



UFSM

Dissertação de Mestrado

**ESTUDO DO CAMPO TÉRMICO E DAS ILHAS
DE CALOR URBANO EM SANTA MARIA-RS**

Alexandre Pistoia Saydelles

PPGGEO

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**ESTUDO DO CAMPO TÉRMICO E DAS ILHAS
DE CALOR URBANO EM SANTA MARIA-RS**

por

Alexandre Pistoia Saydelles

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado
do Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências.
Área de Concentração Análise Espacial, Linha de Pesquisa
Sensoriamento Remoto na Geografia da Universidade
Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito
parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Geografia.

PPGGEO

Santa Maria, RS, Brasil

2005

Saydelles, Alexandre Pistoia, 1978-
S274e

Estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano em Santa Maria-RS / por Alexandre Pistoia Saydelles ; orientador Maria da Graça Barros Sartori. – Santa Maria, 2005.

xv, 219f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

1. Geografia 2. *Campo Térmico* 3. Sistema de clima urbano 4. Temperatura 5. Cartograma isotermal 6. Carta Sinótica 7. Variáveis climáticas I. Sartori, Maria da Graça Barros, orient. II. Título

CDU: 551.58

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes CRB-10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTUDO DO CAMPO TÉRMICO E DAS ILHAS DE
CALOR URBANO EM SANTA MARIA-RS**

elaborado por

Alexandre Pistoia Saydelles

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geografia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. Maria da Graça Barros Sartori - UFSM
(Presidente/Orientadora)

Prof^o. Dr^o. Waterloo Pereira Filho – UFSM

Prof^a. Dr^a. Inês Moresco Danni-Oliveira - UFPR

Santa Maria, 29 de Março de 2005.

MENSAGEM

Como é que se pode comprar ou vender o céu, o calor da terra? Essa idéia nos parece estranha. Se não possuímos o frescor do ar e o brilho da água, como é possível comprá-los?

Cada pedaço desta terra (...). Cada ramo brilhante de um pinheiro, cada punhado de areia das praias, a penumbra na floresta densa, cada clareira e inseto a zumbir são sagrados na memória e experiência de meu povo (...). Somos parte da terra e ela faz parte de nós (...) - todos pertencem à mesma família (...) Os rios são nossos irmãos.(...).

Sabemos que o homem branco não compreende nossos costumes (...). A terra não é sua irmã, mas sua inimiga, e quando ele a conquista, prossegue seu caminho. Rapta da terra aquilo que seria de seus filhos e não se importa. (...). Trata sua mãe, a terra, e seu irmão, o céu, como coisas que possam ser compradas, saqueadas, vendidas (...). Seu apetite devorará a terra, deixando somente um deserto.

(...) A visão de suas cidades fere os olhos do homem vermelho (...). Não há um lugar quieto nas cidades do homem branco. Nenhum lugar onde se possa ouvir o desabrochar de folhas na primavera ou o bater das asas de um inseto.(...) O ruído parece somente insultar os ouvidos.

(...) Ensinem as suas crianças o que ensinamos as nossas que a terra é nossa mãe. Tudo o que acontecer a terra, acontecerá aos filhos da terra. Se os homens cospem no solo, estão cuspidos em si mesmos. (...) a terra não pertence ao homem; o homem pertence a terra. (...) todas as coisas estão ligadas como o sangue que une uma família. O que ocorrer com a terra recairá sobre os filhos da terra.

O homem não tramou o tecido da vida; ele é simplesmente um de seus fios. Tudo o que fizer ao tecido, fará a si mesmo. Mas quando de sua desapareição, vocês brilharão intensamente, iluminados pela força do Deus que os trouxe a esta terra e por alguma razão especial lhes deu o domínio sobre a terra (...). É o final da vida e o início da sobrevivência.

Parte da resposta do Cacique Seattle ao Governo dos
Estados Unidos que tentava comprar as suas terras (1854).

Este Trabalho é dedicado:

*À minha Família, em especial aos meus pais Eitor e
Marisa;*

À Daniela Rodriguez Mariano;

E a cidade de Santa Maria-RS.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração de algumas pessoas e Instituições as quais neste momento gostaria de agradecer.

- A Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de estudo concedida durante toda a realização deste curso;

- Aos meus pais Eitor e Marisa e irmãos Alessandro e Leandro, pela família unida que somos;

- À Daniela Rodriguez Mariano pelo amor e carinho, pois mesmo em outra cidade estive sempre ao meu lado em todos momentos deste trabalho;

- À minha orientadora Prof^ª. Dr^ª. Maria da Graça Barros Sartori, pelo incessante apoio, auxílio e valiosas orientações em todas as etapas deste trabalho;

- Ao Prof^º. Dr^º. Pedro Roberto Azambuja Madruga do Curso de Geomática-UFSM, e Vanderlei Secretti pelo indispensável auxílio no processamento da imagem termal;

- A Érika Collischonn, pela valiosa conversa sobre processamento de imagens termais e empréstimos de materiais bibliográficos;

- A Regina Saydelles, Gelson Amarante, Maria Olívia Sá, Antônio Rodriguez da Silva, Adão Pereira, Miraci Pereira, os vigias do Cemitério Municipal de Santa Maria, os Sargentos e oficiais da 6^a BIA, o amigo Marcelo Hoer Martinez, José Carlos Bornhort, Nora Dotto, Victor Vanir da Silva do Centro de encomendas dos Correios, o Tenente Weber e o Sargento Siqueira do Corpo de Bombeiros de Santa Maria, Ângelo Roberto S. Montero, a vice-diretora da Escola Estadual Coronel Pilar Lis Venturini e os porteiros Claudir e Everson Freitas, Maria Maciel, Paula Cassol do Cemitério Santa Rita de Cássia, o Capitão Elton Colussi do Grupamento da Polícia Rodoviária Estadual de Santa Maria-RS e a dona Marlene do Posto Santa Lúcia em Camobi, que permitiram a instalação dos mini-abrigos meteorológicos em suas residências e Instituições, bem como pelas coletas da temperatura do ar, sem os quais a etapa mais importante deste trabalho não se realizaria.

