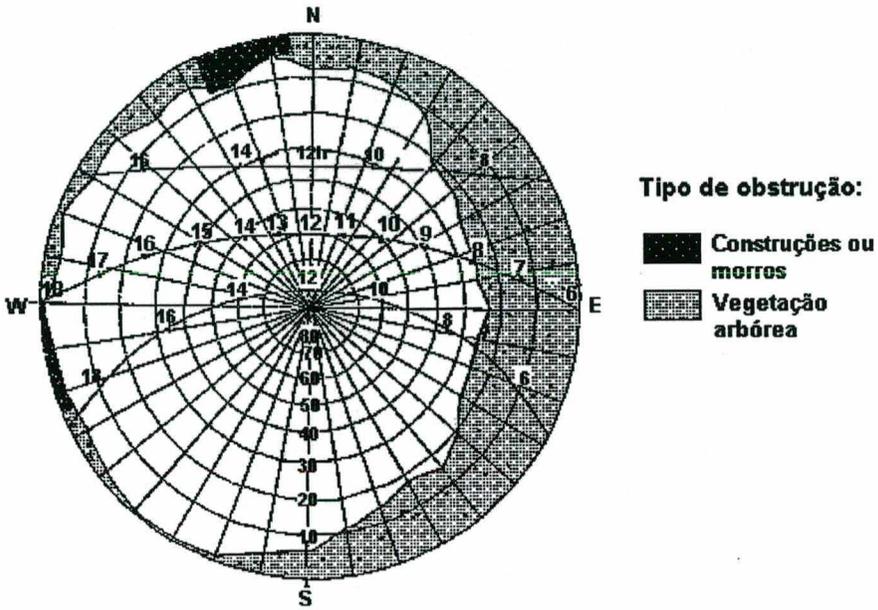


Figura 2.18- Diagrama Solar com a obstrução do horizonte local para a estação meteorológica de Campo Bom.

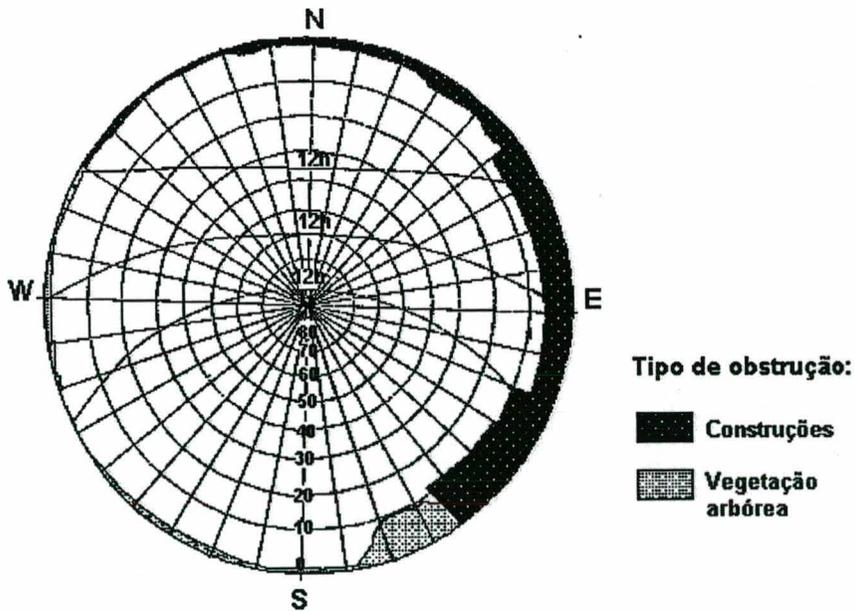


Figura 2.19- Diagrama Solar com a obstrução do horizonte local para a estação meteorológica de Triunfo.

A estação meteorológica de Triunfo está localizada na área administrativa da empresa COPESUL, junto ao Pólo Petroquímico de Triunfo. Está no meio de uma área ajardinada e aberta. A maior obstrução do horizonte é um prédio construído sobre uma pequena elevação a sudeste. (Figura 2.19 ). A nordeste, norte e noroeste da estação, distando desta cerca de 200m, está a área industrial propriamente dita.

#### 2.4.2 Estações de apoio

Considerou-se as estações do Aeroporto Salgado Filho em Porto Alegre, da Base Aérea de Canoas, da ULBRA em Canoas e da Estação Experimental da UFRGS como estações climatológicas de apoio porque foram utilizadas somente em algum levantamento temporário.

A estação meteorológica da ULBRA fica em área com processo de urbanização de menos de 10 anos (Figura 2.20). Na fotografia aérea de 1990, utilizada para fazer o mapeamento do entorno da estação, percebe-se ainda as marcas deixadas pelo cultivo de arroz. Não foi verificada a obstrução do horizonte local, no entanto, através do mapa de uso do solo, nota-se que em 1990 ainda predominava o campo no entorno da estação. Hoje, o número de prédios próximos à estação é maior e a grande faixa de campo que aparece na Figura 2.20 a norte da estação já diminuiu consideravelmente em função do processo de urbanização.

A estação meteorológica da Base Aérea de Canoas está localizada próxima a pista de pouso e a cerca de 20m de um prédio de dois andares (Figura 2.21). O tipo de cobertura que predomina no entorno é o gramado, no entanto, há que se considerar também, as grandes superfícies cobertas de asfalto.

A estação Aeroporto tem condições semelhantes à Base Aérea, mas o entorno do Aeroporto Salgado Filho é mais intensamente ocupado (Figura 2.22). A área livre de ocupação se encontra a leste, a sul, e oeste predominam os depósitos industriais e comerciais e os hangares, a noroeste e norte a BR-116, os trilhos e depósitos dos trens metropolitano e de cargas.

A estação meteorológica automática da UFRGS, localiza-se em Eldorado do Sul, na Estação Experimental da Faculdade de Agronomia.

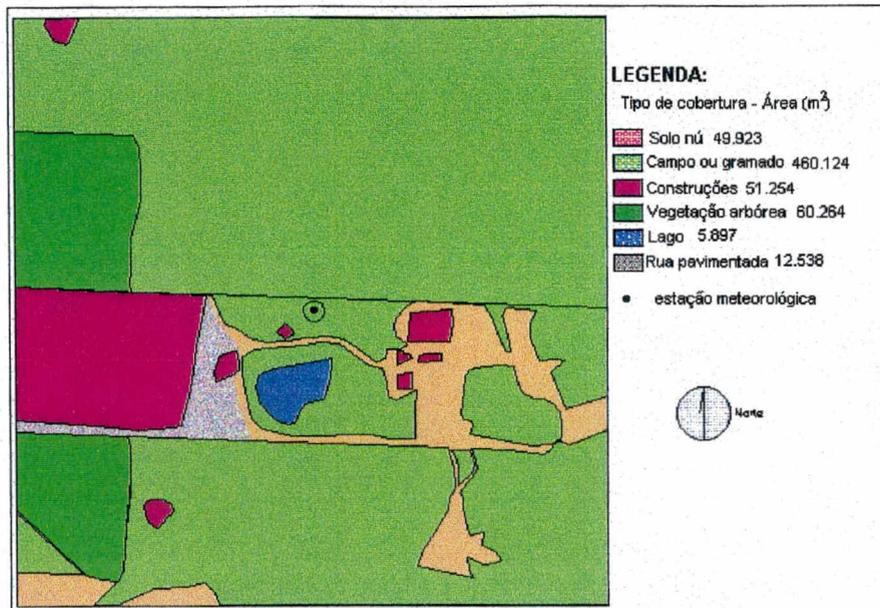


Figura 2.20 - Uso do Solo no entorno da estação agroclimática da ULBRA, Canoas

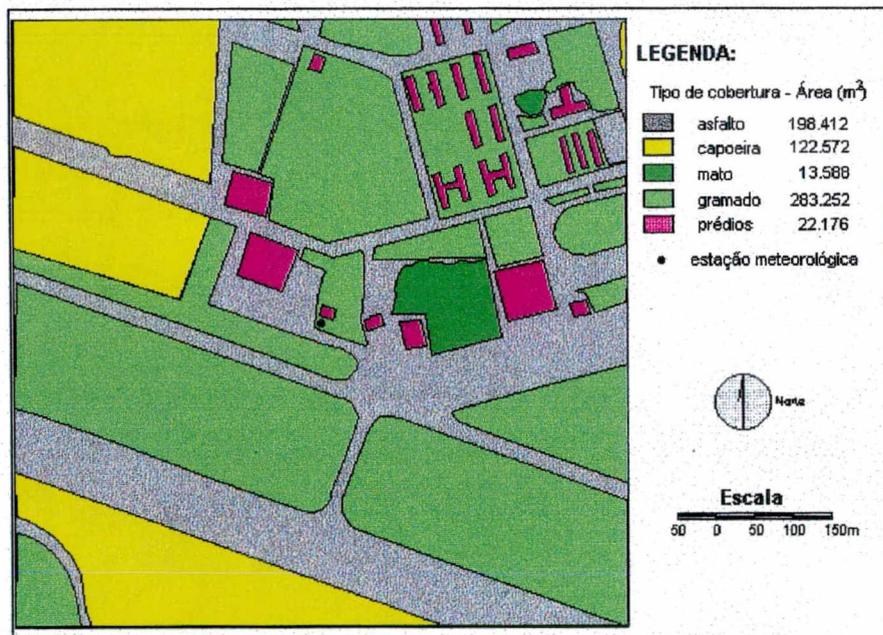


Figura 2.21- Uso do Solo no entorno da estação meteorológica da Base Aérea, Canoas.

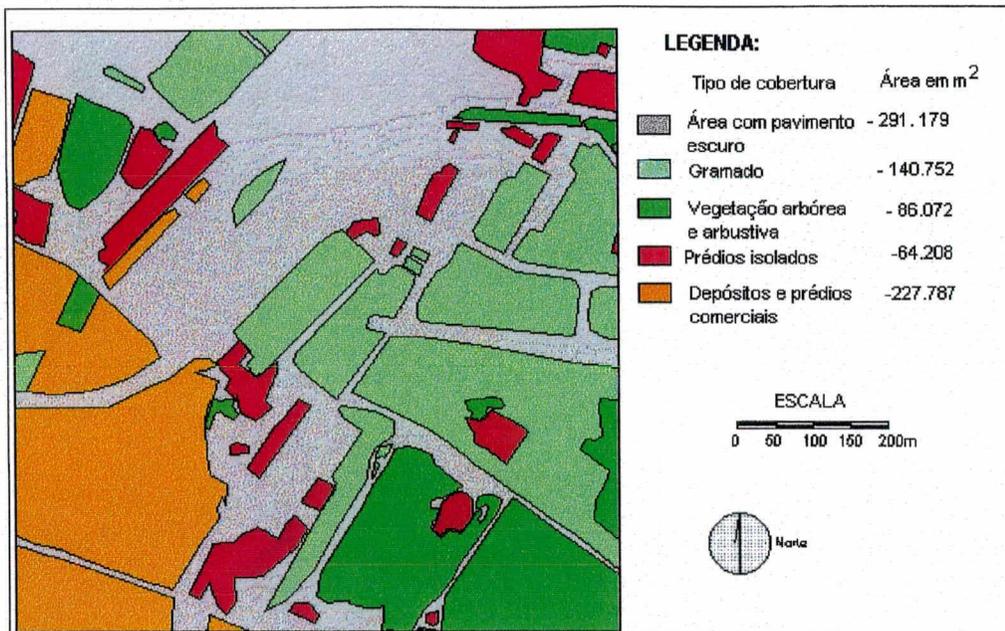


Figura 2.22- Uso do Solo no entorno da estação meteorológica do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre.

### 2.4.3 Postos de mensuração temporários

As áreas escolhidas como local para as mensurações temporárias, foram escolhidas por apresentarem um só tipo de uso do solo. Como se vê nas fotografias (fotos 2.4 e 2.5) os abrigos na área de pastagem e solo nu não apresentavam grau de obstrução do horizonte que merecesse ser representado. O posto na mata (foto 2.6), obviamente, apresentava todo o horizonte obstruído por vegetação. A estação Entre Prédios (foto 2.7) além do horizonte obstruído, apresentava como diferencial o substrato de cimento.

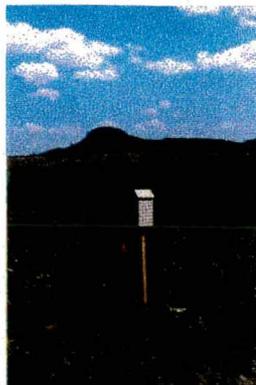


Foto 2.4- Área de Pastagem – Vista do Morro Sapucaia ao fundo.



Foto 2.5- Área aterrada (Solo nu) – Porto Alegre



Foto 2.6 – Abrigo na Mata  
Morro do Paula – São Leopoldo



Foto 2.7- Postô Entre Prédios -  
Condomínio Castor Farroupilha,  
Bairro Bonfim – Porto Alegre.

### **3 RMPA: O AMBIENTE ATMOSFÉRICO E A FORMAÇÃO DO CLIMA LOCAL**

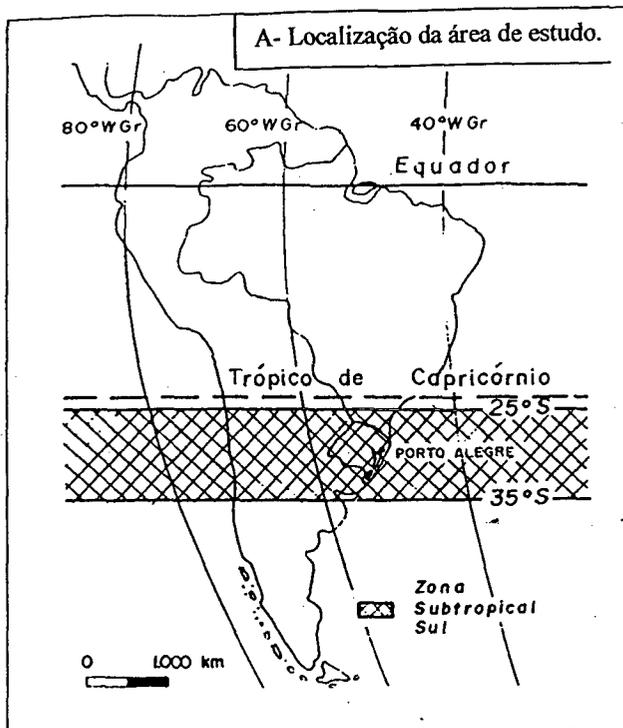
Para caracterizar o clima da RMPA, em suas variações na escala espaço-tempo, procurou-se desenvolver a análise a partir de uma visão geral para o particular. A caracterização inicial do clima da RMPA - à escala regional e local - baseia-se nos dados, disponíveis de forma ampla e sintética, que servem como o pano de fundo indispensável ao entendimento das variações ocorridas quando dos levantamentos temporários.

Os levantamentos, constatados através da pesquisa de campo e pela imagem termal, refletem, portanto, variações do clima local nos diferentes ambientes da área metropolitana, sob determinadas condições de tempo.

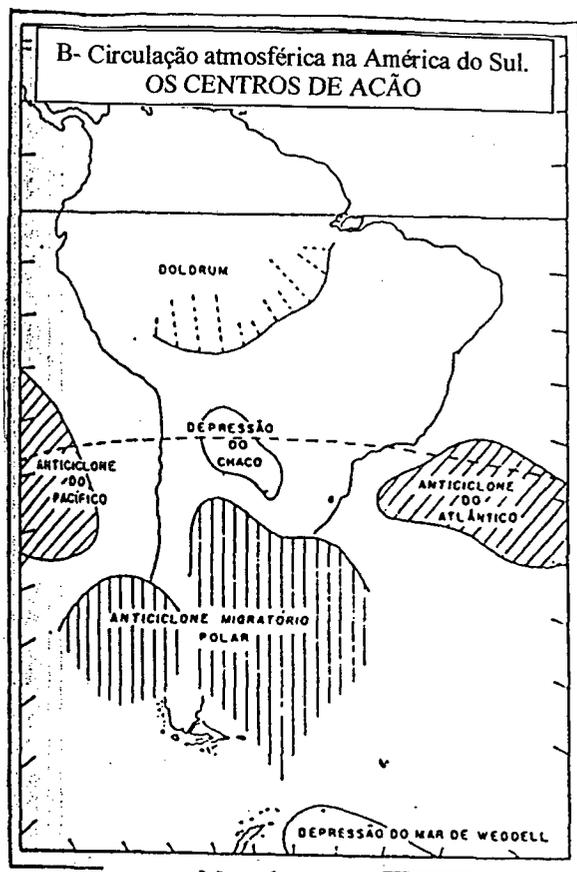
O capítulo se subdivide da seguinte forma: na primeira seção apresentamos o clima da RMPA no enquadramento da Zona Subtropical Sul; na segunda, detalhamos a metodologia empregada nos experimentos de campo e apresentamos seus resultados; na seção 3 apresentamos a metodologia de análise das imagens de satélite utilizada e os resultados obtidos.

#### **3.1 A inserção do clima local no âmbito regional**

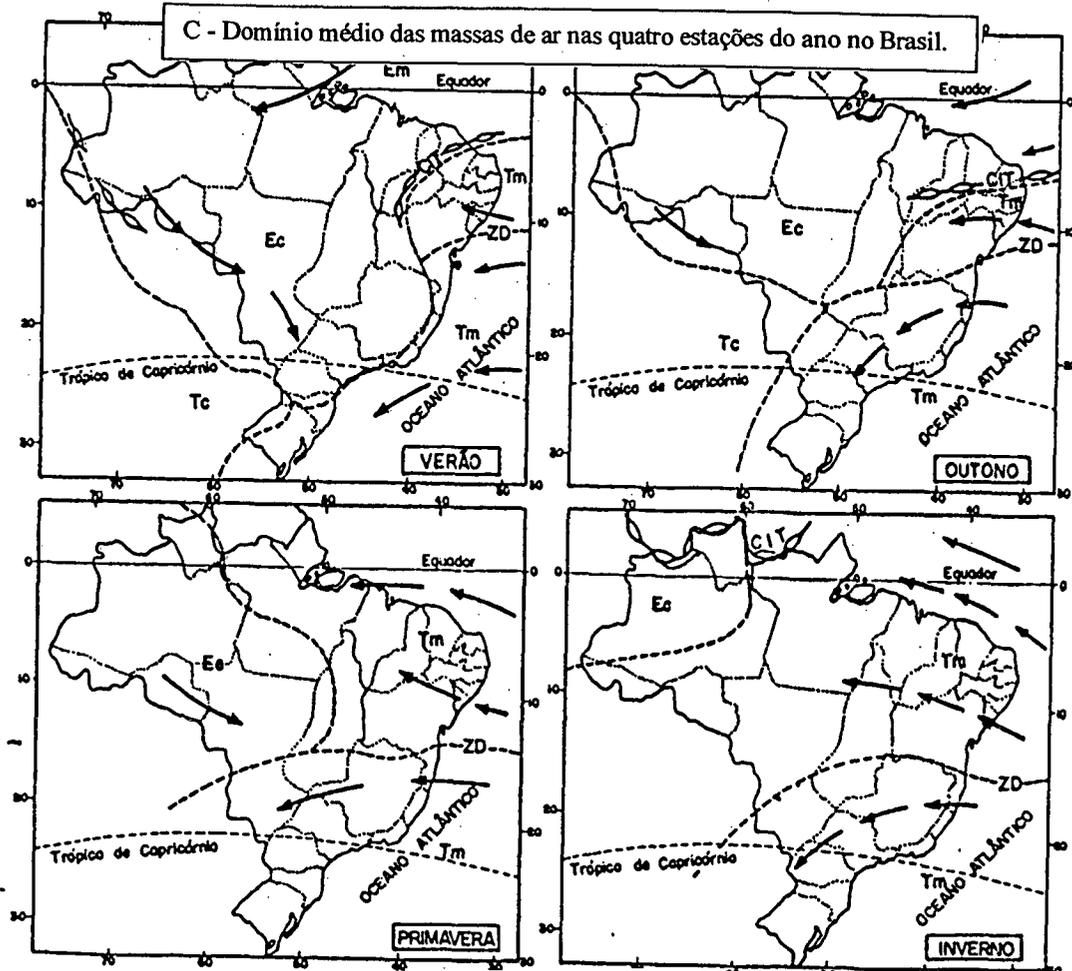
A Região Metropolitana de Porto Alegre ocupa uma área limitada pelos paralelos 29°30'S e 30°30'S, e meridianos 50°40'W e 51°45'W, estando, portanto, totalmente inserida na Zona Subtropical Sul, definida por Strahler (1984), como sendo a zona entre 25° e 30° S (Figura 3.1-A).