- Aos colegas do Laboratório de Estudos Ambientais (L.E.A.) do Curso de Geografia da UFSM.

SUMÁRIO

Mensagem.....	v
Dedicatória.....	vi
Agradecimentos.....	vii
Lista de Quadros.....	xi
Lista de Figuras.....	xii
Lista de Anexos.....	xiv
Resumo.....	xv
Abstract.....	xvi
CAPÍTULO I:	01
1 – INTRODUÇÃO	01
2 – OBJETIVOS	08
2.1 - Objetivo Geral.....	08
2.2 - Objetivos Específicos.....	08
CAPÍTULO II:	10
3 – REVISÃO DA LITERATURA	10
3.1 - Do Sítio e do Espaço Urbano.....	10
3.2 - Do Clima Urbano.....	15
3.3 - Das Características do Clima Urbano.....	22
3.4 - Das Características das Ilhas de Calor Urbano.....	27
3.5 - Das Escalas de Abordagens do Clima.....	40
3.6 - Da Dinâmica Atmosférica.....	50
3.6.1 - A Circulação Atmosférica da América do Sul na Escala Zonal.....	51
3.6.2 - A Dinâmica Atmosférica Secundária na Região Sul do Brasil.....	53
3.7 - Do Sensoriamento Remoto.....	59
3.7.1 - Do Sensoriamento Remoto aplicado aos estudos Climáticos.....	62

3.7.2 - Do Sensoriamento Remoto Aplicado aos estudos de Campo Térmico e das Ilhas de Calor Urbano.....	64
CAPÍTULO III:	73
4 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	73
4.1 - Primeira Fase.....	74
4.2 - Segunda Fase.....	76
4.2.1 - A análise espacial.....	77
4.2.2 - A análise do campo térmico e das condições atmosféricas.....	79
4.2.2.1 - O emprego de imagens de satélite na identificação do campo térmico e da(s) ilha(s) de calor urbano.....	81
4.2.2.2 - Os levantamentos de campo das temperaturas do ar.....	85
4.3 - Terceira Fase.....	96
CAPÍTULO IV:	97
5 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	97
5.1 - Aspectos históricos e funcionais.....	97
5.2 - Os sistemas atmosféricos regionais e o clima da região de Santa Maria.....	100
5.3 - Os condicionantes na configuração do campo térmico e da(s) ilha(s) de calor urbano em Santa Maria.....	111
5.3.1 - Os Condicionantes Geoecológicos.....	111
5.3.2 - Os condicionantes Geourbanos.....	117
CAPÍTULO V:	125
6 – ANÁLISE DOS RESULTADOS	125
6.1 - Análise das condições atmosféricas: Tipos de Tempo dos dias que antecederam o imageamento termal no dia 19/06/2002.....	125
6.2 - O Campo Térmico de Superfície no dia 19/06/2002: Níveis Mesoclimático e Topoclimático.....	130
6.2.1- Identificação e Análise do Campo Térmico de Superfície a nível Mesoclimático.....	131
6.2.2- Identificação e Análise do Campo Térmico de Superfície a nível Topoclimático.....	136
6.3 - Análise dos Experimentos de Campo.....	149

6.3.1 - Experimentos de campo no dia 04/08/2004: Análise das Condições Atmosféricas.....	149
6.3.2 - Experimentos de Campo do dia 04/08/2004: Análise do Campo Térmico e das Ilhas de Calor Urbano sob condições de Tempo de fase Pré-Frontal.....	154
6.3.3 - Experimentos de Campo do dia 10/08/2004: Análise das Condições Atmosféricas.....	168
6.3.4 - Experimentos de Campo do dia 10/04/2004: Análise do Campo Térmico e das Ilhas de Calor Urbano sob Condições de Tempo de Domínio Polar.....	173
CAPÍTULO VI:	187
7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	187
CAPÍTULO VII:	194
8 – BIBLIOGRAFIA	194
ANEXOS	219

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01: Mudanças climáticas produzidas pela cidade.....	25
QUADRO 02: Exemplos de ilhas de calor urbano de forte intensidade.....	36
QUADRO 03: Aplicações do sensoriamento remoto em estudos de clima urbano.....	67

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01: Localização da área de estudo e situação da cidade no RS.....	7
FIGURA 02: Representação da atmosfera urbana.....	27
FIGURA 03: Perfil da Ilha de calor urbana.....	28
FIGURA 04: Secção Transversal de uma Ilha de Calor Urbano.....	32
FIGURA 05: Circulação atmosférica na América do Sul: Centros de Ação.....	52
FIGURA 06: Sistemas de Circulação Atmosférica Perturbada na Região Sul.....	57
FIGURA 07: Princípio físico do Sensoriamento Remoto.....	61
FIGURA 08: Albedos dos Materiais Urbanos.....	70
FIGURA 09: Dimensão do pixel TM e seu recobrimento em ambiente urbano e rural.....	71
FIGURA 10: Fotografia do mini-abrigo meteorológico.....	87
FIGURA 11: Localização dos Pontos na Rede Fixa de Observação na Malha Urbana de Santa Maria-RS.....	89
FIGURA 12: Histogramas representativos da participação dos Sistemas atmosféricos na região de Santa Maria, RS.....	103
FIGURA 13: Mapa hipsométrico de Santa Maria e municípios vizinhos.....	113
FIGURA 14: Quadro Geoecológico de Santa Maria-RS.....	115
FIGURA 15: Mapa da Densidade Populacional Urbana de Santa Maria.....	119
FIGURA 16: Mapa de Uso e Ocupação do Solo Urbano de Santa Maria.....	120
FIGURA 17: Análise das condições meteorológicas na semana que antecedeu e no dia do imageamento realizado pelo satélite (dias 13 à 19/06/2002).....	127
FIGURA 18: Imagem do Satélite GOES-8, Infravermelho, do dia 19/06/2002 às 9hs local (horário aproximado do imageamento termal do Landsat 7ETM+).....	129
FIGURA 19: O campo térmico de superfície da área de estudo ao nível Mesoclimático: estimado a partir da Banda Termal do Satélite Landsat 7 ETM, do dia 19/06/2002.....	132