Fonte: Hasenack, 1994.



Fonte: Monteiro, 1969.



Fonte: Tubelis, 1992.

Figura 3.1- RMPA - Fatores macroclimáticos.

Os centros de ação que influenciam o clima regional (Figura 3.1-B) são o Anticiclone do Atlântico Sul, o Ciclone Migratório Subantártico, o Anticiclone Polar, a Baixa do Chaco e o Doldrum (Convergência Intertropical).

No verão, a Convergência Intertropical (CIT) migra para sul como resultado do crescente aquecimento das áreas continentais e oceânicas no hemisfério sul. Quando este cinturão de baixas pressões migra para sul ele traz instabilidade atmosférica também para a Região Sul do Brasil. Tempestades convectivas, resultantes do aquecimento e ascensão de ar tropical marítimo instável são comuns nesta estação.

No inverno, por outro lado, quando a CIT se retraiu para o norte, é o Anticiclone do Atlântico Sul que influencia os tipos de tempo. Neste período, ventos do quadrante leste trazem tempo relativamente estável. Porém a área em que se situa a RMPA é constantemente afetada pelos sistemas de mau tempo próprios da zona de ventos de oeste das latitudes médias. O ar polar marítimo, frio e relativamente instável, flui para nordeste trazendo frio e tempo chuvoso e algumas vezes tormentoso para a região.

A baixa do Chaco centrada no interior continental é basicamente uma baixa térmica induzida por uma alta pressão na atmosfera superior. Este centro de baixa pressão não tem uma influência tão marcada no padrão dos tipos de tempo no Rio Grande do Sul, embora, durante o verão, a sua presença incremente o fluxo de ar marítimo tropical para o interior do continente aumentando, desta forma, as precipitações. No inverno, a Baixa do Chaco não exerce nenhuma influência regional, uma vez que o sistema se dissipa ou se move mais para norte.

Em função desta dinâmica atmosférica, também as massas de ar atuantes apresentam alternância sazonal (Figura 3.1-C). Durante a maior parte do ano, principalmente na primavera e no verão, a área recebe incursões da massa tropical marítima, que é quente, úmida e instável. Gerada na borda ocidental do Anticiclone do Atlântico Sul, é responsável pelas altas temperaturas

associadas a elevados teores de umidade, favorecendo a ocorrência de dias quentes e muito úmidos nos meses de janeiro e fevereiro. As características higrométricas desta massa de ar são responsáveis pela presença de névoa úmida e pelas intensas e passageiras chuvas convectivas, típicas das tardes de verão. No outono e no inverno, a penetração da massa polar marítima, gerada sobre a ampla superfície oceânica que circunda o sul do continente, é mais freqüente. Apresenta-se sob a forma de anticiclones migratórios precedidos pela descontinuidade da frente polar, determinando as abundantes precipitações hibernais. Após a passagem da frente, ocorrem temperaturas extremamente baixas com tempo relativamente estável (Ferraro & Hasenack, 1995). Eventualmente, nos meses de verão, podem ocorrer penetrações da massa tropical continental, que é quente e seca, sendo responsável pelas altas temperaturas com baixa umidade (Rocha, 1977).

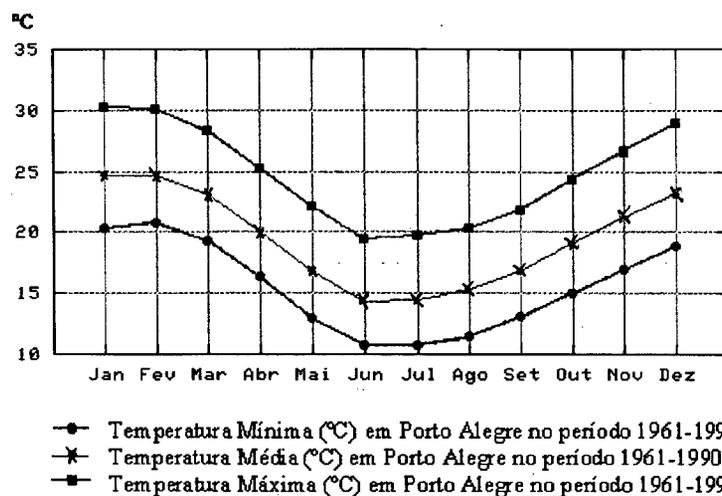
No inverno se sucedem, em questão de poucos dias, situações de tempo variadas em função da alternância das massas de ar atuantes. O tempo estável, sob o domínio da massa tropical marítima, vai se instabilizando com o aumento da temperatura. A passagem de frente fria provoca chuvas pesadas, que, depois, são sucedidas por chuvas finas e intermitentes. Após a passagem da frente, com o declínio da temperatura e o domínio da massa polar marítima, o tempo volta a estabilizar-se. Esta situação permanece por alguns dias quando, com o enfraquecimento do anticiclone polar, retorna o anticiclone subtropical e recomeça o ciclo novamente (Ferraro & Hasenack, 1995).

A posição em latitude subtropical, a localização na porção oriental do continente e próxima ao litoral e as massas de ar atuantes, definem as médias climatológicas calculadas para a estação meteorológica principal do INMET, localizada em Porto Alegre (Figura 3.2) A temperatura média oscila entre 14.5°C e 20°C para o mês mais frio e mantém-se superior a 22°C no mês mais quente. Ao contrário do Brasil Tropical, as amplitudes sazonais de temperatura são mais pronunciadas. Outro aspecto térmico marcante para a área, mas que não se verifica no gráfico das normais climatológicas, são as mudanças repentinas de temperatura na região.

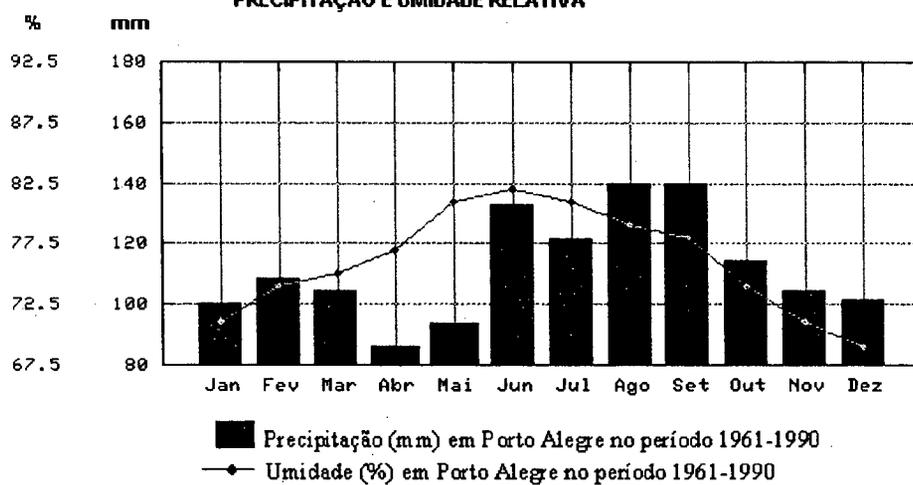
As normais pluviométricas não mostram uma variação sazonal marcada, embora se perceba totais médios ligeiramente maiores nos meses de junho, julho, agosto e setembro, enquanto os meses de abril e maio registram totais médios mais baixos. A umidade relativa do ar é alta durante o ano todo, ficando a média mensal entre 68%, em dezembro e 82%, em junho.

Na RMPA, para a estação do Aeroporto, os ventos predominantes são de Este –Sudeste, oriundos do Anticiclone Semi-fixo do Atlântico Sul, sendo, portanto, termo-regulados pela temperatura da superfície do Oceano (Lima, s.d.). No inverno predominam ventos de W, ligados às diferentes trajetórias nas massas polares conforme veremos adiante. A intensidade dos ventos apresenta-se, em média, praticamente constante o ano inteiro, com ligeiro aumento no período compreendido entre setembro e dezembro, em função do regime isobárico de transição da primavera.

## TEMPERATURA DO AR



## PRECIPITAÇÃO E UMIDADE RELATIVA



Fonte: [www.inmet.gov.br/frameset.htm](http://www.inmet.gov.br/frameset.htm)

Figura 3.2- Normais climatológicas de temperatura (máxima, média e mínima), umidade relativa do ar e precipitação para Porto Alegre. (Estação 8º Distrito de Meteorologia- INMET).

## **3.2 Os experimentos de campo**

Esta etapa do trabalho teve como objetivo específico uma experimentação no campo térmico considerando as diferenças produzidas dinamicamente no ar pelo ambiente metropolitano. Ela se organiza da seguinte forma: primeiro se define as técnicas e o instrumental utilizado bem como as características dos locais da coleta de dados, em seguida referencia-se os experimentos a observação meteorológica padrão e às condições de tempo reinantes, e, a esta subseção, seguem-se a exposição dos levantamentos realizados e a análise dos mesmos. Os levantamentos de campo se realizaram nos dias 7 e 15 de março de 1997.

### **3.2.1 Condicionantes do experimento**

O encaminhamento dos experimentos de campo foi condicionado, principalmente, pela disponibilidade de equipamentos e de recursos humanos, tendo também sido observados aspectos ligados às características do sítio, aos padrões de uso do solo, e às condições meteorológicas.

Conforme descrito em detalhe no capítulo 1, foram usados 8 termômetros da marca INCOTERM (precisão de 0.2°C), acoplados em pares higrométricos, em quatro abrigos, construídos em folhas duplas de madeira compensada com furos desencontrados para isolar e ventilar suficientemente o par de termômetros (um deles envolvido num cadarço em comunicação com um pequeno vasilhame de água). O abrigo, suspenso a 1.5 metros do solo, foi

fixado a uma haste de madeira com a base em cruz. Nos abrigos também foi fixada uma fita vermelha que, depois de orientado o abrigo permitiu a indicação da procedência do vento. Os abrigos foram pintados de branco para aumentar a reflexão e atenuar a absorção de calor; para garantir medidas das características do local de coleta, os abrigos foram instalados sempre 10 minutos antes da hora de leitura.

Os locais para coleta de dados foram selecionados considerando-se tipos de uso e cobertura do solo significativos dentro da área de estudo: mata (Foto 2.6), pastagem (Foto 2.4), área urbana mista: residencial + industrial (Foto 2.2), Pólo Petroquímico (Foto 2.3), parque urbano (8°DISME), 6- Solo nu compactado (Foto 2.5), urbano verticalizado (Foto 2.7). Portanto, além das quatro unidades de observação pontual considerou-se, neste experimento, os dados de três estações meteorológicas localizadas na área em diferentes condições geo-ecológicas.

As estações e postos podem ser localizados no contexto metropolitano conforme indica a numeração do mapa- figura 2.11. Os endereços e características geográficas de cada posto são descritos na tabela 3.1.

As observações de campo ocorreram somente nas horas de observação padrão (9h, 15h e 21h), em função da dificuldade de acesso a alguns desses lugares e pelo inconveniente de se fazer observações na madrugada. O levantamento foi realizado em dois dias ensolarados do mês de março de 1997; no dia 7 - sexta-feira, e no dia 15 - sábado, dias em que conseguiu-se reunir a equipe de trabalho.

Posto	Endereço	H	D	OV	Uso do solo
1 – 8° DISME	Jardim Botânico – Porto Alegre	Abaixo de 50m	0 –10%	SW	Parque urbano
4 – Campo Bom	Secretaria de Obras da Prefeitura Municipal	Abaixo de 50m	10-20%	NW	Urbano
5 - Triunfo	Jardim junto Petroquímica COPESUL	Abaixo de 50m	0 – 10%	Plano	Área industrial + parque
10- Entre Prédios	Bairro Bonfim – Porto Alegre	Abaixo de 50m	0-10%	S	Urbano denso (verticalizado)
11 – Solo nu	Acesso à BR-290 pela Avenida Assis Brasil	Abaixo de 50m	0-10%	Plano	Aterramento p/ instal. indústria
12 - Campo	Morro do Paula - São Leopoldo	100- 150m	10-20%	W	Agrícola
13 - Mata	Morro do Paula- São Leopoldo	100- 150m	10–20%	NW	Rural
4 – Campo Bom	Secretaria de Obras da Prefeitura Municipal	Abaixo de 50m	10-20%	NW	Urbano

Obs: As características particulares de cada ponto, levantadas na cartografia básica ou em campo, estão representadas na tabela por: H – Hipsometria, D – Declividade, OV – Orientação de vertentes, Uso do solo.

Tabela 3.1- Características locais de cada posto meteorológico.

### 3.2.2 Os eventos de experimentação no quadro temporal

Segundo Monteiro (1990-b, p.26), o evento de experimentação pouco significa quando desvinculado do contexto espaço-temporal em que se insere. Ele reflete um estado atmosférico num dado lugar, que reflete a resposta local a um mecanismo amplo de circulação atmosférica em que se insere o dado local. Isto implica que as medidas realizadas devem ser obrigatoriamente referenciadas ao posto meteorológico local, bem como deve-se conhecer a evolução recente da situação sinóptica reveladora das condições locais.

Ao nível regional a situação sinóptica foi referenciada à análise seqüencial do Boletim Climanálise de Março de 1997 . Como referência para a

evolução do tempo à escala local foram utilizados os dados da estação meteorológica principal do 8º Distrito de Meteorologia de Porto Alegre.

Segundo o boletim Climanálise (março, 1997) um dos aspectos climáticos mais importantes neste mês foi a chuva abaixo da média climatológica, observada na Região Sul do Brasil, como consequência da fraca atuação dos sistemas frontais sobre esta Região.

No início do mês de março (Figura 3.3) foram observadas passagens de cavados de ondas curtas em todos os níveis, sobre as Regiões Sul e no sul do Mato Grosso do Sul, que causaram nebulosidade sobre essas regiões. Após a passagem dos sistemas frontais houve a entrada de anticiclones que fizeram com que as temperaturas médias mensais ficassem abaixo da normal climatológica sobre o Rio Grande do Sul.

Entre os dias 4 e 5 observou-se a passagem de um vórtice ciclônico em altos níveis no oeste da Região Sul, causando nebulosidade e instabilidades isoladas no Rio Grande do Sul. No dia 6, um cavado em altos níveis na Região Sul provocou nebulosidade no interior do continente, e ao deslocar-se para o litoral, originou uma frontogênese no litoral sul de São Paulo.

No dia 11, foi observado um aglomerado convectivo no oeste do Rio Grande do Sul; tal sistema interagiu com o sistema frontal que vinha pelo Oceano. No dia 12, este segundo sistema do mês atuou no sul do Brasil, deslocando-se rapidamente pela Região Sul, causando chuvas fortes.

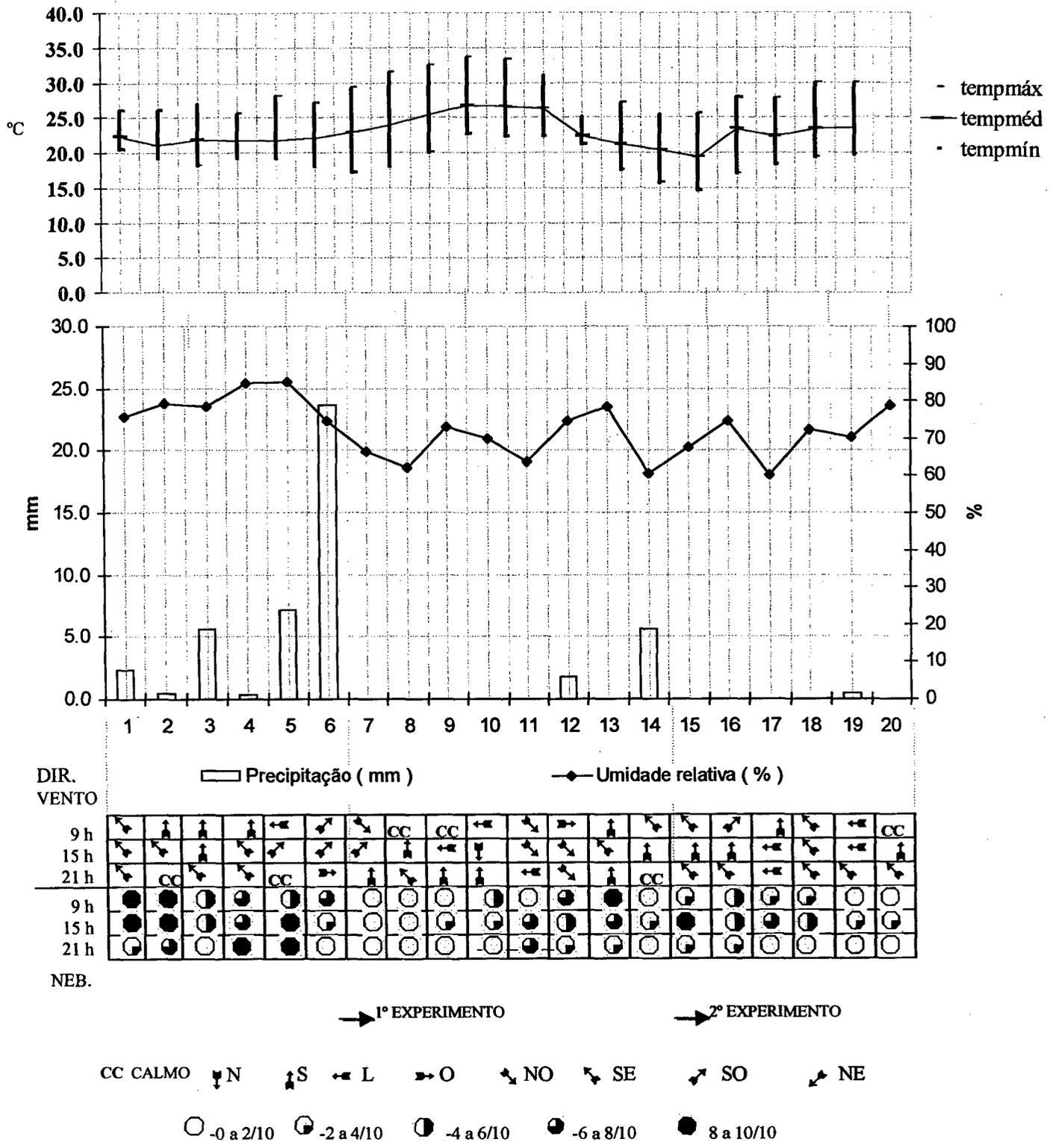
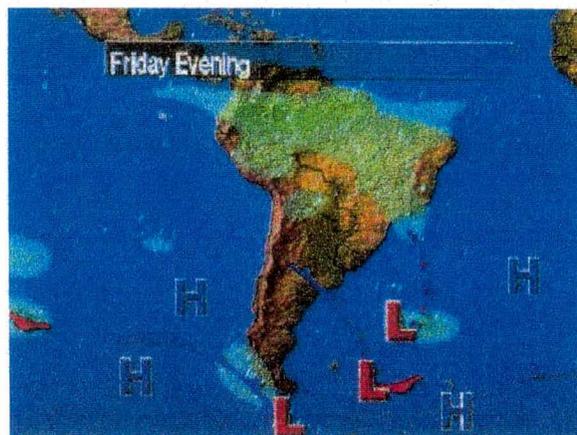


Figura 3.3- RMPA- Variação dos elementos do tempo de 1° a 20 de março de 1997. Elaborado com base nos dados da estação meteorológica Principal - 8°Disme, Porto Alegre, RS.

### 3.2.3 Comportamento térmico dos diferentes ambientes em 7/03/97

No dia 7/03 (Figura 3.4) dois sistemas de alta pressão atuavam sobre o Pacífico Oriental e dois sobre o centro do Oceano Atlântico; uma linha de instabilidade se encontrava sobre o Atlântico Ocidental atingindo o litoral de São Paulo e Rio de Janeiro, a Convergência Intertropical atuava sobre o Centro Norte do Brasil, uma frente fria alcançava Baía Blanca na Argentina e outra se encontrava no extremo sul do continente Americano. Na RMPA, a linha de instabilidade que tinha provocado chuvas desde o início da semana, deslocou-se para o mar e em seu lugar uma massa de ar quente e seco, acompanhando um sistema de alta pressão, manteve o céu claro no centro e sul do Rio Grande do Sul.



Fonte: [http://www.cnn.com/WEATHER/SAmerica/forecast\\_map.html](http://www.cnn.com/WEATHER/SAmerica/forecast_map.html)

Figura 3.4- Posição dos principais Sistemas Atmosféricos em 7/03/1997.

Na estação do 8°DISME a amplitude térmica registrada para este dia foi de 12.1°C, enquanto em Campo Bom, a variação entre os termômetros de máxima e mínima foi de 14.4°C.

Hora	9:00	15:00	21:00
------	------	-------	-------

Temperatura do ar - bulbo seco

Mata	22.0	25.8	21.6
Solo nu	22.6	29.4	22.6
Pastagem	24.7	29.1	24.2
Entre Prédios	22.2	28.2	25.6
8Disme	21.6	28.6	23.0
Triunfo	23.0	29.6	23.8
Campo Bom	20.9	29.8	21.9

Umidade do ar

Mata	96	73	88
Solo nu	71	45	81
Pastagem	63	46	62
Entre Prédios	75	40	66
8Disme	73	49	77
Triunfo	78	55	85
Campo Bom	95	44	81

Direção do vento

Mata	CC	CC	CC
Solo nu	NW	NW	SE
Pastagem	NW	SW	SE
Entre Prédios	N	S	CC
8Disme	NW	SW	S
Triunfo	NW	NW	SW
Campo Bom	CC	W	CC

Cobertura do céu

Mata	-	-	-
Solo nu	0	1/10	0
Pastagem	0	1/10	0
Entre Prédios	0	1/10	0
8Disme	0	2/10	0
Triunfo	0	0	0
Campo Bom	0	1/10	0

Tabela 3.2 - RMPA- Levantamento de temperatura , UR e vento no dia 7 de março de 1997

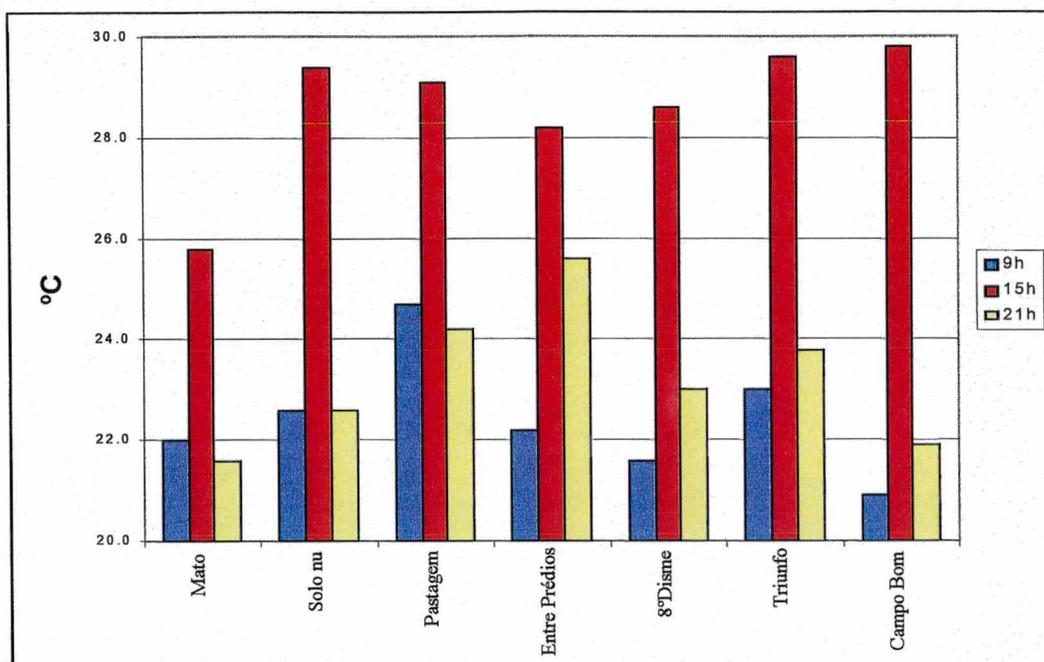


Figura 3.5 – RMPA- Variação da Temperatura do ar entre as 9, 15 e 21 horas do dia 7/03/97.

Os dados registrados para os horários das 9h, 15h e 21 horas nas estações fixas e temporárias constam na tabela 3.2. Para facilitar a análise, representou-se também as medidas de temperatura nos três horários padrão dos postos de observação (Figura 3.5).

Considerando que, durante o dia o aquecimento dos objetos resulta da quantidade de energia solar disponível ao nível do solo (fatores externos), da capacidade dos objetos de converterem a radiação solar incidente em calor (fatores internos), e da exposição destes objetos à radiação solar, fez-se as considerações que constam nos próximos parágrafos.

Pela manhã, às 9horas, a área menos aquecida era o 8ºDISME (21,6°C) e a mais aquecida a pastagem (24,7°C) – amplitude térmica 3,1°C. Às

15 horas a maior diferença de temperatura se observa entre os postos Campo Bom (29,8°C) e mata (25,8°C) – amplitude térmica 4°C . Às 21 horas a maior temperatura registrada foi a do abrigo entre prédios (25,6°C) e a menor na mata (21,6°C) – amplitude 4°C.

Nos postos Solo nu, Pastagem e COPESUL o aquecimento diurno (Figura 3.5 se iniciou antes do que em Campo Bom e no 8°DISME, o que está relacionado à exposição diferenciada dos abrigos à radiação solar. A mata, mesmo estando numa vertente oeste, não estava tão fria às 9 horas quanto o posto de Campo Bom e outros ambientes.

A estação Campo Bom está na vertente oeste, sendo que, para leste, há uma elevação que impede a insolação direta antes das 8 horas. Mas, entre os locais observados, foi o que apresentou maior aquecimento entre 9h e 15 horas e o maior resfriamento entre 15h e 21 horas. Esta variação pode estar relacionada à falta de parede dupla no abrigo.

A área Entre Prédios apresentava-se, pela manhã, mais aquecida que as estações também urbanas do 8°DISME e de Campo Bom. As áreas mais abertas à insolação direta (Pastagem, Solo nu e Triunfo), no entanto, já estavam mais aquecidas. Às 15 horas o termômetro do abrigo Entre Prédios era o menos aquecido.

A área entre prédios é a que permaneceu mais aquecida no horário das 21 horas comprovando o efeito dos seguintes fatores: diminuição da perda de radiação por ondas longas nos *canyons* urbanos devido à redução do horizonte local (*sky view factor*) pelos edifícios; diminuição das perdas de calor sensível pela redução da velocidade do vento no interior da camada dos tetos urbanos. A ilha de calor na área densamente edificada e verticalizada se mostrou mais evidente à noite.

A área de campo aberto e a estação meteorológica de Triunfo, surpreendentemente, apresentaram temperaturas mais altas que as demais estações, exceto a entre prédios.

A umidade relativa do ar não apresentou grandes contrastes, no entanto, mostrou concordância com o comportamento térmico, coincidindo, em geral, os menores índices com as áreas mais aquecidas.

### 3.2.4 Comportamento térmico dos diferentes ambientes em 15/03/97

No dia 15/03 um sistema de alta pressão sobre o Uruguai definia as condições meteorológicas no Rio Grande do Sul (Figura 3.6). O vento predominante registrado pelas estações meteorológicas era de sudeste a sul. Na estação do 8°DISME a amplitude térmica registrada para este dia foi de 9.8°C, enquanto em Campo Bom a variação entre os termômetros de máxima e mínima foi de 13.4°C.

A análise das observações do evento de 15/03/98, através da comparação da tabela 3.3 e do gráfico (figura 3.7), permite os comentários apresentados nos parágrafos subseqüentes.



Fonte: [http://www.cnn.com/WEATHER/SAmerica/forecast\\_map.html](http://www.cnn.com/WEATHER/SAmerica/forecast_map.html)

Figura 3.6 - Posição dos principais Sistemas de Ação em 15/03/1997.

Hora	9:00	15:00	21:00
------	------	-------	-------

## Temperatura do ar - bulbo seco

Mata	20.3	23.8	19.2
Solo nu	21	26.4	20
Pastagem	20.8	25.9	19
Entre Prédios	22.9	25.6	22.7
8Disme	21	24.6	20
Triunfo	20.8	25	19.1
Campo Bom	18.3	26.5	19.8

## Umidade do ar

Mata	95	64	89
Solo nu	81	45	89
Pastagem	75	52.7	82
Entre Prédios	72	46	69
8Disme	76	48	79
Triunfo	86	61	85
Campo Bom	87	44	83

## Direção do vento

Mata	CC	SSE	CC
Solo nu	SE	SE	SE
Pastagem	SE	SE	SSE
Entre Prédios	CC	SE	CC
8Disme	SE	S	SE
Triunfo	E	S	SE
Campo Bom	CC	SE	SE

## Nebulosidade

Mata	-	-	-
Solo nu	0	2/10	2/10
Pastagem	0	1/10	2/10
Entre Prédios	0	2/10	3/10
8Disme	4/10	10/10	3/10
Triunfo	1/10	1/10	4/10
Campo Bom	1/10	2/10	3/10

Tabela 3.3- RMPA- Levantamento de temperatura , UR e vento no dia 15 de março de 1997.

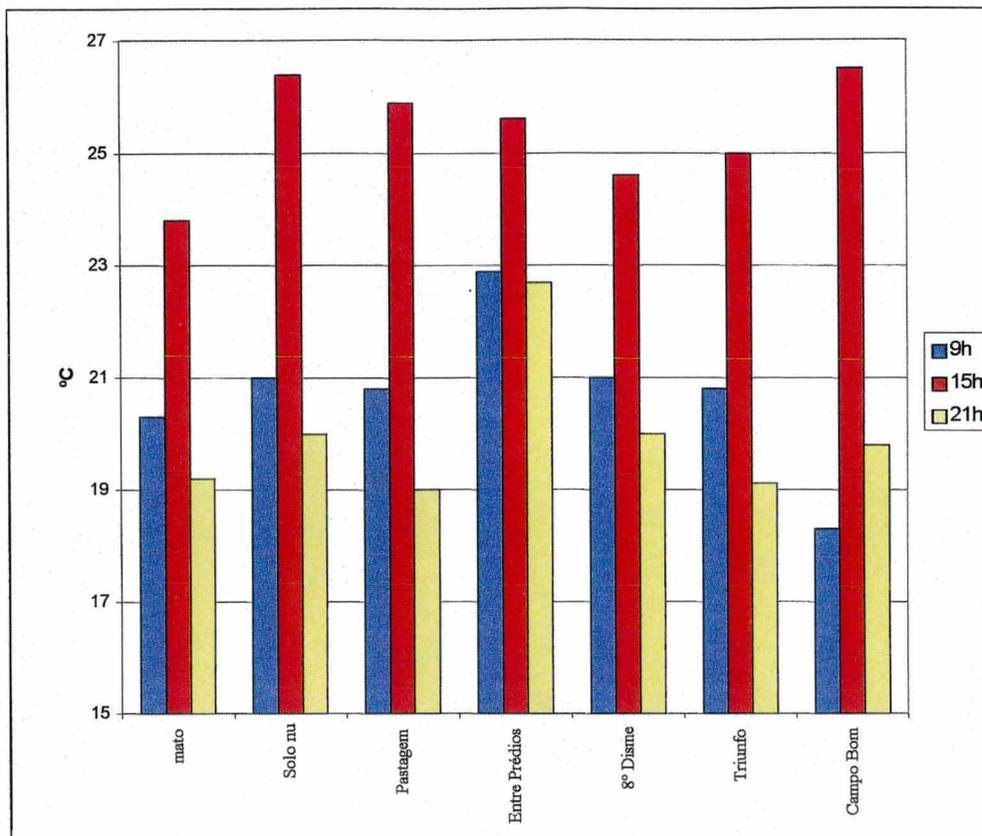


Figura 3.7 – Variação da temperatura entre 9, 15 e 21 horas no dia 15.03.1997.

Considera-se o topoclima da mata como uma condição especial entre os postos de levantamento, por apresentar um horizonte completamente obstruído por vegetação e que, durante os três horários de medida, sempre foi o que apresentou a temperatura mais baixa. No entanto, nota-se que este ambiente possui uma inércia termal maior que outros, em função do calor latente, reservado na umidade do ar.

A área entre prédios, com horizonte muito obstruído por construções, se mostrou a mais aquecida às 9h da manhã.

Neste mesmo horário as estações Solo nu, Pastagem, 8°DISME e Triunfo apresentaram-se praticamente igualmente aquecidas (com variação de 0,2°C entre elas). Por outro lado, a estação Campo Bom estava em média 2°C menos aquecida que as demais.

Às 15 horas a estação Campo Bom registrava a máxima temperatura (26,5 °C). Com temperatura próxima (25,4°C) se encontrava o mini- abrigo do posto Solo nu. O local menos aquecido foi o 8°DISME que a esta hora indicava um céu totalmente coberto, dado este, porém duvidoso, já que o horizonte que se vê é praticamente o mesmo e os demais locais de observação não registraram mais de 2/10 de cobertura.

Às 21 horas a área Entre Prédios novamente se mostrava mais aquecida, como no evento anterior. Os postos Solo nu, 8°DISME, e Campo Bom estavam em condições de igualdade térmica em torno de 20°C e as demais se igualavam em torno de 19°C.

A umidade relativa do ar não apresentou novamente grandes contrastes e acompanhou o curso diário padrão. O par higrométrico do mini-abrigo localizado na mata, registrou umidade mais alta que os demais postos às 9 e 15 horas.

### **3.2.6 Conclusões do experimento de campo**

Segundo Monteiro (1990-b, p.27), uma sistemática de análise mais completa requer uma multiplicação de observações temporais às situações sinópticas mais freqüentes nos tipos de tempo padrão, às diferentes variações sazonais (quatro estações do ano), bem como às observações interanuais. A análise efetuada neste trabalho, por estar limitada a dois episódios, restringe a validade das interpretações para outras condições de tempo.

Considerando-se estes princípios, a presente experimentação não corresponde a uma projeção temporal devidamente concluída, porém permite, no seguimento, inferir algumas notas como se verá a seguir.

Embora não se tenha constatado nenhum indício de correlação linear entre a intensidade de uso do solo e a variação das temperaturas internas

à RMPA, os dados levantados atestam que a massa edificada, quando verticalizada, funciona como armazenador de calor, pois o mini-abrigo entre prédios registrou nas duas vezes a temperatura mais alta a noite. Imamura-Bornstein(1991), Mendonça (1995) verificaram que em cidades na região tropical a ilha de calor urbana é mais representativa no final da tarde e à noite.

A influência do sítio no processo de aquecimento dos ambientes mostrou-se mais evidente na estação de Campo Bom, que, em função da exposição das encostas em relação ao movimento do sol, mostrou as mais altas amplitudes térmicas diárias.

O recobrimento vegetal de porte arbóreo/arbustivo é o tipo de cobertura de solo que mais claramente atenua as temperaturas diurnas porque as altas copas das árvores filtram os raios solares sombreando o chão e permitindo uma ventilação entre os troncos e ao nível do chão, além de aumentar a evapotranspiração e umidade.

De modo geral, todos os ambientes abertos (Solo nu, Pastagem, 8°DISME e Triunfo) se comportaram com valores próximos, independente, da constituição da superfície do solo. Isto demonstra que para a temperatura tomada a 1,5m do solo, condições favoráveis à ventilação minimizam o efeito do aquecimento diferencial das superfícies.

O levantamento mostrou a impossibilidade de se pretender isolar a variável uso do solo para efeito de demonstrar prováveis ilhas de calor. Embora seja clara a interferência do uso do solo no aquecimento das áreas, basta observar-se os valores e curvas de temperaturas para se perceber que a umidade e a configuração geomorfológica, bem como a disposição das diferentes áreas frente ao sol e ventos são fatores igualmente importantes.

Isto posto, não há como menosprezar o papel das áreas urbanizadas com uso do solo intensivo e verticalizado no aumento da temperatura da cidade,

principalmente à noite, bem como do papel dos espaços verdes e abertos na atenuação dos ganhos provenientes do balanço de energia.

### **3.3 RMPA - A termografia infravermelha de superfície**

As indicações gerais do clima da região metropolitana de Porto Alegre e os levantamentos de dados em alguns pontos, representam somente uma parcela dos elementos necessários à compreensão do clima local ordem de grandeza insuficiente para a compreensão da climatologia local, principalmente quando se leva em consideração que parte deste espaço é ocupado por habitações e pela indústria, o que acarreta modificações mais ou menos sensíveis para o clima. As estações meteorológicas, apesar de relativamente densas na área, são pontuais e não cobrem suficientemente o espaço para permitir analisar, de forma detalhada, as conseqüências climáticas do desenvolvimento da aglomeração.

A exploração temática dos dados de satélite nos estudos climáticos permite a elaboração de documentos que retratam, com maior resolução, a distribuição espacial de alguns dos elementos e fatores do clima, o que possibilita uma observação mais detalhada da sua variação. Desta forma os documentos elaborados a partir do sensoriamento remoto se aproximam mais da representação da realidade que as clássicas representações pontuais ou por isolinhas, ainda que persistam problemas no sensoriamento remoto nas estimativas de valores reais (Lombardo, 1985; Baumüller et Alii, 1993; Nichol, 1994; Mendonça, 1995) e ainda que sejam dados de superfície e não de temperatura do ar.

No estudo do campo térmico de áreas metropolitanas podem ser utilizadas imagens de satélite de diferentes resoluções espaciais, dependendo do objetivo do estudo. Através das imagens NOAA-AVHRR (Canais 4 e 5, infravermelho térmico - resolução espacial de 1,1 km; resolução termal 0,12°C)

pode-se estudar a configuração térmica de áreas urbanas metropolitanas compactas ou descontínuas. As imagens Landsat encontraram uma aplicação no domínio da climatologia local através da utilização do canal infravermelho térmico do sensor *Thematic Mapper* do Landsat, que tem uma resolução espacial no solo próxima ao hectare (120m x 120m). Estas imagens possibilitam a observação da variação térmica de superfície intra-urbana tanto de grandes cidades com o de cidades de menor porte (Nichol, 1994 ;Mendonça, 1995) bem como da variação térmica na área rural.