FIGURA 20: O campo térmico de superfície da área de estudo ao nível Topoclimático: estimado a partir da Banda Termal do Satélite Landsat 7 ETM+, do dia 19/06/2002.....	138
FIGURA 21: Divisão Administrativa dos bairros de Santa Maria-RS.....	138
FIGURA 22: Condições atmosféricas entre os dias 01 e 04/08/2004.....	151
FIGURA 23: Imagem do Satélite GOES-12, infravermelho, do dia 04/08/2004 às 18h (GMT).....	153
FIGURA 24: O campo térmico de Santa Maria-RS, do dia 04/08/2004 (A: 9h, B: 12h e C: 15h).....	155
FIGURA 25: O campo térmico de Santa Maria-RS, do dia 04/08/2004 (A: 18, B: 21h).....	164
FIGURA 26: Análise das condições atmosféricas nos dias 05 a 10/08/2004.....	169
FIGURA 27: Imagem do Satélite GOES-12, no infravermelho, do dia 10/08/2004 às 16h (GMT).....	172
FIGURA 28: O campo térmico de Santa Maria-RS, do dia 10/08/2004 (A: 09h, B: 12h, C: 15h).....	174
FIGURA 29: O campo térmico de Santa Maria-RS, do dia 10/08/2004 (A: 18h, B: 21h).....	182

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I - Temperaturas do Ar do dia 10/08/2004 – a partir da Rede Fixa de Observação.....	220
ANEXO II - Temperaturas do Ar do dia 10/08/2004 – a partir da Rede Fixa de Observação.....	221

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências
Universidade Federal de Santa Maria

ESTUDO DO CAMPO TÉRMICO E DAS ILHAS DE CALOR URBANO EM SANTA MARIA-RS

Autor: Alexandre Pistoia Saydelles
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria da Graça Barros Sartori
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 29 de Março de 2005.

Este trabalho tem como objetivo analisar o campo térmico e as ilhas de calor urbano de Santa Maria e seu entorno, relacionando seus comportamentos térmicos e espaciais através da interação das variáveis urbanas e naturais, frente à imposição de tipos de tempos oriundos de condições sinóticas de fase Pré-Frontal e de Domínio Polar, no inverno. O canal de percepção climática termodinâmico do Sistema Clima Urbano proposto por Monteiro (1976) serviu de embasamento teórico-metodológico preliminar e na tentativa de se alcançarem os objetivos propostos o trabalho foi desenvolvido em três fases. A primeira consistiu na elaboração dos objetivos da pesquisa. A segunda subdivide-se em dois momentos, que consistem na análise espacial, através da elaboração de cartas temáticas, que caracterizaram as variáveis geocológicas e geourbanas da área estudada. E a análise do campo térmico, a meso e topoclima na qual empregou-se a imagem do Satélite Landsat 7 ETM, do dia 19/06/2002. No estudo das ilhas de calor urbano foram realizados experimentos de campo junto à malha urbana, onde foram distribuídos 19 mini-abrigos meteorológicos para a mensuração das temperaturas do ar nos horários das 09, 12h, 15h, 18 e 21h, nos dias 04/08/2004 e 10/08/2004. As informações sobre a temperatura do ar foram espacializadas em cartogramas isotermiais através do programa Surfer6. Na definição dos tipos de tempo nos dias da imagem termal e das observações de campo foram elaborados gráficos de análise rítmica com dados meteorológicos diários obtidos na Estação Meteorológica de Santa Maria e imagens do Satélite GOES-E. A terceira fase deste trabalho consistiu na análise dos resultados a partir da interpretação da cartografia térmica digital de superfície, onde se constatou que os fatores de ordem geográfica (relevo, vegetação e altimetria) aliado aos usos dos solos rurais controlam as respostas térmicas mesoclimáticas. A maior diversificação das respostas térmicas deu-se a topoclima em virtude dos fatores naturais e urbanos e pelo posicionamento do Sol no horário do imageamento, que definiram quatro situações térmicas distintas sendo: *Áreas mais aquecidas*, com temperaturas entre 17° e 19°C; *Áreas com temperaturas moderadas*, entre 15° e 18°C; *Áreas com temperaturas mais brandas*, entre 13° e 17°C; e *Áreas com temperaturas baixas*, entre 10° e 16°C. Na análise dos experimentos de campo, constatou-se que no primeiro momento em virtude da atuação do “Vento Norte” na dissipação das respostas térmicas não houve a formação de significativas “Ilhas de Calor Urbano” (ICU). No entanto, no segundo dia sob condições sinóticas de domínio de Polar, a cidade registrou a formação de (ICU) de elevada magnitude em todos os horários de observação, bem como a maior amplitude térmica centro-periferia de 10°C às 12h. Assim, pode-se afirmar que a imposição dos sistemas atmosféricos regional atua diretamente na definição do campo térmico e na formação das (ICU), devendo ser considerado para efeito de um melhor planejamento urbano e no maior entendimento das variáveis climáticas locais.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências
Universidade Federal de Santa Maria

THERMAL FIELD AND URBAN HEAT ISLANDS ESTUDY IN SANTA MARIA-RS

Autor: Alexandre Pistoia Saydelles
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria da Graça Barros Sartori
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 29 de Março de 2005.