O documento de base que serviu para avaliar a pertinência qualitativa do canal infravermelho termal ao estudo do clima local da RMPA foi uma imagem Landsat 5 TM, canais 3, 4 e 6 do dia 19/12/95 às 9h 50min. Escolheu-se o quadrante norte da imagem 22481 conforme o cadastro do INPE (cena de 92km x 92km), que abrange a área mais intensamente ocupada da Região Metropolitana de Porto Alegre. Esta imagem serviu, como veremos adiante, para a elaboração de uma cartografia do uso do solo distinguindo áreas vegetadas das não vegetadas, bem como, para a observação e análise da variação da temperatura à superfície naquela data.

Cantat (1987) adverte que é importante levar em conta a estação do ano em que se processou o imageamento, pois o aquecimento das superfícies não é resultado unicamente de um só momento. As condições meteorológicas dos dias precedentes também determinam a resposta térmica dos objetos em superfície bem como da temperatura do ar das baixas camadas da atmosfera. Na seção seguinte apresentamos detalhadamente essas condições.

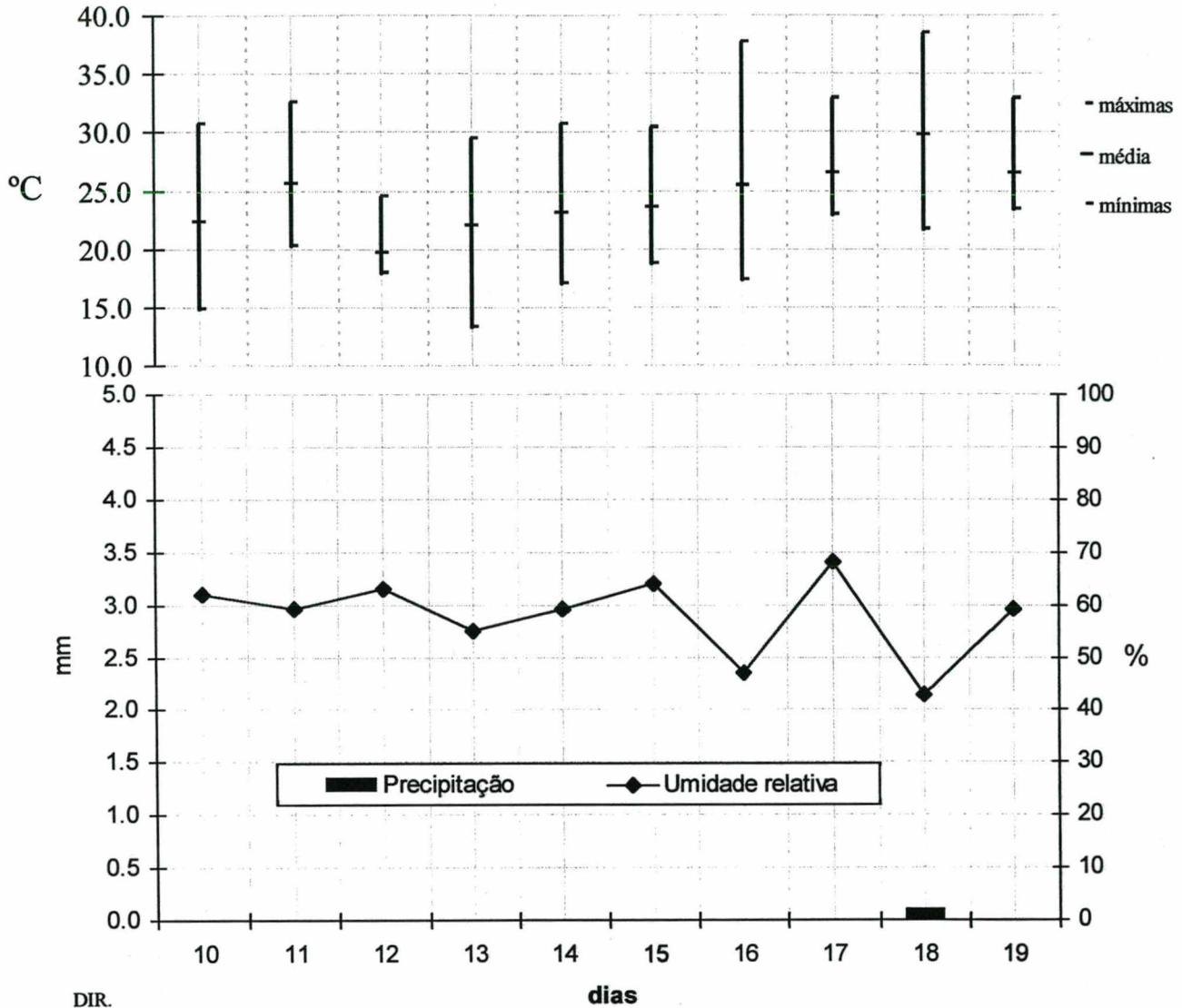
Assim, a presente seção se subdivide em três sub-seções: a primeira trata das características temporo-espaciais anteriores ao imageamento e do dia do registro, a segunda trata da cartografia térmica de superfície a partir do registro e a terceira da relação entre a cartografia térmica de superfície e os registros das estações meteorológicas para esta mesma data.

### 3.3.1 RMPA- Características temporo -espaciais em dezembro de 1995

O conjunto de fatores que devem ser considerados antes da interpretação de uma imagem termal específica são: o quadro temporal anterior ao imageamento e as condições meteorológicas do momento de registro, bem como o estado do solo e da vegetação.

#### 3.3.1.1 *Situação climática da área de estudo em dezembro*

Dezembro é o mês em que o sol chega na sua posição mais alta no céu nas latitudes subtropicais do Brasil (83,5° ao meio dia de 22/12 para Porto Alegre- 30°S), o que significa ser este também o mês de máxima intensidade da radiação solar. Durante os meses de verão a RMPA e o Rio Grande do Sul como um todo, estão sujeitos ao que LIMA (s. d.) chamou de ondas de calor, que caracterizam-se por temperaturas máximas superiores a 33° C e temperaturas mínimas superiores a 22°C. Este fenômeno anômalo ocorre quando a depressão continental permanece por vários dias sobre a Região do Chaco, fazendo com que a massa de ar tropical continental se estabeleça na Região Sul do Brasil. Muitas vezes, nestes períodos de temperaturas altas, uma fraca massa de ar polar invade o Rio Grande do Sul. Porém sua energia é insuficiente para desfazer o estado de tempo reinante. Somente uma massa de ar polar intensa, capaz de determinar pronunciado declínio de temperatura, é capaz de modificá-lo.



DIR. VENTO

9 h	↖	↓	↙	↖	↑	↑	CC	↑	↓	↘
15 h	↘	↑	↖	↖	↙	↖	↘	↑	↓	↘
21 h	↘	↓	↙	↙	↓	↙	CC	↓	↑	↖

9 h	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○
15 h	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
21 h	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

LEGENDA: COBERTURA ○ -0 a 2/10 ◐ -2 a 4/10 ◑ -4 a 6/10 ◒ -6 a 8/10 ◓ 8 a 10/10

CC CALMO ↓ N ↑ S ↖ L ↗ O ↙ NO ↘ SE ↗ SO ↘ NE

Figura 3.8- RMPA- Variação diária dos elementos do tempo de 10 a 19 de dezembro de 1995. Estação Meteorológica Principal 8°DISME.

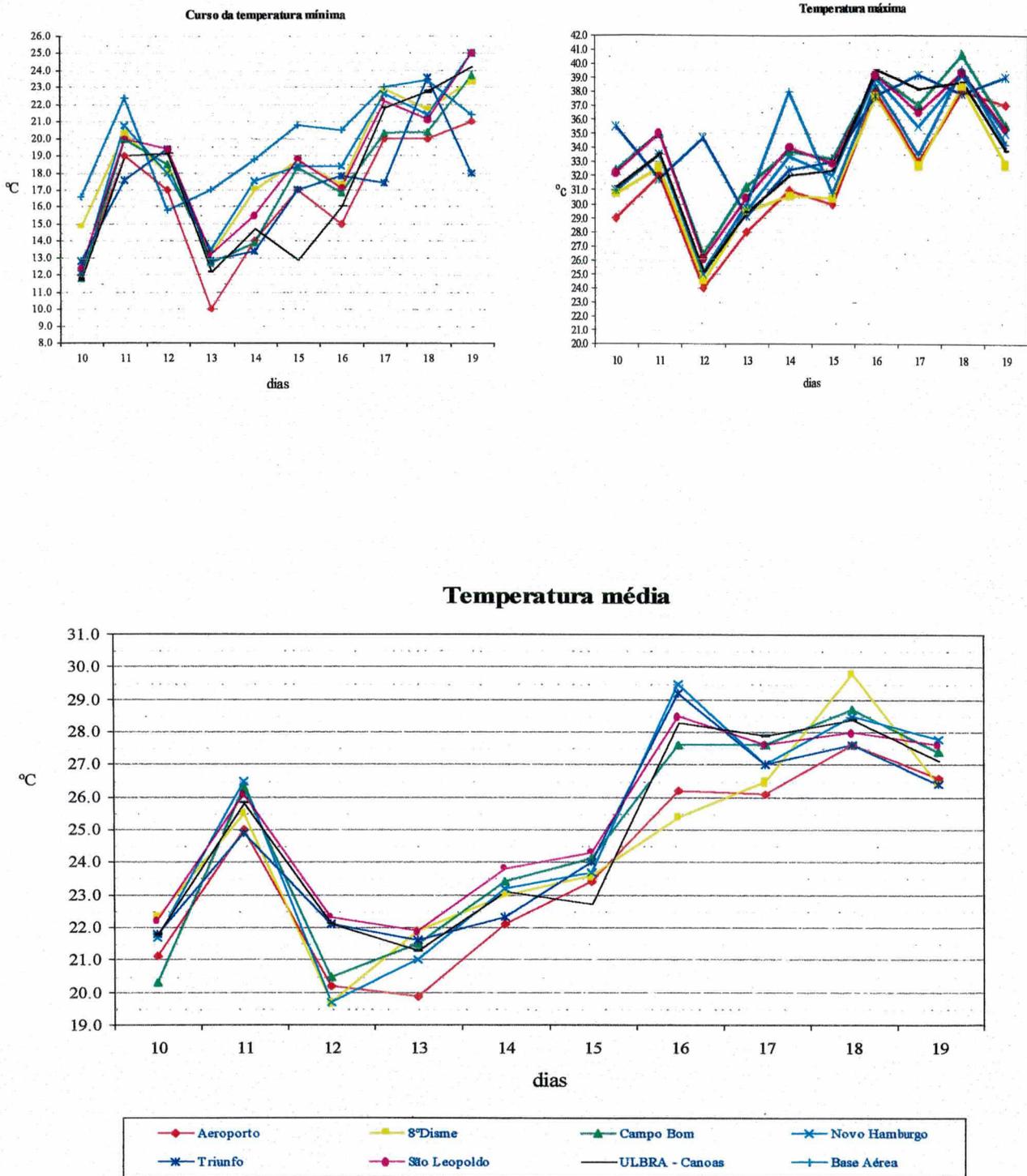


Figura 3.9- RMPA- Evolução decencial das temperaturas mínima, máxima e média (de 10 a 19 de dezembro de 1995).

No mês de dezembro de 1995, nove sistemas frontais atuaram no Brasil, embora a média climatológica para latitudes entre 35° e 25°S, seja de sete sistemas. No entanto, na Região Sul, os sistemas frontais tiveram fraca atuação e um rápido deslocamento, causando nebulosidade e chuva fraca, exceto o último sistema do mês que causou precipitações intensas sobre o litoral desta região. O oeste do Rio Grande do Sul continuou sem precipitação, ocorrendo somente algumas chuvas isoladas. Nos dias 6, 9 e 12 houve a penetração de anticlones na retaguarda dos sistemas frontais, causando declínio da temperatura máxima, principalmente no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, sul e leste do Paraná. Apenas um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM), que se formou no dia 18 no norte da Argentina, afetou o país, provocando no dia 18 nebulosidade e chuvas isoladas no Rio Grande do Sul. (Climanálise V.10 nº12, 1995) .

Para caracterizar as condições meteorológicas locais foi realizado um levantamento de dados diários de temperatura (média, máxima e mínima), umidade relativa do ar, precipitação, pressão, ventos e cobertura do céu entre os dias 10 e 19 de dezembro de 1995 para as estações DISME - Porto Alegre, Novo Hamburgo, Campo Bom, Triunfo, ULBRA, Base Aérea, Eldorado do Sul, Aeroporto e Sinodal. Além disso, contou-se com os dados das planilhas dos meses anteriores ao registro remoto, para a estação do 8º Distrito de Meteorologia - Porto Alegre.

De acordo com estes dados observou-se que, no período anterior ao registro da imagem de satélite analisada, prolongava-se uma estiagem de quase um mês. Em função da baixa umidade relativa do ar, a amplitude térmica diária observada chegou em algumas estações meteorológicas da RMPA a mais de 20°C. Durante o decêndio de 10 a 19 de dezembro a insolação foi contínua sobre a RMPA e as precipitações praticamente ausentes (Figura 3.8). Entre as estações meteorológicas das quais se obtiveram os dados, somente as de Eldorado do Sul, Triunfo e Porto Alegre registraram alguma precipitação neste período, respectivamente 8mm, 7.7mm e 0.1mm , todas no dia 18 de dezembro.

A representação gráfica (Figura 3.9) das temperaturas observadas em 6 estações meteorológicas da RMPA indica:

- a) um dia quente no início do período (dia 11/12);
- b) um ligeiro resfriamento no dia 12 em função da entrada da frente fria;
- c) uma retomada do aquecimento a partir do dia 14 que culmina com dias muito quentes entre 16 e 19/12.

As condições apresentadas, no decêndio anterior ao imageamento, só não configuram uma onda de calor do ponto de vista das temperaturas mínimas, porque a baixa umidade relativa do ar, a rápida e pouco efetiva passagem das frentes frias, e temperaturas máximas superiores a 33°C durante 4 dias seguidos (de 16 a 19/12/95) parecem legitimar tal fenômeno (Figura 3.10).

Como vimos no capítulo 1, o arroz é a cultura anual de maior expressão em termos de área plantada na região. Dezembro é a época de inundação do arroz nas várzeas do Guaíba, Jacuí, Caí e Sinos. Porém, algumas destas áreas pelo que se verificou no tratamento das imagens de satélite e em campo, estavam com o solo preparado mas sem plantio.

### ***3.3.1.2 A situação meteorológica em 19/12/95.***

As condições meteorológicas dos dias precedentes e no dia e hora da passagem do satélite determinam em grande parte a resposta térmica dos objetos “captados” pelo sensor do satélite. Para caracterizar a situação do dia da passagem do satélite utilizou-se dados horários dos termógrafos das estações 8°DISME, Campo Bom, Aeroporto, Base Aérea, ULBRA e Eldorado, além de registros dos horários convencionais das estações Triunfo, Novo Hamburgo e São Leopoldo (Figura 3.10).

Apesar da linha de instabilidade que passou pela região no dia 18, no dia 19 de dezembro o dia amanheceu com céu limpo e temperatura superior a 22°C, para todas as estações com registro. Às 9 horas da manhã, pouco antes da passagem do satélite, a leitura do termômetro a 1,5m do chão e na sombra oscilou entre 27.8°C em Triunfo e 31°C em Campo Bom e na base Aérea de Canoas. A umidade do ar variou entre 51% na estação da ULBRA em Canoas e 68% em Triunfo.

Todas as estações registravam uma brisa leve às 9 horas da manhã com direção predominante de SW, mas que se mostrava alterada em função da topografia para algumas estações (Tabela 3.4).

A temperatura registrada num termômetro de solo a 2 cm de profundidade na Estação Agroclimática da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA) foi de 28,0 °C às 9 horas da manhã e 44,4°C às 15 horas.

Estação	t (°C)	UR	Vento (m/s)	Direção
Novo Hamburgo	28,8	55%	4,00	S
Campo Bom	30,1	50%	4,00	SW
Porto Alegre	29,3	54%	5,00	SW
São Leopoldo	30,0	54%	18	W
Canoas	29,8	51%	18	SW
Eldorado - UFRGS	29.1	61%		SW
Triunfo	27,9	68%	17	E

Tabela 3.4 - RMPA- Temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento às 9 horas da manhã do dia 19/12

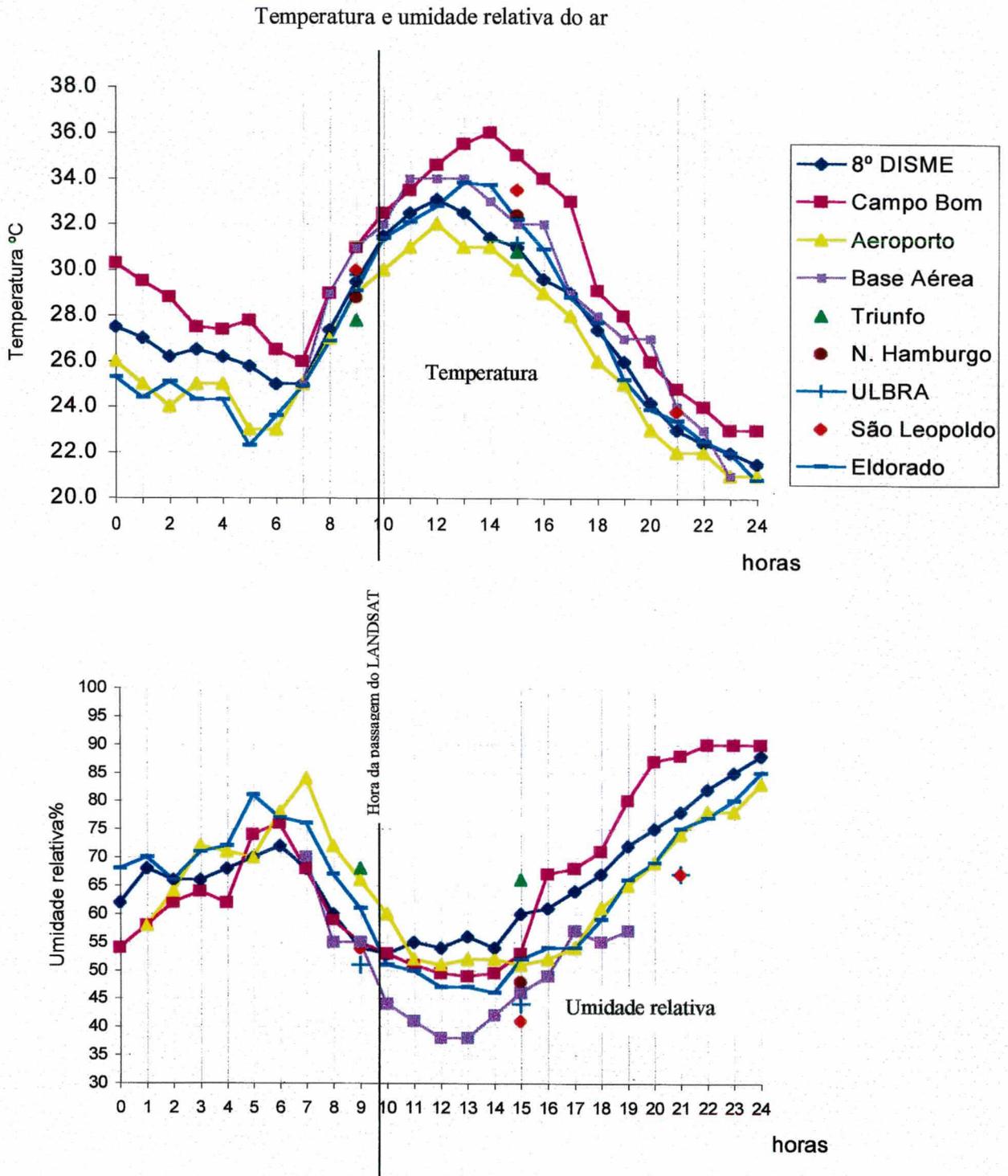


Figura 3.10 - RMPA - Curso da temperatura e umidade relativa do ar em 19 de dezembro de 1995

### 3.3.2 Cartografia térmica de superfície em 19/12/95

O canal nº 6 do Landsat TM corresponde à banda espectral infravermelho distante, compreendida entre 10,4 e 12,5  $\mu\text{m}$ . Neste intervalo de comprimentos de onda, a intensidade da radiação eletromagnética medida pelo sensor é função, principalmente, da temperatura e da emissividade dos objetos à superfície da terra.

A identificação térmica dos diferentes objetos componentes do meio observado pelo satélite é, por outro lado, condicionada pela relação entre o tamanho destes objetos a identificar e o tamanho do "pixel"<sup>9</sup>.

Como se pode perceber na figura 3.11, num estudo climático que abrange um meio urbano e seu entorno rural, o problema se coloca de maneira diferenciada, como se explicita nos próximos dois parágrafos.

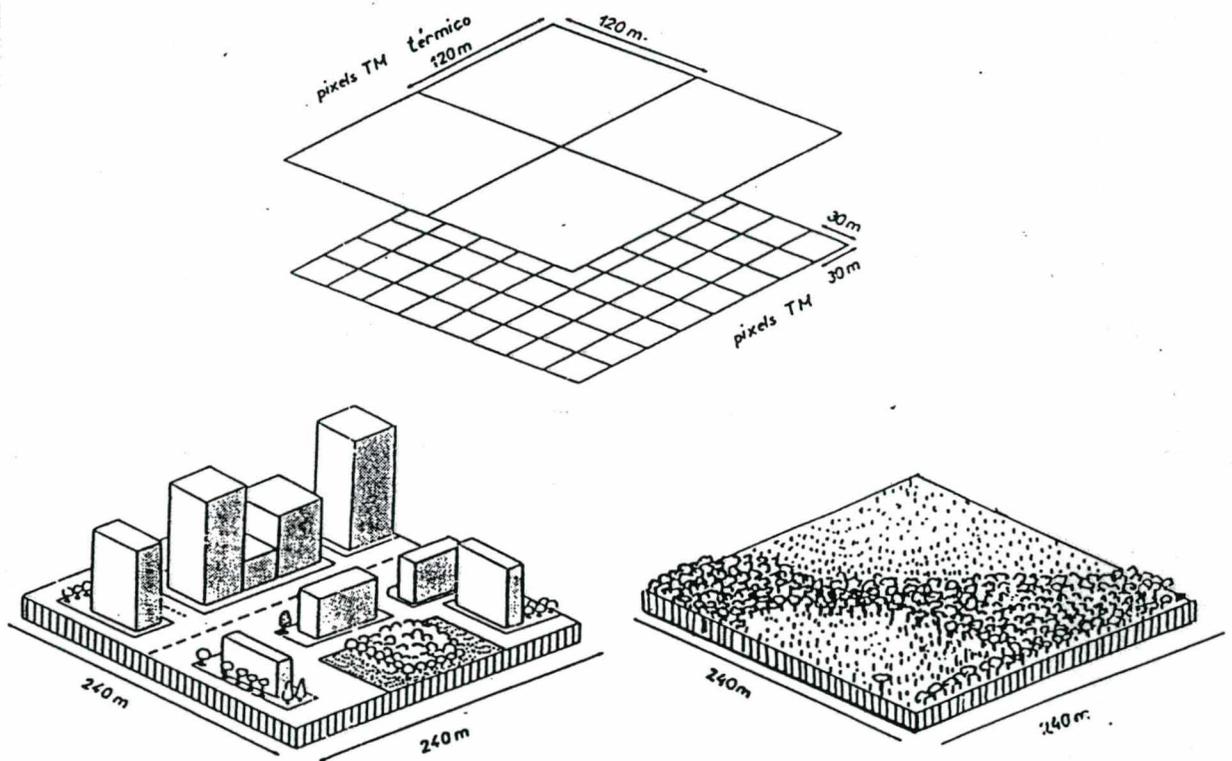
No meio rural, principalmente nas porções oeste e central da Região, os diversos componentes da paisagem têm uma maior extensão que os elementos do urbano (campos, cultivos, matas, açudes, etc.) cobrindo muitos "pixel" sobre a imagem de satélite; é, portanto, relativamente fácil de percebê-los e de verificar suas respostas térmicas.

No meio urbano, o espaço é muito mais heterogêneo e a dimensão dos diferentes objetos é freqüentemente bem inferior àquela do menor elemento da imagem apreendido instantaneamente no canal n.º 6 (120m x 120m). A temperatura radiativa medida, que corresponde a um "pixel" na imagem é então a soma das componentes individuais (árvores, vias, edifícios, zonas de sombra, etc.) ponderada por suas respectivas superfícies e, portanto, reflete essencialmente o comportamento térmico do elemento mais representativo que o compõe (Novo, 1989). Assim, a análise de um meio heterogêneo, como o urbano, estará mais relacionada à resposta térmica das

---

<sup>9</sup> Contração das palavras *picture* e *element* - é a menor unidade (célula) numa representação matricial (Eastman, 1995, p.14-112).

principais estruturas da paisagem (centro-urbano, loteamentos, parques, área industrial, etc.), do que às variações térmicas de detalhe existentes, mas que o captor não pode registrar em função do limite de resolução espacial.



Fonte: CANTAT, 1987. p. 62, modificado.

Figura 3.11- Dimensão do pixel TM e seu recobrimento em ambiente urbano e rural.

Apesar da banda 6 não permitir uma identificação térmica, elemento por elemento, ela se aplica bem aos objetivos de um estudo de clima local como o presente, pois, para haver uma influência climática notável, as variações locais de temperatura de superfície devem ser suficientemente pronunciadas e cobrir um espaço relativamente grande, segundo Cantat (1987, p. 64).

Outro fator a considerar na estimativa das temperaturas de superfície a partir dos dados do TM6 é a sua resolução radiométrica. Conforme observou (Nichol, 1994, p. 54) as medidas podem sofrer um desvio padrão de 0,5°C, não podendo assim servir como fonte exata de cálculo das temperaturas.

### ***3.3.2.1 Valores de emissividade da superfície***

A intensidade da radiação térmica recebida pelo satélite é o resultado de três componentes: a emissão própria do solo, a emissão da atmosfera e a fração da energia térmica refletida (figura 3.12).

Contudo, durante o dia, na ausência de nuvens (condição indispensável para a observação à distância da superfície terrestre) a emissão atmosférica para o espaço e a reflexão da radiação infravermelha são negligenciáveis diante da dominância da radiação emitida pelo substrato aquecido sob a ação do sol. Portanto, considera-se que o sensor térmico do satélite registra, a um instante dado, a propriedade da radiação eletromagnética emitida por diferentes objetos na superfície da terra, que é por sua vez, função direta de sua temperatura de superfície e de sua emissividade (Cantat, 1987, p. 46). A variabilidade no aquecimento das superfícies em iguais condições de recebimento de energia é como aqui tratado, função do albedo e das características de condutividade térmica e calor específico das mesmas.

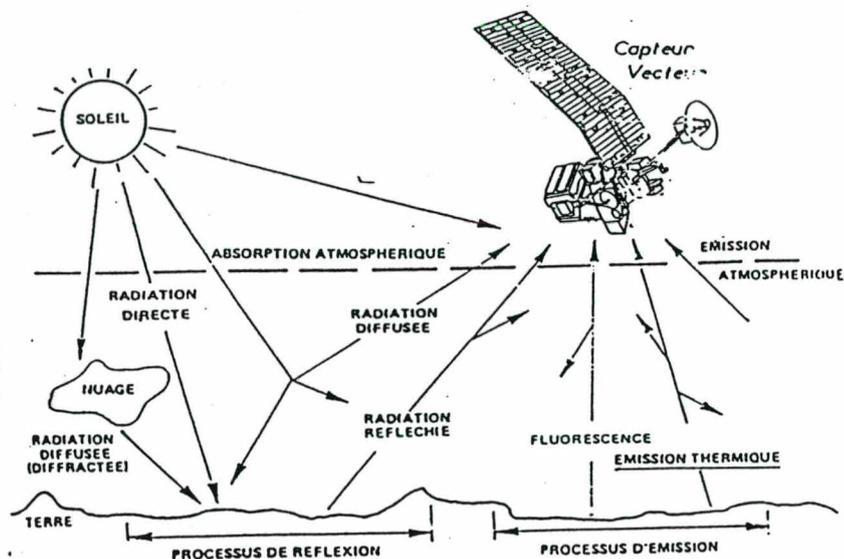


Figura 3.12- A influência da atmosfera e a complexidade da energia recebida pelo sensor do satélite.

No domínio do infravermelho térmico a emissividade, ou fator de emissão, traduz a capacidade de um corpo em transformar seu calor em radiação. A noção de corpo negro se aplica a um objeto que emite um total de radiação equivalente ao total que ele absorve. Somente um corpo negro é um emissor perfeito de radiação, a maioria dos objetos reais não o é. Muitos objetos irradiam algo menos do que o que emitiriam se fossem um perfeito corpo negro. O coeficiente que se refere ao comportamento ativo de um material em relação à emissividade de um corpo negro que é 1, é denominado **emissividade do material** ( $\epsilon$ ) (MOTA, 1989).

Como o sensor do Landsat TM 6 mede as temperaturas de brilho dos objetos numa cena, a emissividade do objeto é requerida para obter-se a temperatura de fato. Geralmente os corpos naturais possuem emissividades muito próximas e os contrastes de temperaturas de brilho medidas pelo satélite correspondem essencialmente às diferenças de temperatura de superfície desses corpos. No entanto, no caso da Região Metropolitana de Porto Alegre, em função das possibilidades de classificação de usos do solo, serão consideradas três grandes classes de emissividade (Tabela 3.5).

Material	Emissividade
Áreas não vegetadas	0.92
Asfalto	0.86
Granito	0.90
Basalto	0.92
Concreto	0.97
Solo seco	0.91
Água	0,97
Área vegetada	0.95
Vegetação com copa fechada e campo	0.97-0.98
Vegetação mais aberta	0.96
Culturas variadas	0.93-0.97
Espaços verdes urbanos	0.90

Fontes: BERMAN.,1994, p. 13.  
 NICHOL, 1994. p.1228.  
 CANTAT, 1987, p. 47.

Tabela 3.5 - Agrupamento dos materiais terrestres segundo a emissividade de superfície.

Dada a variação significativa da emissividade para áreas vegetadas e superfícies construídas e em vista da importância deste parâmetro na obtenção de valores de temperatura de superfície, utilizaram-se os valores médios de emissividade, para cada cobertura: áreas vegetadas -0.95 e áreas não vegetadas - 0.92 e água 0.97<sup>10</sup>. Estes valores médios podem mascarar alguns

<sup>10</sup> Os valores médios para áreas vegetadas e não vegetadas foram aqueles definidos por NICHOL (1994: 1228) e o valor médio para água foi extraído de BERMAN (Op Cit: 13)

dados pois, para os solos, a emissividade aumenta com o crescimento da umidade, e os telhados de zinco podem parecer frios nas imagens térmicas diurnas devido à baixa emissividade da telha de zinco ( $\epsilon=0.2$ ) apesar de um forte aquecimento, o que é particularmente importante num meio urbanizado.

Definidos os valores de emissividade para cada tipo de superfície, foi necessário demarcar estas superfícies na imagem. Na impossibilidade de se obter um mapa detalhado do tipo de cobertura da superfície na Região Metropolitana de Porto Alegre, em função de se ter adquirido uma imagem somente com 3 bandas e uma delas ser a termal, fez-se uma classificação a partir de duas bandas (TM3 e TM4). Obteve-se através destes canais uma imagem do Índice de Vegetação (*normalized difference vegetation index*) da área através do módulo de sobreposição do IDRISI, definido pela seguinte equação da figura 3.13.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Banda4} - \text{Banda3}}{\text{Banda4} + \text{Banda3}}$$

Figura 3.13 - Fórmula para obter uma imagem de NDVI

A partir dessa imagem definiu-se um corte no índice de densidade de vegetação para distinguir área não vegetada de vegetada e um corte para distinguir água, através de um módulo do IDRISI que permite criar classes, chegando-se à imagem **Cobert** somente com três definições de cobertura de superfície: 1= água, 2= área não vegetada e 3= área vegetada (Figura 3.14).

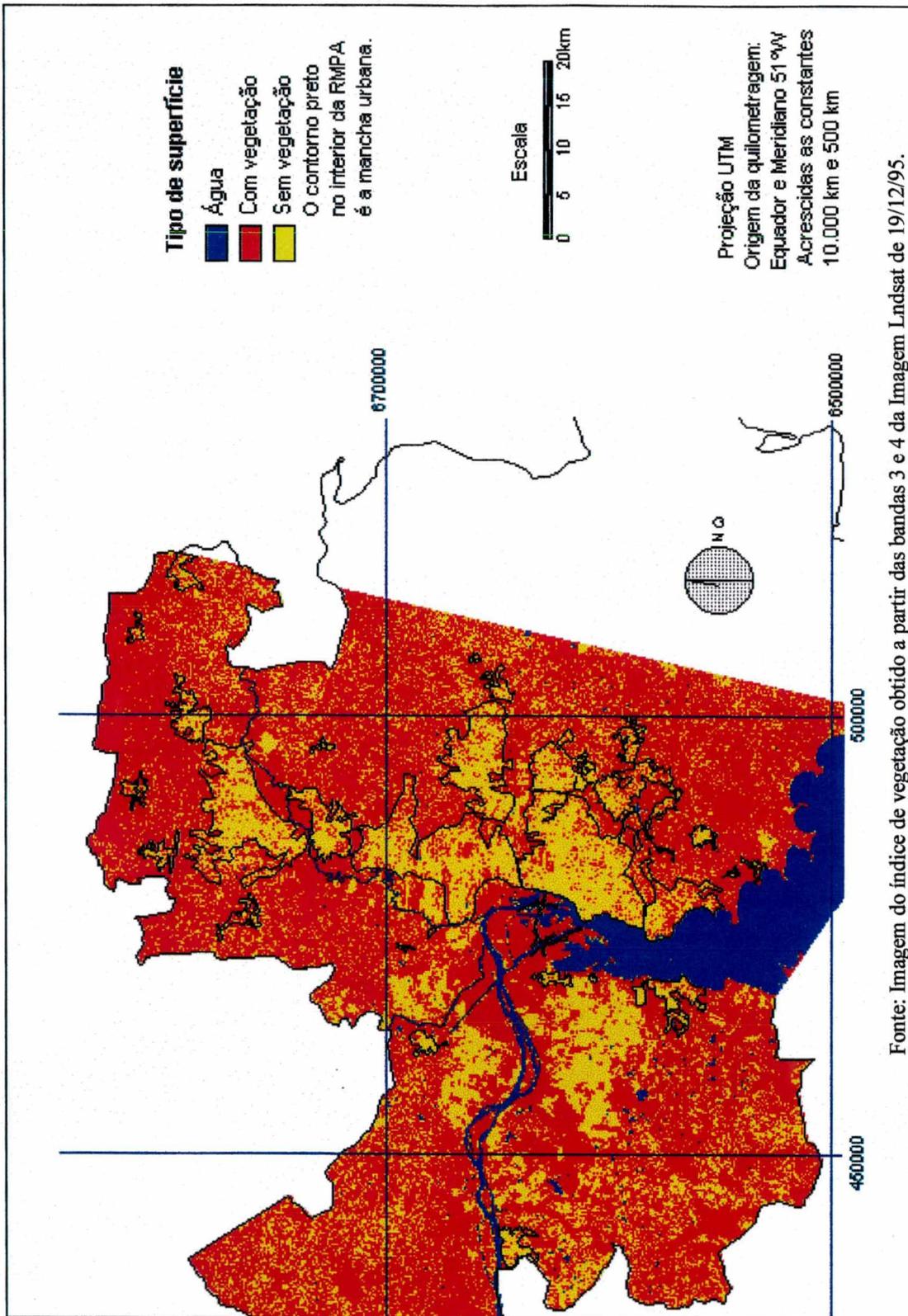
Nesta imagem destaca-se claramente a área urbanizada da grande Porto Alegre como uma grande mancha em cor amarela alinhada basicamente no sentido sul norte desde a margem esquerda do Guaíba, mas também apresentando alguns tentáculos na direção leste e nordeste. Na margem

---

direita do Guaíba, salienta-se outra mancha amarela que corresponde, em parte, às cidades de Eldorado do Sul e Guaíba, mas representa, em maior escala, os solos nus preparados para o plantio do arroz. Destacam-se como áreas com vegetação, o Delta do Jacuí ao centro, a várzea do Rio dos Sinos entre São Leopoldo e Novo Hamburgo, e a Serra Geral ao norte.

Tendo como imagem de fundo a Banda 3, definiram-se polígonos que identificavam áreas urbanas, visualizáveis pela cor, textura e geometria neste canal. Assim, mesmo que do ponto de vista da emissividade não se possa fazer uma distinção marcante entre o Solo nu (rural) e a área mineralizada (urbana), delimitaram-se as áreas urbanas com um contorno em preto para facilitar a sua identificação no contexto metropolitano.

Criou-se um novo arquivo a que se atribuiu o valor da emissividade correspondente a cada uma das superfícies identificadas. Às que representavam áreas vegetadas foi atribuído o valor 0.95, para a água foi atribuído o valor 0.97 e para as que representavam áreas não vegetadas o valor 0.92.



Fonte: Imagem do índice de vegetação obtido a partir das bandas 3 e 4 da Imagem Landsat de 19/12/95.

Figura 3.14 - RMPA- Classificação de uso do solo para estimativa da emissividade da superfície.

### 3.3.2.2 Cálculo das temperaturas de superfície

Existem três técnicas utilizadas para o cálculo das temperaturas de superfície da terra a partir de imagens originadas do satélite Landsat 5, sintetizados por Bariou et al (1993, p.75). Estas técnicas convertem os valores de radiância da imagem em temperatura do corpo negro usando basicamente a Lei de Planck. No entanto, segundo Nichol (1994), estas técnicas podem subestimar ou superestimar a temperatura de superfície, se não forem feitas correções de acordo com a emissividade de cada cobertura do solo. Em função disso optou-se pelo método proposto em 1992 por Artis & Carnahan (Apud Nichol 1994, p.1227-1228) e utilizado por Nichol para o cálculo das temperaturas de superfície de Singapura.

Os valores de temperatura de superfície para toda a área metropolitana foram obtidos então pela equação da Figura 3.15.

$$T_s = T_b / 1 + (\lambda T_b / \alpha) \ln \epsilon$$

Fonte: Nichol, 1994.

Figura 3.15 - Equação para o cálculo da temperatura de superfície.

Seguem os significados de cada uma das expressões da equação:

- a)  $T_b$  = temperatura que emitiria a superfície se fosse um corpo negro perfeito;
- b)  $\lambda$  = comprimento de onda médio da radiância emitida pela banda 6 (11.5 $\mu$ m);
- c)  $\alpha$  =  $hc/K$  (1.438x 10<sup>-2</sup> m K), onde:

- c.1)  $K =$  Constante de Stefan Boltzmann ( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K)
- c.2)  $h =$  Constante de Planck ( $6.28 \times 10^{-34}$  J seg), e
- c.3)  $c =$  velocidade da luz ( $2.998 \times 10^8$  m/seg);
- d)  $\ln \varepsilon =$  logaritmo natural da emissividade da superfície.