The objective of this work was to analyze the thermal field and the urban heat islands in Santa Maria and its surroundings, relating their thermal and spatial behaviors throughout both urban and natural interaction, facing the imposition of types of weather originated from Prefrontal Phase and Polar Domain atmospheric conditions, during the winter. The Thermal Dynamic Urban Weather System climatic perception channel, indicated by Monteiro (1976), was used as preliminary theoretical-methodological foundation. The study was developed in three phases. The first one was centered in elaborating the research goals. The second one was divided into two parts that consisted in the spatial analysis by elaborating thematic mapper, with the objective of making it possible to characterize geo-ecological and geo-urban variants inside the area in study, also in the analysis of the thermal field, in the MESO and TOPO weather scales, using image from the Landsat 7 ETM Satellite, on 06/19/2002. Field experiments inside the city were made in order to study the urban heat islands, in which 19 mini meteorological shelters were distributed with the objective of measuring the air temperature at 09h, 12h, 15h, 18h and 21h, on 08/04/2004 e 08/10/2004. Information on the air temperature was spatialized in isothermal cartograms over the Surfer6 program. Rhythmical analysis charts with daily meteorological data taken from the Santa Maria Meteorological Station, plus images from the GOES-E Satellite were elaborated to defined the types of weather traced in the days of the thermal image and from field observation. The third phase of this work consisted in the analysis of the results from the interpretation of the digital thermal cartography of surface, in which was possible to discern that the factors relief, vegetation, altimetry and use of rural soils control the mesoclimatic thermal responses. The greatest diversification in thermal responses detected concerned the topoclimate, due to the natural and urban factors, also to the Sun position during the imaging time, which have defined four distinct thermal situations: Warmer areas, with temperatures between 17° and 19°C; Moderate temperature areas, between 15° and 18°C; Mild temperature areas, between 13° and 17°C; and Lower temperature areas, between 10° and 16°C. Analysing the field experiments, it was possible to discern that on 08/04, due to the “North Wind” action in the dissipation of the thermal responses, there was no significant formation of “Urban Heat Islands” (UHI). Although, on the second day (08/10), under summarized Polar Domain conditions, the city registered UHI formation of high magnitude at every hour of observation, as well as the highest center-periphery thermal amplitude (10°C, at 12h). This way, it is possible to assert that the imposition of regional atmospheric systems acts directly in the definition of the thermal field and in the UHI formation, therefore being considered to effectuate a better urban planning and a greater understanding of the local climatic variants.

CAPÍTULO I

1 - INTRODUÇÃO

A partir da Revolução Industrial ocorrida na Europa no século XVIII, evidenciou-se no mundo inteiro o processo de urbanização e crescimento das cidades.

No entanto, a intensidade do adensamento urbano e populacional atingiu seu auge somente do século XX, caracterizando-se como o século da urbanização, através do desenvolvimento do capitalismo financeiro, onde as cidades apresentam o fenômeno da formação das metrópoles e megalópoles, responsáveis pela interligação de um conjunto de cidades através da expansão de suas malhas urbanas.

Segundo dados do relatório do desenvolvimento humano (ONU, 1995), a taxa de urbanização no início da Revolução Industrial não passava de 2%, em 1960 a população que vivia em cidades atingiu 34% e 44% em 1992, sendo que já no início do século XXI a população urbana mundial deverá superar os 50%.

O processo de urbanização ocorrido nos países desenvolvidos deu-se de forma lenta, gradual e planejada, porém, nos países subdesenvolvidos ocorreu de forma rápida e em geral sem nenhuma orientação.

No caso do Brasil, este acelerado crescimento urbano ocorreu não apenas pelo crescimento vegetativo da população, mas principalmente pelo êxodo rural, responsável tanto pela expansão das grandes cidades, quanto pelo surgimento e evolução de inúmeras outras cidades de médio e pequeno

porte. Para Santos (1991, p.42) “das vinte e seis cidades mundiais com mais de cinco milhões de habitantes em 1980, dezesseis estão nos países subdesenvolvidos e por volta do ano 2000 das sessenta cidades com essa população no mundo inteiro, quarenta e cinco estarão no terceiro mundo.”

Assim, pode-se afirmar que, no decorrer do processo da evolução humana como sociedade, as cidades vieram a se constituir nos principais centros das atividades humanas. Tornaram-se palco de intensas relações políticas, econômicas e comerciais, as quais proporcionaram o desenvolvimento de extensos aglomerados humanos e urbanos, com formas, funções e estruturas condizentes a estas atividades.

No entanto, os fluxos de pessoas, bens, capitais e mercadorias existentes e originadas através das relações de produção e reprodução econômica, transformaram e degradaram o espaço ambiental-natural e urbano. Assim, conforme Lombardo (1985, p.17), “a cidade caracteriza-se, por ser a maior expressão social do espaço produzido, transformada e adaptada para atender as necessidades dos seres humanos”.

Desta forma, a acelerada urbanização engendrou consideráveis alterações na atmosfera urbana, o que levou inúmeros pesquisadores a observar que o ambiente das cidades torna-se menos sadio numa proporção diretamente oposta a intensificação da expansão urbana.

Neste aspecto, segundo Mendonça (1994, p.7):

Ao construir cidades os homens engendram enorme quantidade de novos materiais, equipamentos e seres vivos no ambiente natural originando um novo ambiente, e que a intensidade das alterações imprimidas no ambiente precedente será razão direta da

qualidade e quantidade dos elementos nele introduzidos.

Sendo assim, os efeitos resultantes destas transformações no meio ambiente afetarão diretamente a população local causando-lhes sensação de desconforto ambiental, pois conforme observa Santos (1981,p.43) “as condições ambientais das cidades quando são ultrajadas, criam uma natureza hostil”.

Estas alterações causadas no espaço natural pelas cidades proporcionam a formação de um clima urbano e de vários microclimas urbanos, derivados, principalmente, das seguintes alterações no ambiente físico-natural: retirada da cobertura vegetal e substituição por áreas construídas; introdução de novas formas no relevo; concentração de edificações (verticalização da topografia urbana), que em conjunto aumentam a rugosidade urbana; concentração de equipamentos e pessoas que através das atividades diárias liberam calor antropogênico na atmosfera aumentando a temperatura do ar; impermeabilização do solo; canalização do escoamento superficial; lançamento concentrado e acumulado de partículas e gases na atmosfera pela combustão dos veículos e indústrias; e produção de energia artificial (Geiger, 1961; Mendonça, 1994; Sant’anna Neto & Zavatini, 2000).

Assim, estas transformações irão se refletir diretamente no clima urbano, alterando, sobretudo os níveis de umidade do ar e precipitações, o balanço térmico urbano e na formação de ilha(s) de calor. As trocas de energia entre o centro e a periferia das cidades alteram a circulação dos ventos, dando origem a um ambiente muitas vezes insalubre e inóspito ao pleno desenvolvimento das atividades humanas, comprometendo a

sensação de bem-estar e o conforto térmico da população, bem como a qualidade do ar.