A resolução da equação foi definida em três passos: definição do numerador da equação, definição do denominador da equação e por fim, definição da temperatura da superfície.

#### 3.3.2.2.1 Definição do numerador da equação

A imagem que definiu a temperatura de corpo negro  $T_b$  de cada "pixel" foi obtida submetendo-se a imagem termal ao processamento "Thermal" do Sistema IDRISI. Esse processo de conversão está baseado em Bartiolucci, L. A. e Chang, M (Apud Eastman, 1995), e permite o tratamento tanto de imagens do LANDSAT 4 como do LANDSAT 5. Utilizamos a temperatura em graus Kelvin como unidade de saída da imagem obtida (**Bodytemp**) por ser o mais usual para temperatura do corpo negro e por ser o valor requerido na equação.

#### 3.3.2.2.2- Definição do denominador da equação

O denominador da imagem foi obtido a partir das etapas descritas nos parágrafos que seguem.

Primeiro atribuíram-se os valores do logaritmo natural da emissividade a cada "pixel" para os três tipos de coberturas da superfície definidas na imagem de uso do solo sendo:  $\log_n 0.97 = - 0.03045921$ ,  $\log_n 0.95 = - 0.05129329$  e  $\log_n 0.92 = - 0.08338161$ . A nova imagem foi denominada **lognat**.

Em seguida fez-se a multiplicação da imagem **bodytemp** ( $T_b$ ) pelo valor médio do comprimento de onda do infravermelho térmico ( $11,5\mu\text{m}$  ou  $0,0000115\text{m}$ ) através da operação SCALAR. A nova imagem foi denominada **etapa2** e representa a expressão  $\lambda T_b$ .

A imagem **etapa2** foi dividida pelo valor de  $\alpha$ , também através do módulo SCALAR. A nova imagem obtida foi denominada **etapa3** ( $\lambda T_b/\alpha$ ). Para obter-se a expressão  $(\lambda T_b/\alpha)\ln\varepsilon$  multiplicou-se a imagem **etapa3** ( $\lambda T_b/\alpha$ ) pela imagem **lognat** denominando-se a nova imagem como **etapa4**.

Para obter-se uma imagem onde cada pixel tivesse o valor 1, foi definida uma nova imagem, com o mesmo número de linhas e colunas e mesmas coordenadas que as anteriormente criadas, à qual atribuiu-se o valor inicial 1 para todos os elementos da imagem. Assim, a imagem **etapa5** foi definida através do módulo INITIAL.

As imagens **etapa4** e **etapa5** foram somadas, através do módulo OVERLAY, chegando-se assim ao denominador da equação (imagem **etapa6**).

### 3.3.2.2.3 Definição da temperatura de superfície

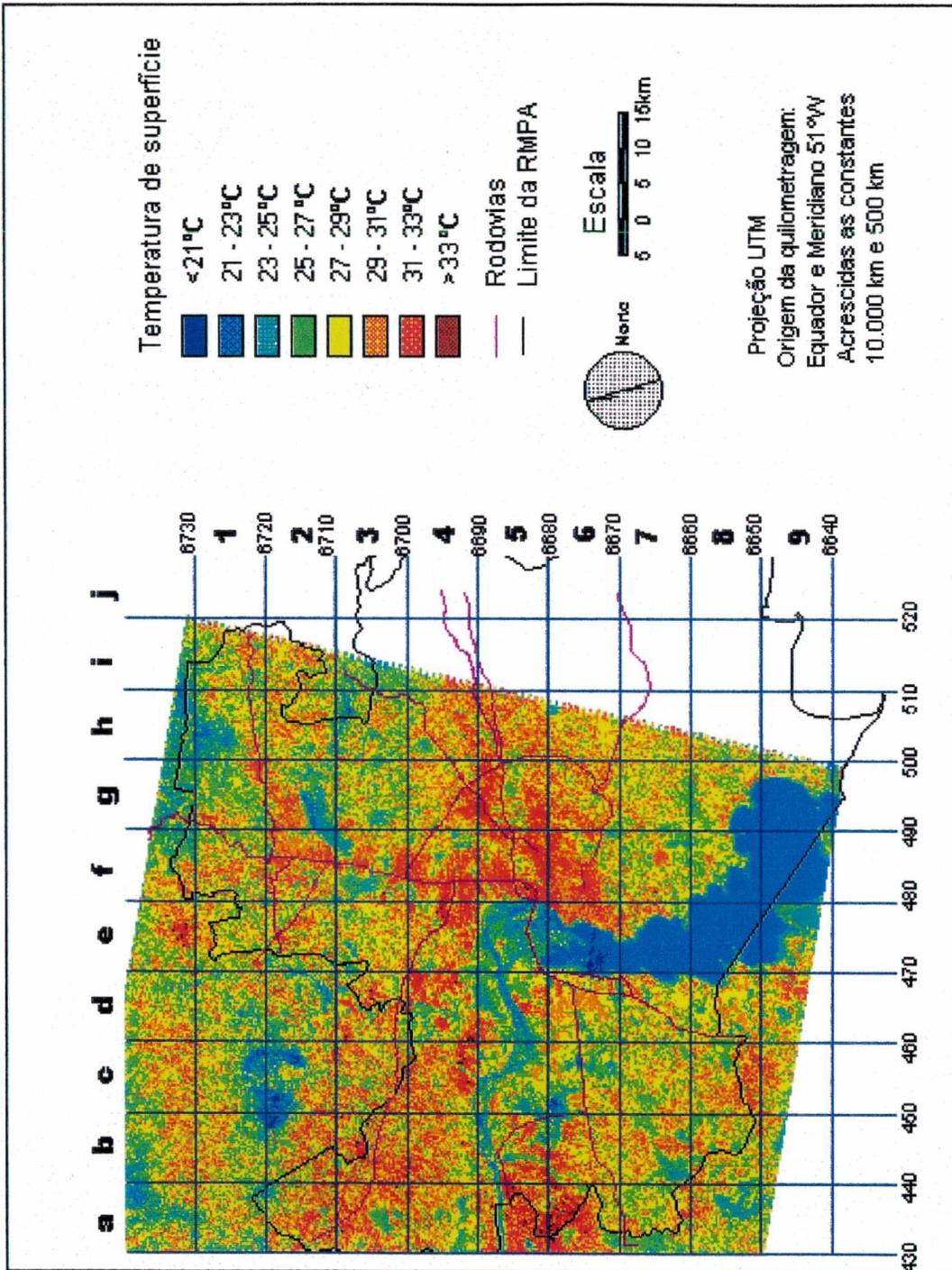
Através do módulo OVERLAY que permite uma operação de divisão de uma imagem pela outra ( $T_b$  pela imagem **etapa6**) obteve-se a imagem **tempkelv** que corresponde a temperatura de superfície de cada "pixel" em graus Kelvin.

Para tornar os valores obtidos em graus Kelvin comparativos com aqueles medidos nas estações meteorológicas convencionais, subtraiu-se o valor 273.1 de cada "pixel" através do módulo SCALAR e obteve-se a imagem

**celsius1**, onde agora o valor de cada "pixel" corresponde à temperatura em graus centígrados.

Para uma melhor visualização a imagem **celsius1** foi reclassificada pelo módulo RECLASS definindo-se as seguintes classes: 1 - < 21°C, 2 - 21°C a 23°C, 3 - 23°C a 25°C, 4 - 25°C a 27°C, 5 - 27°C a 29°C, 6 - 29°C a 31°C, 7- 31°C a 33°C, 8 -33°C a 35°C e 9-35°C a 37°C.

A imagem obtida, devidamente georeferenciada e combinada com alguns traços de identificação da paisagem pode ser visualizada na figura 3.16 e será descrita no capítulo seguinte.

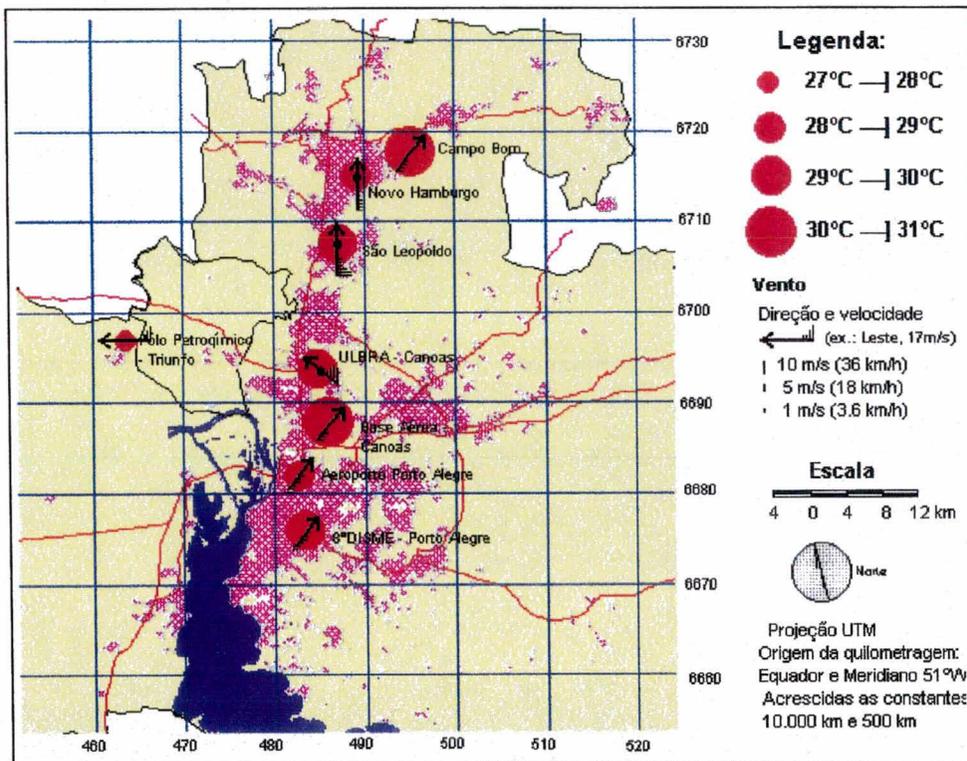


Fonte: Tratamento da Imagem de satélite (Bandas 3, 4 e 6) de 19/12/95.

Figura 3.16 - RMPA - Temperatura de superfície às 9h e 50 minutos de 19/12/95.

### 3.3.3 Relação entre as temperaturas de superfície e a temperatura medida nas estações meteorológicas

Observou-se que no dia 19/12/95, o gradiente térmico horizontal das temperaturas radiativas de superfície é muito superior àquele registrado pelas estações meteorológicas a 1.5m da superfície:  $\Delta t$  superfície - 19°C,  $\Delta t$  abrigos meteorológicos às 9 horas - 3,2°C (Figura 3.17).



Fonte: Elaborado com base nos dados registrados no horário padrão.

Figura 3.17- RMPA - Temperatura, direção e velocidade do vento nas estações meteorológicas no dia 19/12/95 às 9 horas.

Esta diferença se explica pelas próprias circunstâncias de medida das temperaturas. Em meteorologia, para que os dados registrados de maneira contínua sejam homogêneos e comparáveis com aqueles de outras

estações, as medidas são efetuadas sempre da mesma forma: o termômetro está dentro de um abrigo a 1,5m da superfície, envolto por persianas (para permitir a passagem do ar, mas protegido da radiação solar direta e da irradiação do solo) e localizado num terreno plano, gramado e exposto aos ventos mais freqüentes.

O mesmo tipo de cobertura de solo (gramado) e a má condução do calor do solo pelo ar explicam a homogeneização da temperatura do ar para as estações meteorológicas.

Em dias de tempo claro e calmo (como no dia 19/12/95 às 9h e 50min), os dados termais do satélite permitem extrapolar o campo térmico, atentando, contudo, para o fato de que há diferenças na maneira como ocorrem os mecanismos de transferência de calor entre o solo e o ar, nos ambientes. As grandes diferenças de temperatura captadas pelo satélite se transmitem somente em parte ao ar, isto porque ele se move e produz uma mistura. Por exemplo, a cartografia térmica de superfície registrou as máximas temperaturas entre 35°C e 37°C numa área à oeste-sudoeste do Aeroporto Salgado Filho. No entanto, mesmo com o vento vindo destas áreas com superfícies muito aquecidas, a temperatura do ar registrada para a estação meteorológica do Aeroporto foi de 29°C às 9h e 30°C às 10h.

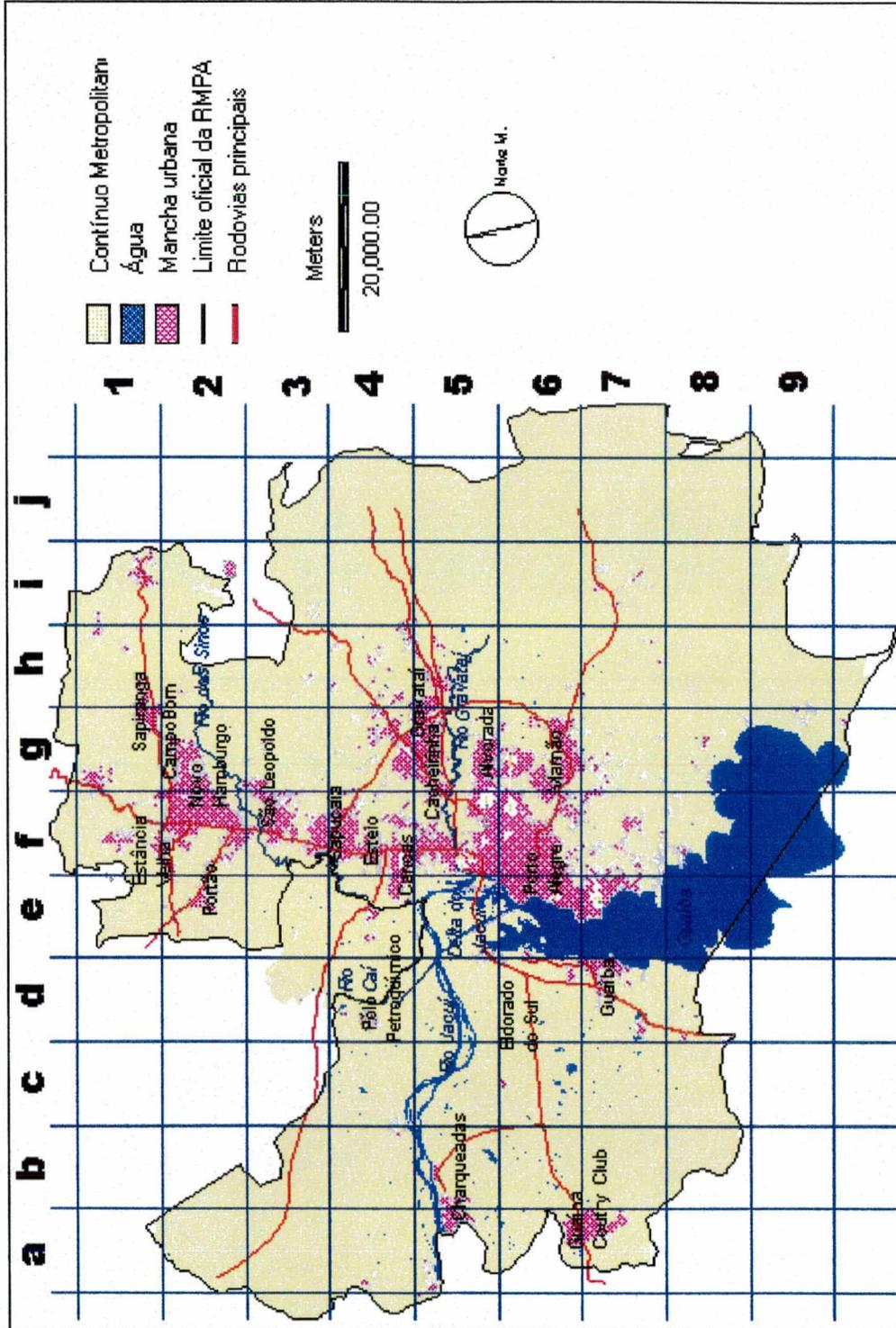
Por outro lado, como a vista do satélite é vertical, não se pode dizer que o valor medido é aquele ao nível do solo. Para elementos verticais como grandes árvores e construções, a superfície registrada pelo sensor é em parte a copa ou o telhado, em parte a sombra que estes objetos projetam no chão, em detrimento do volume de ar aquecido por estes ambientes. A área mais verticalizada de Porto Alegre não é a que aparece mais quente na imagem (figura 3.16), o que certamente tem relação com a observação acima.

## **4 A INTERAÇÃO ENTRE A TERMOGRAFIA LOCAL E AS CONDIÇÕES AMBIENTAIS NA RMPA**

Neste capítulo, a partir das sínteses elaboradas em separado, das características geográficas metropolitanas, do clima regional e do campo térmico local, estabelece-se a relação entre os elementos formadores do campo termodinâmico do clima na RMPA, identificando as relações de causa e efeito entre os elementos, assim como a relevância de cada um na constituição de diferenças térmicas locais.

### **4.1 Os grandes contrastes térmicos da superfície**

A identificação geográfica nas imagens que abrangem a RMPA é facilitada pelo conjunto dos rios que deságuam no Guaíba formando um delta e pela individualização evidente das áreas de banhado (Várzea do rio do Sinos) e da escarpa do Planalto a norte da imagem. No entanto, para facilitar a localização dos tipos de uso e de ocupação do solo e de sua resposta termal, foi criado um sistema de coordenadas (letras e números) no Mapa de Temperatura de Superfície (Figura 3.16) e no mapa base da RMPA (Figura 4.1).



Fonte: Metroplan, 1991.

Figura 4.1 - RMPA - Mapa base de localização.

Confrontada com as cartas elaboradas na análise espacial (Capítulo 4), a imagem de satélite coloca em evidência o comportamento térmico dos principais tipos de uso e ocupação do solo na Região Metropolitana de Porto Alegre. Os principais contrastes térmicos aparecem entre as zonas cobertas de água, vegetadas e as vertentes com orientação sul - frias, e os espaços extremamente mineralizados - quentes. De maneira geral, pode-se observar:

a) As áreas mais aquecidas. As áreas mais quentes (em marrom escuro) não são de uso diretamente urbano São elas: algumas parcelas do meio rural com solos bruno-escuros secos e sem cobertura vegetal na várzea dos rios dos Sinos (**e4**) e na várzea do rio Jacuí ao Sul do Pólo Petroquímico (**d5**); - áreas de extração e depósito de Carvão Mineral em Charqueadas (**a6-a5**); e a região ao norte de Porto Alegre, onde convergem os eixos da Rede Ferroviária Federal e do TRENSURB (Trem Metropolitano de Superfície) e da BR-116 próximo ao Aeroporto Salgado (**f5**).

b) Também constam como áreas mais aquecidas (em vermelho)

b.1) As áreas urbanas densas, predominantemente horizontais e com pouca cobertura vegetal (ambientes urbanos industriais e residenciais de ocupação recente) : em Canoas, a zona oeste e o sul da cidade próximo ao rio Gravataí (**e4 – f4** sul); a faixa urbanizada que segue do Norte de Porto Alegre a Alvorada ( limite entre **f5-f6** e sul de **g5**); o Bairro Restinga em Porto Alegre (**f7**); a cidade de Sapucaia (limite **f3-f4**); a cidade de São Leopoldo (centro de **f3**); a conurbação entre São Leopoldo e Novo Hamburgo ao longo da BR-116 ( **f2**); e a conurbação ao longo da RS- 239 (**f1-f2** e **g1-g2**).

b.2) Parcelas do meio agrícola com solo nu e seco preparadas para o plantio, ou áreas de expansão urbana, principalmente a

sudoeste de Triunfo (**d4-d5**) e oeste da cidade de Gravataí ( **h4-h5** e **i4-i5**), bem como áreas de extração e depósito de Carvão Mineral próximo às áreas localizadas em Charqueadas (**a5** e **a6**).

c) áreas com temperatura de superfície medianamente quente (em laranja e amarelo)

c.1) Os centros comerciais e de negócios das principais cidades da RMPA se apresentam menos aquecidos, estando num estado semelhante aos ambientes urbanos residencias tradicionais bem arborizados (em laranja). Destacam-se o centro de Porto Alegre (noroeste de **e6**), o centro de Novo Hamburgo (centro – leste de **f2**).

c.2) Em amarelo estão as áreas mistas, contendo superfícies mineralizadas e vegetadas. Nos ambientes heterogêneos, as dimensões do pixel (120m x 120m) não permitem a diferenciação de cada objeto que se encontra neste espaço e a resposta térmica traduz a combinação entre uma tendência fria (da vegetação) e outra quente (pela dominante mineral) . As superfícies em amarelo na imagem são mais freqüentes no meio rural (vegetação pouco desenvolvida) mas também ocorrem nas áreas urbanas (parques, franjas urbanas, ruas arborizadas).

d) As áreas de menor temperatura (ciano e azul)

d.1) Os cursos d'água e as superfícies aquáticas: O rio Jacuí e o delta do mesmo rio (**a5** a **e5**); o lago Guaíba ; e o banhado do rio dos Sinos (**f2**, **g2** e **h2**).

d.2) As áreas densamente vegetadas do norte da RMPA (**f1**, **g1**, **h1**) principalmente quando nas vertentes orientadas para sul.

d.3) Áreas reflorestadas a oeste do Guaíba (**e9**, **b7** e **b6-c6**).

A análise global dos comportamentos térmicos por ambiente requer o estabelecimento de relações com as condições bioclimáticas e com a

natureza das superfícies de emissão da radiação. Faz-se algumas considerações a este respeito nos parágrafos que seguem.

Os ambientes aquáticos, em função de sua forte inércia térmica, acumularam o frio durante o inverno e, portanto, se aquecem mais lentamente; além disso a intensa evaporação que se produz junto a estas superfícies acentua seu caráter frio.

A vegetação densa, pelos fenômenos de evapotranspiração e pela importância de sua superfície foliar, que intercepta a radiação solar sem poder estocá-la de maneira eficaz, aparece igualmente fria. Cada um dos órgãos da planta, tais com as folhas, as agulhas, os ramos e troncos, se comportam como terra firme, recebendo e emitindo radiação, evaporando e efetuando trocas de calor com o ambiente. Os órgãos das plantas distinguem-se, porém, do solo porque são permeáveis às radiações de curto comprimento de onda

O espaço urbano residencial tradicional e o núcleo central de negócios não aparecem tão quentes como os ambientes industriais e residenciais de ocupação mais recente, já que nestas áreas nota-se sobretudo a presença de vegetação (parques, ruas arborizadas, jardins) e numerosas superfícies de sombra produzidas pelas construções.

Por fim, os espaços agrícolas com solo nu e as zonas de atividade industrial e de transporte aparecem muito quentes em razão do aquecimento rápido de sua superfície dado pela ausência de água (terra fortemente ressecada a esta data) e pela má condutividade térmica ao interior do solo.

## **4.2 Resultados combinando as bandas espectrais - A composição colorida TM346**

Conforme as análises precedentes, o comportamento térmico das principais unidades espaciais na RMPA está fortemente relacionado à

presença de água e ao fator “vegetação”, em função da sua estrutura e densidade, ou da sua ausência (superfícies mineralizadas). Desta forma, optou-se por combinar o canal termal às outras duas bandas que evidenciassem o fator “vegetação”(Canal TM 4- 0,76 a  $0,90\mu\text{m}$  – biomassa e reflectância) ou a falta dele (Canal TM30,63- $0,69\mu\text{m}$  - Banda de absorção da clorofila na vegetação verde sadia e reflexão nas áreas mineralizadas).

Num primeiro momento procedeu-se a uma manipulação de contrastes dos níveis de cinza com o objetivo de tornar a imagem mais nítida e realçar as diferenças no uso do solo e as diferenças térmicas à superfície. Combinando o canal térmico com dois outros canais de melhor resolução espacial (3- vermelho e 4- infravermelho próximo), foi possível ressaltar a superfície edificada, a vegetação e a temperatura de superfície. Para poder combinar o canal 6 com os demais canais do TM, é preciso subdividir o pixel de  $120\text{m} \times 120\text{m}$  em 16 pixels de  $30\text{m} \times 30\text{m}$ . Como a combinação da imagem não georeferenciada ficou mais clara na diferenciação de tons do que a georeferenciada, optou-se por incluir a primeira para visualização (figura 4.2)

Da combinação de duas outras bandas à imagem termal básica, segundo Cantat (1987, p. 63), cria uma imagem de maior resolução espacial, já que o pixel da banda termal ( $120\text{m} \times 120\text{m}$ ) é combinado com outros pixels de resolução  $30\text{m} \times 30\text{m}$  e, além disso, obtém-se uma maior riqueza de informações, já que se cria uma imagem evidenciando outras características do meio além da emissão térmica de superfície.

Esta riqueza qualitativa (superposição de 3 canais) e quantitativa (16 vezes mais pixels) torna a imagem, por sua vez, mais complexa na interpretação. No entanto, a partir da análise espacial da RMPA e da interpretação do mapa das temperaturas de superfície já realizada, pode-se afirmar que na figura 4.2:

- a) em tons esverdeados aparecem as áreas cobertas de vegetação, sendo que quanto mais forte a tonalidade do verde, mais expressiva é a vegetação da área. Em destaque aparecem

o Parque do Delta do Jacuí ao centro, a área próxima ao rio dos Sinos no centro nordeste e as encostas da Serra Geral a norte.

b) em tons de vermelho e magenta aparecem as áreas mais aquecidas, sendo que nesta classe se encontravam as áreas urbanas densas horizontalizadas, as vias cobertas por asfalto (como a BR-116), e os solos nus e secos.

c) em tons de salmão e amarelo aparecem as áreas de solos rurais com fraca cobertura de cultivos ou mata ensolarada e áreas de extração mineral (porção centro-oeste da imagem).

c) em tonalidade azul escura aparecem os principais corpos d'água que são também as áreas menos aquecidas. As áreas urbanas menos aquecidas aparecem em tonalidade azul clara e as áreas de cultivo de arroz aparecem predominantemente na cor ciano (centro- ao sul do rio Jacuí).

d) O centro das cidades, em função da verticalização, bem como as áreas residenciais urbanizadas, mostram uma mistura de "pixels" onde predomina o azul. Este caráter mais frio é o resultado da heterogeneidade da superfície ativa que, a esta hora, mostra em grande parte o efeito da sombra dos edifícios na definição da temperatura de superfície.

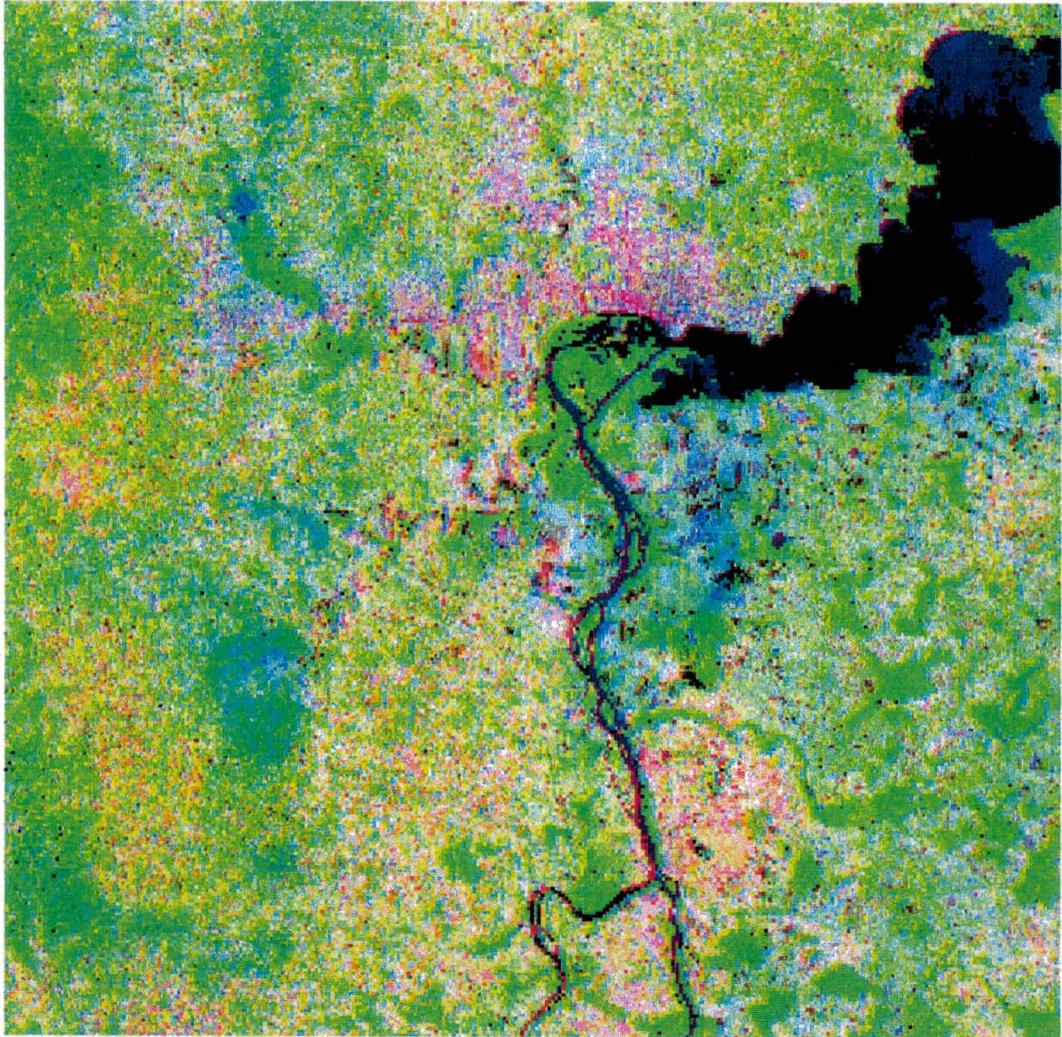


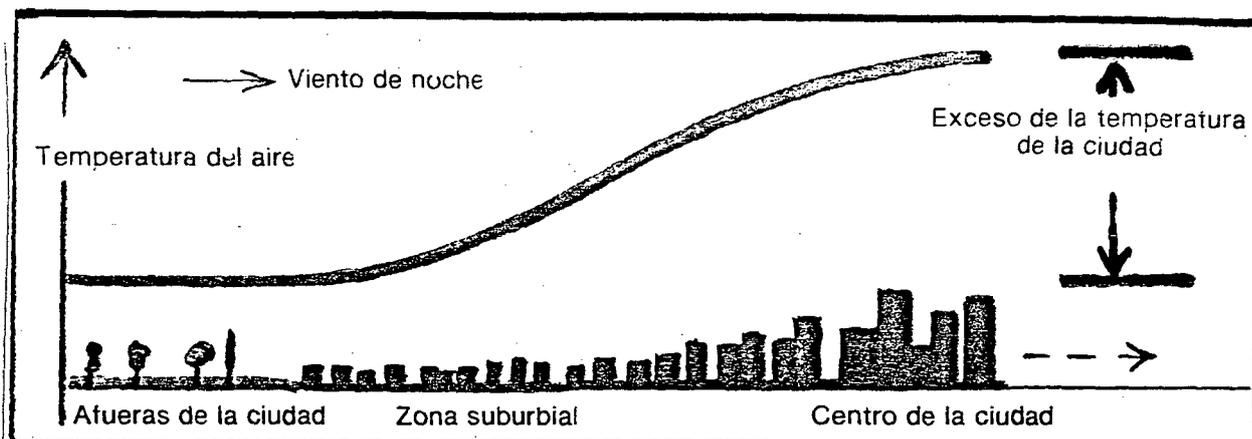
Figura 4.2- RMPA- Composição colorida (com346) LANDSAT 5 TM de 19/12/95.

### 4.3 O impacto da urbanização

Num primeiro momento, não se procurou entender o espaço da RMPA com os fundamentos e metodologia do Sistema Clima Urbano, já que além das áreas comprometidas com a urbanização, ela ainda compreende áreas relacionadas à atividade agro-pastoril, à silvicultura e à extração mineral. No entanto, não se pode negar que o processo mais significativo na alteração do ambiente natural na área é a urbanização, como se estabeleceu como hipótese no início deste trabalho. Através da análise dos dados orbitais e terrestres para o estudo do clima local na RMPA percebeu-se que, o maior impacto do homem sobre o clima acontece nas áreas urbanas, principalmente do ponto de vista do aumento de temperatura (o fenômeno chamado ilha de calor).

A Mancha urbana da RMPA se caracterizou através da imagem de temperatura de superfície como uma ilha de calor, o que pode ser visualizado quando se sobrepõe os limites da mancha urbana sobre a imagem de temperatura de superfície. As áreas em vermelho forte (temperaturas acima de 31°C) praticamente se concentram no interior da mancha urbana. As poucas manchas com altas temperaturas que aparecem fora destes limites são como se verificou, as áreas de solo bruno – escuros sem cobertura vegetal e as áreas de mineração de carvão a céu aberto.

Por outro lado, a configuração da ilha de calor metropolitana obtida através da interpretação da imagem termal do Satélite Landsat 5 TM, quando analisada internamente, não segue exatamente o modelo clássico (Figura 4.3) em forma de domo, idealizado por Oke (1978). Dois fatores que poderiam explicar esta não conformidade são: o momento do registro do satélite (~10horas) e a disposição da mancha urbana, que se caracteriza uma urbanização do tipo complexo multi-nucleado (Figura 2.8). Este modelo se aplicaria melhor a uma cidade única e não a uma Região Metropolitana.



Fonte: WMO, s. d.

Figura 4.3- Modelo clássico de configuração da ilha de calor.

Os centros de negócios que deveriam ser, segundo o modelo de Oke (1978), as áreas mais quentes, na imagem de satélite se mostraram como áreas medianamente quentes ou até frias. Isto ocorre em função das estruturas destas áreas verticalizadas: quanto mais altas as construções, mais importantes espacialmente são as sombras (frias) que elas projetam. Assim o que o sensor do satélite registra são as emissões dos telhados e terraços juntamente com as sombras. Por outro lado, os próprios estudos de clima urbano reconhecem que, pela manhã, com o equilíbrio do balanço de radiação, associado à baixa atividade urbana, há uma diminuição ou até inversão do fenômeno da ilha de calor, formando-se uma ilha de frio.

Em regra geral, a partir do experimento de campo realizado, pode-se dizer que a maior evidência de uma ilha de calor de acordo com o modelo clássico (onde as maiores temperaturas ocorrem no centro comercial) ocorre às 21 horas. É provável que uma imagem termal noturna seria mais apropriada para colocar em evidência o calor das áreas centrais das cidades mais importantes da RMPA. O armazenamento de calor no interior destes ambientes intensamente verticalizados contribuiria na manutenção de uma radiação

térmica de superfície bem mais forte que nas áreas rurais, ou mesmo nas demais áreas urbanas.

A princípio, não se pode querer transpor o modelo proposto para o clima urbano para o estudo de clima metropolitano. As próprias proporções das representações (Figura 4.3 e 2.8) já mostram que as escalas são diferentes, em algumas metrópoles mais compactas, no entanto, este modelo se mantém. O crescimento da mancha urbana na RMPA porém, não é concêntrico, ou seja, não se dá em torno de um único centro; há vários núcleos urbanos que, ao longo de todas as principais rodovias estão se conurbando.

## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

O presente trabalho, em termos de constatação de diferentes ambientes térmicos na RMPA, corresponde a um estudo exploratório da questão, na medida em que os resultados alcançados, desde o ponto de vista científico, carecem de amostragem maior para que as aplicações dos fatos possam ser tomadas como conclusivas.

Por outro lado, dentro do que se propõe uma dissertação final de pós-graduação, fez sentido o caminho adotado, em função do horizonte aberto para o tipo de estudo empreendido, até então virgem na abordagem sistematizada, ou não para o universo da RMPA.

O grande desafio metodológico deste trabalho foi analisar o campo termodinâmico na escala da região metropolitana, que além de se inserir numa escala diferente daquela dos estudos clássicos de clima urbano, não se constitui somente de uma área urbana.

Desnecessário reafirmar que o trabalho, nos termos em que propõe a questão, poderia alcançar vários outros estágios bem mais profundos do conhecimento da realidade. Contudo, há que se considerar o rol de restrições a que está sujeita qualquer investigação que busca estabelecer pontes entre diferentes técnicas de estudo, sem que para tanto correspondam estímulos efetivos no âmbito do apoio material. Neste escopo se definem os resultados obtidos.

A cartografia teve um espaço importante neste trabalho, em função do nosso interesse em explorar as possibilidades do sensoriamento remoto e do sistema de informações geográficas. Além disso, acredita-se que a cartografia deve ser a marca de um trabalho de climatologia geográfica. Porém este processo não ocorreu livre de percalços. Antes de iniciar a pesquisa acreditava-se que escolher a RMPA como área de estudo traria vantagens, pela possibilidade de obtenção de uma cartografia digital detalhada das variáveis

ambientais passíveis de definirem o clima local. No entanto, não foi possível utilizar os dados existentes, em função do modo como estes dados estavam armazenados. Assim, foi despendido muito tempo até chegar-se aos mapeamentos de interesse (evolução urbana, uso do solo, características entorno das estações, diagramas de obstrução do horizonte) e não foi possível desenvolver todos os mapeamentos e cruzamentos que se pretendia.

O levantamento da temperatura do ar (à 1.5m) na RMPA mostrou que, nesta escala de análise, é impossível isolar-se a variável uso do solo para efeito de demonstrar prováveis ilhas de calor. Embora seja clara a interferência do mesmo no aquecimento das áreas, a configuração geomorfológica, bem como a disposição das diferentes áreas frente ao sol e ventos são fatores igualmente importantes.

Os dados levantados atestaram que a urbanização, quando verticalizada, funciona como armazenador de calor, pois o mini-abrigo entre prédios registrou nas duas vezes a temperatura mais alta a noite. Quanto a influência do sítio no processo de aquecimento dos ambientes, percebeu-se que a estação Campo Bom tem seu processo de aquecimento/resfriamento diretamente ligado à exposição do plano de declividade da encosta em que se localiza em relação ao movimento do sol.

Por outro lado, verificou-se que para a temperatura do ar, a circulação atmosférica acaba tendo de fato, um papel tão ou até mais importante que o diferencial aquecimento das superfícies, pois, todos os ambientes abertos se comportaram com valores próximos, independente da constituição da superfície do solo. Isto demonstra que para a temperatura tomada a 1,5m do solo, condições favoráveis à ventilação minimizam o efeito do diferencial aquecimento das superfícies.

Outras investigações episódicas, poderão, no futuro, apresentar resultados referidos a outras situações de tempo, buscando explicitar o comportamento da RMPA frente às variações climáticas sazonais, bem como,

em diferentes dias da semana, de modo a fechar o ciclo de pesquisas importantes na caracterização do fenômeno, numa visão mais processual e dinâmica.