A maior importância atribuída ao estudo da(s) ilha(s) de calor urbano pode ser compreendida quando se observa, conforme Oke (1978, p.254), que “o ar na camada urbana é usualmente mais quente que nas áreas vizinhas. Este efeito de ilha de calor urbano é o mais bem documentado exemplo de modificação climática involuntária”.

Em locais de latitudes médias ou de clima temperado, a ilha de calor urbano pode ter um efeito benéfico, uma vez que reduz a sensação de desconforto térmico gerado pelas baixas temperaturas no inverno, bem como o consumo de energia utilizada na geração de aquecimento artificial. Mas, segundo Oliveira (1991, p.37), “constitui-se em ameaça à saúde humana nos climas tropicais, porque a temperatura média do ar pode atingir valores insuportáveis”.

Assim, no tocante a estas alterações no ambiente natural das cidades, o presente trabalho traz como proposta a análise das oscilações das temperaturas da superfície e do ar e das ilhas de calor urbano em Santa Maria-RS, frente à imposição de dois tipos de tempos típicos do período de inverno na região, porém contrastantes quanto às características de seus elementos meteorológicos. O primeiro sob condições sinóticas de domínio Pré-Frontal, com o estabelecimento de um “vento norte” de forte intensidade, e o segundo sob domínio de uma Massa Polar Atlântica (M.P.A.), que conferiu a região central do RS, tempo bom, céu limpo, calma e máxima insolação.

Desta forma, na tentativa de se analisar o ajustamento da cidade em estudo através de suas respostas térmicas frente à atuação dos sistemas

atmosféricos regionais, esta dissertação foi estruturada através de cinco capítulos seqüenciais.

O capítulo I consistiu na elaboração dos objetivos a serem alcançados pelo estudo, os quais nortearam todo o desenvolvimento do mesmo, muitos dos quais construídos a partir da vivência na realidade local.

No capítulo II, realizou-se um amplo levantamento bibliográfico a cerca da temática em questão, onde se buscou tanto na literatura nacional como na internacional as bases e argumentações sólidas a respeito dos conceitos sobre todos os temas envolvidos no estudo, entre eles: o clima urbano, o campo térmico das cidades e as ilhas de calor e a utilização da termografia infravermelha na climatologia urbana.

O capítulo III consistiu na elaboração dos procedimentos metodológicos empregados no desenvolvimento da pesquisa. Nesta etapa, foram definidas as técnicas empregadas no processamento da imagem termal utilizada na interpretação do campo térmico de superfície, bem como na elaboração dos métodos utilizados nos experimentos de campo junto à malha urbana, na obtenção das informações sobre o comportamento das temperaturas do ar.

O capítulo IV correspondeu à caracterização geográfica da área em estudo, a partir da qual foram enquadradas às características geourbanas e geoecológicas da cidade e parte de seu entorno, indispensáveis ao entendimento de seu campo térmico.

O capítulo V correspondeu às análises e discussões dos resultados propriamente dito, onde se procurou sintetizar as informações do campo térmico com seus condicionantes espaciais, a partir de duas etapas lógicas e seqüenciais. A primeira consistiu na análise e interpretação do campo

térmico de superfície ao nível mesoclimático e topoclimático, através de uma imagem termal do satélite Landsat 7 ETM + do dia 19/06/2002 (banda 6); A segunda, no estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano, frente à imposição de dois sistemas atmosféricos na região, através de dados obtidos em experimentos de campo. Estes, por sua vez, realizados a partir de uma rede fixa de observação, onde foram instalados 19 mini-abrigos meteorológicos por toda a área urbana em estudo.

O capítulo VI consistiu nas considerações finais sobre o estudo realizado, buscando sistematizar os resultados obtidos, enfatizando as principais características e configurações do campo térmico e das ilhas de calor urbano, sob a atuação dos dois sistemas atmosféricos estudados, na tentativa de gerar subsídios que auxiliem no planejamento urbano e ambiental da cidade.

A realização desta pesquisa foi motivada pelo fato de Santa Maria ainda carecer de investigações desta natureza, salvo os experimentos realizados por Sartori (1979), que atestaram a ocorrência deste fenômeno em situações sinóticas pré-frontais, e também porque os efeitos da(s) ilha(s) de calor, entre outros fatores, são considerados responsáveis pela qualidade da vida e, principalmente, pelo conforto térmico de seus habitantes.

A cidade de Santa Maria, objeto deste estudo, está situada na região central do Estado do Rio Grande do Sul, na denominada Depressão Periférica Sul-rio-grandense, delimitada pelas coordenadas geográficas 29°39'53" a 29°43'56" de Latitude Sul e 53°50'22" a 53°45' de Longitude Oeste (Figura 1).

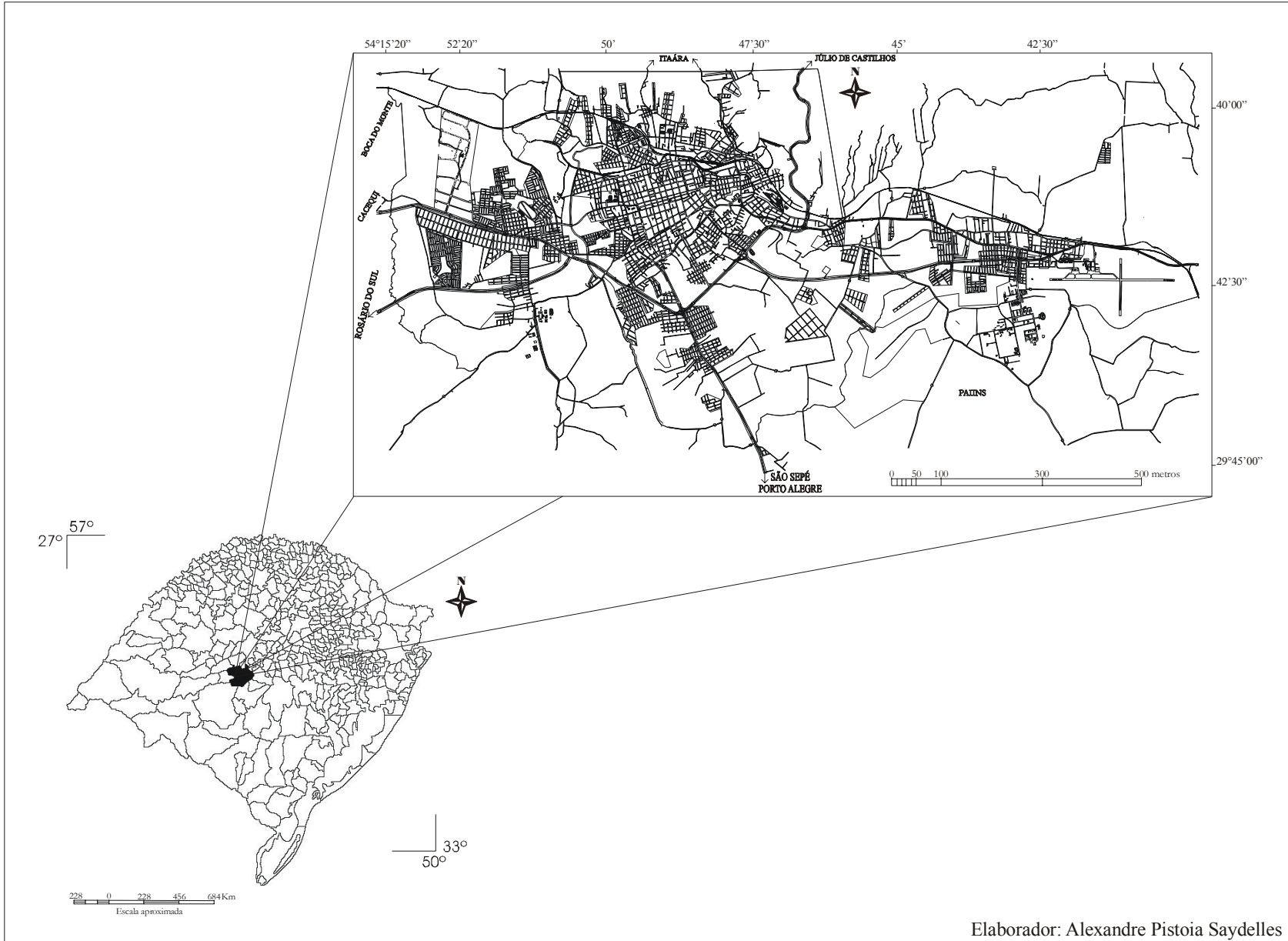


FIGURA 1: Localização da área de estudo e situação da cidade no RS.

2- OBJETIVOS

Diante das considerações já mencionadas sobre as alterações impostas ao ambiente natural pelo desenvolvimento das atividades humanas nas cidades, bem como da importância de se considerar a imposição dos sistemas atmosféricos de atuação regional nas respostas térmicas das áreas urbanas, traçaram-se os seguintes objetivos que permitiram desenvolver as diretrizes necessárias ao pleno desenvolvimento desta pesquisa.

2.1- OBJETIVO GERAL

Analisar o campo térmico e o fenômeno das ilhas de calor urbano de Santa Maria-RS e seu entorno, relacionando suas oscilações térmicas e espaciais a partir da interação das variáveis urbanas e naturais, frente à imposição de tipos de tempos oriundos de condições sinóticas de fase Pré-Frontal e de Domínio Polar, no inverno.

2.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Espacializar os valores de temperaturas do ar intra-urbano, obtidos em experimentos de campo, através de cartas isotérmicas;
- Analisar e interpretar o campo térmico da superfície urbana e seu entorno, através do emprego da termografia infravermelha termal;

- Relacionar as oscilações do campo térmico da(s) ilha(s) de calor urbano com a dinâmica atmosférica regional, através da análise das condições atmosféricas regionais no período correspondente à imagem de satélite e às observações de campo, no inverno.

CAPÍTULO II

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 – Do Sítio e do Espaço Urbano

Através do processo da urbanização, as cidades constituíram-se no principal cenário do desenvolvimento das relações humanas. Ambiente em que se processam as relações sociais, econômicas e culturais de uma determinada época e sociedade, onde os processos de produção provocam constantes modificações no espaço urbano e por conseqüência no clima urbano.

Assim, para melhor compreender o ambiente climático interno das cidades, é indispensável o entendimento das complexas relações existentes entre seu sítio urbano e as diversas funções desenvolvidas no espaço urbano (expressas através do uso e ocupação do solo urbano), na análise climática local e no planejamento urbano.

A maioria dos estudos relacionados ao clima urbano desenvolveram-se sem considerar as diferentes características do espaço urbano, sendo que na identificação das diferenças termo-higrométricas eram traçadas isolinhas considerando a cidade como um todo. Mendonça (1994, p. 24) afirma que “poucos estudos se basearam no detalhamento prévio das diferenças do sítio e do uso do solo urbano como suporte para a compreensão da formação do clima derivado dos diferentes arranjos espaciais da cidade”.

Monteiro (1990) também enfatiza a importância do conhecimento das particularidades do sítio e do espaço urbano decorrente na compreensão da análise climática intra-urbana, bem como a detalhada representação cartográfica como suporte ao estudo do clima urbano.

A caracterização e identificação dos elementos que compõem o cenário das relações do ambiente urbano revestem-se de extrema importância, uma vez que, quanto mais detalhada for, mais subsídios fornecerá para a definição dos agentes causadores e/ou modificadores do clima da cidade, o que possibilitará uma intervenção no ambiente urbano o mais consciente possível.

Conforme Mendonça (1994, p. 24):

A formação de condições climáticas intra-urbanas, derivadas diretamente da heterogeneidade tanto do sítio quanto da estruturação e funcionalidade urbanas, gerando paralelamente ao clima da cidade (clima local/urbano), bolsões climáticos intra-urbanos diferenciados (ilhas de calor, ilhas de frio, mesoclimas, topoclimas e microclimas) carece ainda de mais atenção dos estudiosos do clima das cidades.