Um maior número de pontos de observação de temperatura e umidade do ar e a repetição dos experimentos em diferentes estações do ano e diferentes situações sinóticas, permitiriam uma extrapolação para outros ambientes e um mapeamento da temperatura do ar através de isolinhas.

Por outro lado, o emprego do sensoriamento remoto, técnica que possibilitou cobrir praticamente toda a RMPA, pelo menos seu contexto mais urbanizado, permitiu uma avaliação original e promissora dos diferentes ambientes climáticos existentes nesta área.

O principal trunfo desse novo instrumental residiu na obtenção de uma cartografia detalhada da temperatura de superfície, que nenhum outro modo de tomada de temperatura permitiria. A análise da imagem do satélite Landsat TM 5, de 19 de dezembro de 1995, principalmente do canal termal, combinado aos canais 3 e 4, mostrou resultados que retomamos nos quatro parágrafos a seguir.

A mancha urbana se caracterizou, através da imagem de temperatura de superfície, como uma ilha de calor na RMPA, no entanto, a distribuição da temperatura internamente a mancha não mostra o padrão típico, com as áreas mais quentes nas áreas de maior verticalização. Conclui-se que este padrão não se configura, principalmente, pela hora do dia em que o satélite registrou a imagem, mas também porque o crescimento da mancha urbana na RMPA não ocorre em torno de um único centro. O caráter muti-nucleado da urbanização nesta área dificulta a formação de um único centro com a disposição concêntrica das isoterms.

As superfícies agrícolas da região que se encontravam desnudas e secas em função da estiagem que já se prolongava quase um mês mostram-se na imagem termal mais quentes que as áreas urbanas. Também as áreas de extração mineral a céu aberto, no município de Charqueadas

registraram temperaturas de 2 a 3°C mais quentes que a média das áreas urbanas.

A relação estreita entre ocupação do solo urbano e ilha de calor, com suas variações espaciais, comprova a necessidade de manutenção dos espaços verdes intersticiais na Região Metropolitana de Porto Alegre, principalmente ao longo das várzeas dos rios Sinos, Gravataí, Caf e Jacuí (principalmente do Delta do Jacuí). Estes são os ambientes, juntamente com a escarpa da serra Geral, onde se registram baixas temperaturas no contexto metropolitano. As variáveis ambientais, que certamente se associam para a formação destas ilhas frias, são à concentração de vegetação e a orientação das vertentes. Em função das diferenças de densidade do ar que se encontra nestas áreas em relação as áreas urbanas, podem desenvolver-se brisas de ar fresco a partir dos ambientes mais frios para as cidades.

Nas áreas fabris e de circulação viária, onde as áreas verdes são mais ausentes, e que se mostraram muito quentes já pela manhã, há a necessidade crescente de elevar a proporção desse tipo de ocupação.

Pela evolução da mancha urbana na RMPA, nota-se uma tendência de preenchimento dos espaços entre os diversos eixos urbanos. Em vista da ocupação destes interstícios, fica evidente a necessidade de um planejamento conveniente, de forma a otimizar o ambiente e corrigir uma série de falhas estruturais e funcionais, e o clima local é elemento essencial nesse planejamento, uma vez que ele constitui importante indicador da qualidade ambiental urbana.

Apesar dos bons resultados obtidos com a teledeteção neste trabalho, tem-se claro que esta técnica não pode eliminar os outros métodos de análise em mesoclimatologia, uma vez que a variável medida pelo satélite é diferente das variáveis fornecidas pelas estações meteorológicas. A continuidade no tempo da obtenção direta de um conjunto de parâmetros climáticos pelas estações no solo permanecem indispensáveis para o trabalho de climatologia, e complementares para as pesquisas em teledeteção. A cartografia térmica de

superfície obtida por teledeteção, não é diretamente comparável as temperaturas obtidas pontualmente pela meteorologia e às quais estamos familiarizados e sensíveis (temperaturas do ar). A equação de passagem entre os dados de satélite e a temperatura do ar não pode ser estabelecida diretamente.

Os resultados obtidos mostram que os dados do satélite TM devem encontrar um espaço maior e mais destacado nos programas de pesquisa em meso e microclimatologia. Por outro lado, são suficientemente encorajantes para propor-se um exame continuado, por teledeteção, do desenvolvimento dos fenômenos meso e microrclimáticos na RMPA. Podemos imaginar alguns domínios futuros de investigação.

A imagem utilizada neste trabalho, não foi escolhida aleatoriamente. A intenção foi justamente analisar uma situação de verão num período relativamente seco. Será interessante analisar a mesma área através de uma imagem termal registrada em outras situações, por exemplo no inverno ou mesmo no verão, depois de um período de chuva intensa. Outra possibilidade, que certamente traria informações complementares sobre a inércia térmica dos diferentes ambientes, seria a aquisição e tratamento de uma imagem noturna, cuja análise estivesse atrelada a uma imagem diurna.

Para melhor cercar as possibilidades da teledeteção térmica em matéria de climatologia, será desejável que os futuros estudos na RMPA se desenvolvam ao nível do terreno com um radiômetro portátil e termômetros clássicos como aqueles realizados por Lombardo, (1985) e Nichol (1994). A criação de referências de uso do solo fixas, em diferentes períodos, se revelarão certamente em instrumentos importantes para interpretar o valor das variações locais de temperatura de superfície.

A exploração mais racional dos valores radiométricos dados pelos outros 6 canais TM será igualmente desejável (visível e infravermelho próximo). Graças ao tratamento digital, esta multiplicação de informações concernentes ao ambiente, em cruzamento com o canal termal, pode se revelar

benéfica para aprofundar o conhecimento dos fenômenos meso e microclimatológicos.

Além do viés do sensoriamento remoto, para o caso da RMPA, considera-se ainda importante investigar os seguintes aspectos correlacionados com a temática em questão, que poderiam oferecer um quadro de referência valioso para o planejamento urbano-regional:

- a) a influência da proximidade das massas d'água do Lago Guaíba, combinado ao fator ventilação, na variação da temperatura e umidade do ar;
- b) o efeito da topografia na alteração e potencialização da circulação do ar.

Por outro lado, há que se realizar uma análise comparativa das diferenças térmicas entre os observatórios fixos ou convencionais, utilizando tratamento estatístico.

Certamente, um conjunto de investigações como o arrolado nesta seção, constitui um programa de trabalho, só possível de ser alcançado a médio e longo prazos, num centro de pesquisas, de preferência interdisciplinar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. O sítio urbano de Pôrto Alegre. In: AB'SABER, A. N., ROCHE, J. **Três estudos Rio-Grandenses**. Porto Alegre, Faculdade de Filosofia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1966.
- AB'SABER, A. N., ROCHE, J. **Três estudos Rio-Grandenses**. Porto Alegre, Faculdade de Filosofia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1966.
- ALMEIDA, M. S. **Políticas públicas da habitação e do transporte - Caso da Região Metropolitana de Porto Alegre**. Porto Alegre, 1989. Dissertação de Mestrado UFRGS-PROPUR.
- ALMEIDA, M. S. Porto Alegre no contexto regional: a questão da habitação e do transporte. In: PANIZZI, W. M., ROVATTI, J. F. **Estudos urbanos - Porto Alegre e seu planejamento**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1993, p.321-336.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1988.
- BARIOU, R., LECAMUS, D., LE HENAFF, F. **L'etalonnage des données**. Rennes: Centre Regional de télédétection/UHB/Rennes2, 1993. 108 p. (Dossiers de télédétection, n.8.).
- BERMAN, E. A. 1994 - **Exploring the environment through satellite imagery**. Tri-Space, Mc Lean- Virginea, 140 p.
- BERTALANFFY, L.von. **Teoria Geral dos Sistemas**. Tradução brasileira de francisco M Guimarães. Petrópolis: Vozes Ltda, 1973. 351p.
- BONADIMAN, H. **Hidrostática & Calor**. Ijuí: Unijuí, 1993. 248 p.
- BORJA, J., CASTELLS, M., DORADO, R., QUNINTANA, I. (eds). **Las grandes ciudades em la decada de los noventa**. Madrid: Editorial Sistema, s.d.

- BRANDÃO, A. M. P. M. **O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro.** Departamento de Geografia , FFCH/USP. São Paulo, 1996. 362F. Tese (Doutorado em Geografia) FFCH/USP.
- BRASIL. Lei n. 4771. **Código Florestal Brasileiro.** 1965.
- CANTAT, O. **Teledetection spatiale et microclimats- Le cas de la region d'Ile de France.** Paris: Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Region d'Ile de France, 1987. 190 p.
- CHANDLER, T. J. **The climate of London,** Londres: Hutchinson&Co., 1965.
- CHANDLER, T. J. **Urban Climatology and its Relevance to Urban Design.** Geneva: WMO(Tech. Note 149), 1976.
- CUNHA, K. B. **Técnicas de representações gráficas de índices morfométricos e outras variáveis aplicadas ao meio ambiente.** São Paulo, 1988, Dissertação Mestrado - USP/FFLCH.
- DANNI, I. M., **A ilha térmica de Porto Alegre. Boletim Gaúcho de Geografia,** Porto Alegre, AGB-PA, Porto Alegre, Nº 8, p.33-48, 1980.
- \_\_\_\_\_, **Aspectos temporo-espaciais da temperatura e umidade relativa de Porto Alegre em janeiro de 1982: Contribuição ao clima urbano.** São Paulo, 1987, 2v. Dissertação Mestrado - USP/FFLCH.
- DETWYLER, T. R.e MARCUS, M. G. **Urbanization and Environment: The Physical Geography of the City,** Belmont: Duxbury Press, 1972. 287p.
- EASTMAN, J. R. 1995- **IDRISI for Windows User's Guide.** Clark University, Worcester - MA, 178 p.
- ESKINAZI, C., MEISTER, R., PASQUALETTO, A.. **Região Metropolitana de Porto Alegre-RMPA- Mancha urbana.** Porto Alegre: METROPLAN, 1992. (Escala 1:250.000).
- FERRARO L. W. & HASENACK H.. **Avaliação das variáveis climáticas de superfície do Baixo Jacuí-RS.** Porto Alegre: ,1995. Relatório interno.

- FORESTI, C. , HAMBURGER D. S. Sensoriamento Remoto aplicado ao estudo do uso do solo urbano. In: TAUKE, S. M. (Org.) **Análise ambiental: uma visão multidisciplinar**. São Paulo: Fapesp, 1995. p.143-149.
- IBGE. **Projeto Radambrasil, Folhas SH/SI.22/21**, Rio de Janeiro: IBGE, 1986.
- IBGE. **Censo Demográfico 1991: análises preliminares**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria de Pesquisas, 1992. v. 1, não paginado. Versão preliminar.
- IBGE. **Censo Agropecuário 1995-1996**. Capturado em jul. 1997. Online. Disponível na Internet. <http://www.sidra.ibge.gov.br>.
- GARCÍA, M. C. **Estudio del clima urbano de Barcelona: la "isla de calor"**. Barcelona, 1990. 193f. Tese de Doutorado em Geografia - Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional de la Univesidad de Barcelona.
- GEIGER, R. **Manual de Microclimatologia - O clima das camadas de ar junto ao solo**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1961.
- HASENACK, H . O clima das cidades. In: PMPA- Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Anais do II Encontro Nacional de Arborização Urbana**. Porto Alegre: PMPA-SMAM, 1985. p. 47-50.
- \_\_\_\_\_. **Influência de variáveis ambientais sobre a temperatura do ar na área urbana de Porto Alegre**. Porto Alegre, 1986. 108f. Dissertação de Mestrado -CPG Ecologia, UFRGS.
- \_\_\_\_\_ & BECKE, V. L. Comparação de métodos de medida móvel de temperatura em ambiente urbano. **Geografia**, 11(22), 1986. p.137- 141.
- \_\_\_\_\_ & FLORES, F. E. V. Relações entre temperatura do ar e variáveis do ambiente urbano de Porto Alegre, RS. **Pesquisas**, Porto Alegre, v.21, n.1, p.3-11, 1994.

---

.O ambiente urbanizado e o clima urbano. **Boletim Gaúcho de Geografia**, Porto Alegre, nº.19, 1995.

IMAMURA-BORNSTEIN, I.R. **Observational studies of urban heat island characteristics in different climate zones**. Tsukuba, 1991. 156 f. Tese de Doutorado- University of Tsukuba, 1991.

IMAMURA-BORNSTEIN, I.R. and BORNSTEIN, R.D. **Review of urban climate and dispersion**. U.S.Army: Atmospheric Sciences Laboratory, Feb. 1992. 259 p.

INPE. **Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, V.10 nº12, 1995.

INPE. **Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, V.12 nº3, 1997.

KNIJNIK, R. (Org). **Energia e Meio Ambiente em Porto Alegre - Bases para o desenvolvimento**. Porto Alegre: DMAEE, 1994. p.1-32.

KNIJNIK, R., LOSS, J. E. Aspectos preliminares: Os Paradigmas para o ano 2000, as premissas utilizadas e a evolução urbana de Porto Alegre. In: KNIJNIK, R. **Energia e Meio Ambiente em Porto Alegre - Bases para o desenvolvimento**. Porto Alegre: DMAEE, 1994. p.1-32.

LACOSTE, Y. Os objetos geográficos. **Seleção de textos nº 18 - Cartografia Temática**. São Paulo: Agb Nacional/ Agb São Paulo, 1988. p. 1-23.

LANDSBERG, H. E. **The Urban Climate**. New York: Academic Press, 1981.

LIMA, J. S. **Aspectos climáticos da Região Metropolitana de Porto Alegre**. Porto Alegre, s.d.. Texto datilografado não publicado.

LOMBARDO, M. A. **A ilha de calor nas metrópoles**. São Paulo: Hucitec, 1985.

MAIO, C. R. **Evolução geoambiental da Região Metropolitana de Porto Alegre (Rio Grande do Sul)** *Revista Brasileira de Geografia - IBGE*; Rio de Janeiro, v.50, nº 2, abr./jun. p. 49-74, 1988.

MARTINOTTI, G. La población en la nueva morfología social metropolitana - Reflexiones a partir del caso italiano. BORJA, J., CASTELLS, M., DORADO, R., QUNINTANA, I. (eds). **Las grandes ciudades en la década de los 90**. Editorial Sistema, 1996.

MENDONÇA, F. **O clima e o palnejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR**. São Paulo, 1995 -Tese (Doutorado em Geografia)- Universidade de São Paulo, 1995.

METROPLAN-FEE. **Região Metropolitana de Porto Alegre: informações e análise**. Porto Alegre: FEE, 1988.

METROPLAN. **Mapa Índice da Cartografia Básica Metropolitana**. Porto Alegre, 1995. Escala 1:1.000.000.

MONTEIRO, C. A. F. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil. (Contribuição metodológica à análise rítmicos tipos de tempo no Brasil)**. São Paulo, Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo. Série Teses e Monografias, nº1. 68p.

\_\_\_\_\_. **Teoria e Clima Urbano**, IGEOG, USP, Série Teses e Monografias nº 25, São Paulo: USP, 1976.

\_\_\_\_\_. **Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação**. In: **Anais do Simpósio sobre a comunidade vegetal como unidade biológica, turística e econômica**. São Paulo: ACIESP nº15, 1978. p.43-74.

\_\_\_\_\_. **Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos de clima urbano no Brasil**. **Geosul**, Florianópolis: Edufsc, nº 9, ano V., p.7-19,1990. a

MONTEIRO, C. A. F., SEZERINO, M. L. **O campo térmico na cidade de Florianópolis: primeiros experimentos**. **Geosul**, Florianópolis: Edufsc. Ano V, nº 9, , 1990. p. 20-60. b

\_\_\_\_\_. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **Geosul**, Florianópolis: Edufsc, nº 9, ano V., p.61-79, 1990. c

\_\_\_\_\_. A cidade como processo derivador ambiental e estrutura geradora de um "clima urbano". **Geosul**, Florianópolis: Edufsc, nº 9, ano V., p.80-114, 1990. d

\_\_\_\_\_. A interação homem-natureza no futuro da cidade. **Geosul**, ano VII, n.14, p.07-48, 1992.

\_\_\_\_\_, SEZERINO, M.L. O campo térmico na cidade de Florianópolis: primeiros experimentos. **Geosul**, v.5, n.9, p.20-60, 1990.

**MOLD, Z. M. Padrões de localização industrial na Área Metropolitana de Porto Alegre. Porto Alegre, 1975. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano) PROPUR-UFRGS, 1975.**

**MOTA, F. S. da. Meteorologia Agrícola. São Paulo: Ed. Nobel, 1989. 376 p.**

**NICHOL, J. E. A GIS-based approach to microclimate monitoring in Singapore's high-rise housing estates. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol.60, n.10., October 1994. p.1225-1232.**

**OKE, T. R. Boundary layer climate. London: Methuen& Ltd A. Halsted Press Book, 1978. 372 p.**

**PANIZZI, W. M. Da legalidade para a ilegalidade: a formação de microterritórios urbanos. In: OLIVEIRA, N. e BARCELLOS, T. O Rio Grande do Sul urbano. Porto Alegre: FEE, 1990.**

**RMPA - CMM- GERM. Plano de desenvolvimento Metropolitano V-2- Bases Para o Planejamento. Porto Alegre, 1973.**

**RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. Boletim de Geografia Teorética, Rio Claro, v.23, n. 45-46, 288-294, 1993.**

**RIO GRANDE DO SUL. Diário Oficial do Estado. Porto Alegre, 16 de setembro de 1997, p. 4-9.**

- ROCHA, Gilberto L. da. **O clima do parque Delta do Jacuí**. Porto Alegre: SMPA, 1977. Relatório técnico.
- ROCHE, J. **Pôrto Alegre, Metrópole do Brasil Meridional**. In: AB'SABER, A. N., ROCHE, J. **Três estudos Rio-Grandenses**. Porto Alegre, Faculdade de Filosofia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1966.
- ROTH, M., OKE, T.R, EMERY, W.J. **Sattelite derived urban heat island from three coaStal cities and the utilization of such data in urban climatology**. **International Journal of Remote Sensing**, v.10 nº 11, 1989. p.1699-1720.
- SANTOS, M. **Espaço e Método**. São Paulo, ed. Nobel, 1985.
- SANTOS, M. **Conferência no II Encuentro Latino Americano de Geógrafos**. Montevideo, 1989.
- SCHMIDT, B. **O estado e a política urbana no Brasil**. Porto Alegre: Ed. da Universidade L&PM, 1983.
- SINGER, P. **Desenvolvimento Econômico e Evolução Urbana**. 2ª Edição. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1977.
- STRAHLER, A. A., **Gograffia Física**. Barcelona: Ediciones Omega, S.A., 1984.
- TUBELIS, A. , NASCIMENTO, J. L. **Meteorologia descritiva - Fundamentos e Aplicações Brasileiras**. São Paulo: Ed. Nobel, 1992. 374 p.
- WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTENBERG.  
**Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung- Folge1.**  
 Stuttgart, 1992.
- WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTENBERG.  
**Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung- Folge 2.**  
 Stuttgart, 1993.

**WMO - El Clima, la urbanizacion y el hombre.** Ginebra, Programa mundial sobre el clima - Organizacion meteorológica mundial, s. d.

**YOSHINO, M. M. Climate in a small area - An introduction to local meteorology.** Tokyo: University of Tokyo Press, 1975.

**ZERO HORA - Encarte especial RS 2000 - 11/12/95.**

**ZERO HORA. Região Metropolitana ganha duas cidades.** Porto Alegre, 30/07/1998. Geral, Estado, p.53.