Neste sentido, inúmeros pesquisadores demonstraram esta preocupação com o detalhamento do embasamento geográfico para o estudo do clima urbano no Brasil, sendo os mais expressivos os trabalhos realizados por Monteiro (1976, 1990), Lombardo (1985), Sampaio (1981), Mendonça (1994), Sartori (1979, 2000). No entanto, com exceção de Sartori (Op. Cit.) e Mendonça (Op. Cit), que estudaram o clima de cidades de porte médio, Santa Maria-RS e Londrina-PR respectivamente, os demais

traçaram diretrizes e considerações sobre o detalhamento do ambiente interno de áreas metropolitanas, onde os fenômenos e elementos do espaço urbano adquirem grandes dimensões, que ao serem transferidos para os estudos do clima urbano de cidades de médio e pequeno porte, propiciam uma interpretação na maioria das vezes não condizentes com a realidade das mesmas. Dai a importância do conhecimento específico da realidade intra-urbana e regional de cada cidade, uma vez que cada ambiente, em decorrência do sítio e das diversas funções desenvolvidas pelo espaço urbano, gera um clima local não idêntico a outras situações.

Conforme Geiger (1961, p. 508):

De maneira geral pode dizer-se que o clima da cidade depende em grande parte da situação topográfica da mesma (...). É evidente que, numa situação fechada e abrigada dos ventos, num vale, o clima de dentro e de fora da cidade apresentará naturalmente maiores diferenças do que se a cidade estiver situada num planalto exposto ao vento. Situações de encosta ou à beira-mar favorecem determinadas características do clima urbano. Quando se alargam as cidades e ainda mais quando se criam novas cidades, dever-se-ão de antemão tomarem linha de conta, mais do que tem acontecido até hoje, as leis da climatologia urbana que atualmente conhecemos.

Assim, o estudo e o conhecimento do sítio em que o espaço urbano está assentado é pré-requisito para toda e qualquer ação para efeito de planejamento urbano e análise climática das cidades, uma vez que o sítio urbano assume importante papel nas diversas funções que o espaço urbano apresenta.

Neste sentido o sítio urbano, segundo Mayer (1975, p. 81):

Refere-se à área ocupada pela cidade. Dentre as características de particular importância do sítio contam-se: o relevo, a inclinação e a configuração das áreas caracterizadas, ou não, por água e das regiões costeiras; sua vulnerabilidade a terremotos, deslizamentos de terra, inundações e outras condições catastróficas; sua capacidade de sustentação e sobrecarga, em relação ao leito de rocha firme, à drenagem e as condições microclimáticas.

Para Monteiro (1990), no entendimento das condições climáticas intra-urbana a compreensão das características do sítio torna-se muito peculiar, pois o mesmo acaba por influenciar tanto no que diz respeito aos aspectos biológicos, como principalmente na atmosfera.

O conhecimento das feições topográficas do sítio é de extrema importância nos estudos climáticos, porque em pequenas distâncias dentro da própria estrutura interna das cidades existem significativas diferenças de microclima, oriundos da morfologia do solo, presença ou não de vegetação e principalmente ocasionada pela ocupação e pavimentação do solo, gerando alterações térmicas que comprometem a qualidade de vida e o conforto térmico das cidades.

O sítio urbano também é definido, conforme George (1983, p. 37), “como o quadro topográfico no qual se enraizou a cidade, pelo menos em suas origens”. Sendo assim, pode-se afirmar que o sítio urbano é o local preciso da implantação inicial da cidade, tornando-se rapidamente herança do passado.

Monteiro (1990 b) afirma que qualquer análise de clima urbano requer, necessariamente, uma observação detalhada tanto da tipologia do sítio como dos modelos de morfologia urbana, bem como do imenso espectro de relações que podem se configurar.

Entende-se que, para se realizar um estudo sistemático das cidades, bem como de sua estrutura interna, torna-se indispensável o conhecimento tanto dos aspectos físicos como dos processos conseqüentes das relações sociais, pois as interações dos aspectos sócio-econômicos com o embasamento natural produzem um espaço urbano em constante transformação e dinamismo, tendo que ser entendido ao longo de suas diferentes fases históricas.

Neste aspecto, a estrutura, a forma e a funcionalidade urbana estão vinculadas aos aspectos morfológicos e topográficos do espaço urbano.

Assim, não se pode descartar a própria funcionalidade urbana, desempenhada pelo espaço urbano em detrimento da complexa relação sítio-edificações. Para Santos (1989, p. 212), “A morfologia do tecido urbano é reflexo fiel de uma realidade econômica e social definida”.

Para Monteiro (1990), no estudo do clima de uma cidade é indispensável penetrar no seu interior no sentido de compreendê-la sob o aspecto social, agente produtor de uma acentuada gama de derivações progressivas, a ponto de criar um novo ambiente, “edificando” um novo contexto topográfico em decorrência do complexo e dinâmico caldo cultural de uma determinada sociedade.

A cidade como forma materializada do trabalho social e do processo de produção é também uma forma de apropriação do espaço urbano produzido, que se expressa através do uso e ocupação do solo. Assim, para

Carlos (1992, p. 122), “O processo de produção do espaço urbano é desigual, e isto aparece claramente na paisagem através do uso do solo, decorrente do acesso diferenciado da sociedade à propriedade privada da terra”. Dentro dessa premissa, o espaço de uma cidade capitalista, conforme Corrêa (1999, p. 7), “constitui-se de diferentes usos da terra justapostos entre si”. Estes diferentes níveis de utilização do espaço intra-urbano geram, conforme Santos (1981, p. 173), “duas ou diversas cidades dentro da cidade”.

Assim, as diversas funcionalidades urbanas, expressas através do uso do solo urbano, refletem as condições sócio-econômicas e culturais de uma determinada sociedade, que aliadas à morfologia do sítio urbano, atua decisivamente no processo gerador e modificador das condições climáticas intra-urbanas, proporcionando a formação de um clima urbano e de vários microclimas. Neste sentido, as características geo-ecológicas e urbanas não podem passar despercebidas no estudo do clima das cidades, pois, conforme Monteiro (1990 b), o geógrafo pesquisador do clima urbano, ao penetrar na trama urbana, deverá observar tanto a morfologia quanto os diversos aspectos resultantes dos diferentes dinamismos da vida urbana.

3.2- Do Clima Urbano

Conforme já mencionado no sub-item anterior, através da expansão das malhas urbanas, do adensamento populacional e urbano e da queima de combustíveis fósseis entre outras atividades humanas oriundas do processo de urbanização evidenciado no mundo inteiro, os seres humanos alteraram

o ambiente natural e o clima das cidades, tornando-as, na maioria dos casos, difíceis ao pleno desenvolvimento das atividades humanas nestas áreas.

Assim, observa-se que, no intuito de expandir as áreas urbanas, os seres humanos alicerçaram o desenvolvimento e o crescimento das mesmas no emprego maciço de novos materiais e equipamentos, além do adensamento populacional, contribuindo para a transformação do espaço natural.

Conforme Spirn (1995, p.29), “À medida que as cidades crescem em tamanho e densidade, as mudanças que produzem no ar, no solo, na água e na vida, em seu interior e a sua volta, agravam os problemas ambientais que afetam o bem-estar de cada morador”.

Diante destas situações, após a 2ª Guerra Mundial, surgiram inúmeros estudos voltados à qualidade ambiental das cidades, na busca de sugerir melhores condições de conforto e qualidade de vida a toda população.

Todos os trabalhos desenvolvidos sobre o clima urbano atestam que as condições climáticas da cidade são extremamente diferenciadas em comparação com o ambiente atmosférico do meio rural.

Oke (1978, p.247) afirma que “(...) em comparação com a paisagem circunvizinha a cidade usualmente provoca um enrugamento, aquecimento, e talvez ressecamento das condições de superfície”.

De acordo com Geiger (1961) e Chorley & Barry (1972), o contraste térmico entre cidades e seu entorno rural se devem em decorrência da maior produção direta de calor por combustão.

Os autores afirmam, também, que a partir do consumo de carvão as grandes cidades alemãs produziam um fornecimento médio de calor na

faixa de 40 cal/cm²/dia, segundo as medições de radiação em Hamburgo, antes de 1956. A radiação solar direta e a radiação difusa fornecem em conjunto, num dia de dezembro ou janeiro, entre 34 a 50 cal/cm²/dia, e estes cálculos atestam que a produção de calor doméstico liberado no inverno é da mesma ordem de grandeza da radiação solar, e que mesmo no verão não pode ser desprezado.

As más qualidades do ambiente atmosférico nas cidades são relatadas, segundo Spirn (1995), desde o período romano, em que os odores de cozinhas enfumaçadas, liberavam uma mescla de vapor e fuligem, gerando desconforto e mal-estar.

No entanto, os primeiros estudos sobre o clima das cidades ou clima urbano, foram realizados em Londres, em 1661, onde se constatou que a poluição produzida pela queima de carvão provocava alterações na temperatura do ar da cidade. Segundo Spirn (1995), desde 852 d.C., Londres já era conhecida pelo ar contaminado. Em 1787, também já se falava do odor da cidade de Munique e sobre as condições de poluição do ar, e após a Revolução Industrial foram constatadas modificações do clima, devido à urbanização e a maior concentração de poluentes.

Em 1833, o químico Howard, em seu livro sobre o clima em Londres, em três volumes, descreve a contaminação do ar e a ocorrência de temperaturas mais elevadas na cidade do que nos arredores.

No entanto, a atmosfera urbana só foi mais detalhadamente estudada no século XX, sobretudo por geógrafos e meteorologistas, em função da acelerada urbanização e aumento da industrialização ocorrida no mundo todo e, principalmente, após a 2^a Guerra Mundial. A partir daí, intensificaram-se e multiplicaram-se os estudos sobre clima urbano,

primeiramente na Europa Ocidental e posteriormente na América do Norte, em especial sobre a evidente contaminação da atmosfera das cidades.

Em 1937, foi publicada a primeira obra intitulada de “O Clima da Cidade”. Após pioneiros estudos realizados em Londres, várias pesquisas foram empreendidas, principalmente em regiões de clima temperado e com enfoque meramente meteorológico (Monteiro, 1976).

Conforme Geiger (1961), os métodos utilizados, antigamente, pelos pesquisadores centravam-se na caracterização do clima urbano a partir de uma série de observações simultâneas no ambiente intra-urbano e no espaço rural circundante. Este tipo de observação dificilmente conseguia eliminar a influência adicional da situação topográfica e da vegetação, mesmo quando era possível homogeneizar as séries de observação.

O autor ainda afirma que somente a partir de 1929 os estudos ganharam corpo, quando em Viena, com Wilhelm Schimdt, e em Karlsruhe, com Pepler, começaram a se realizar, concomitantemente, trajetos, no intuito de mensurar os índices de temperatura do ar na cidade por meio de automóveis, conseguindo-se voltar várias vezes pelo mesmo ponto do campo de observação e eliminando-se a variação do tempo.

De modo geral, os estudos relacionados ao clima urbano, até recentemente, foram colocados sob a perspectiva centrada na investigação dos aspectos meteorológicos, constituindo-se fundamentalmente em avaliar o índice de degradação do ambiente atmosférico gerado pela atividade antrópica no espaço urbano (Monteiro, 1976).

A exemplo desta vasta produção bibliográfica, tem-se a obra de Chandler (1965), intitulada “The Climate of London”, que analisou separadamente os elementos atmosféricos sobre pressão, tipos de tempo,

ventos, insolação, massas de ar e frentes, não estabelecendo nenhuma relação entre eles, e sob o viés meteorológico, o que em nenhum momento desmerece sua obra, pois a mesma constitui-se num clássico da climatologia urbana, a partir da qual desenvolveram-se inúmeros trabalhos.

Neste aspecto, várias críticas foram levantadas, sobretudo por geógrafos e climatologistas, pois havia a necessidade de se caracterizar os elementos constituintes do clima urbano. Entre eles Monteiro (1976, 1990), que advoga a necessidade de paralelamente às análises meteorológicas sobre a atmosfera da cidade, penetrar no interior da estrutura urbana, tomando-a como um “fato geográfico”, altamente derivado das alterações impostas pelas atividades antrópicas, e conduzida pelos processos dinâmico-funcionais condicionados pelos aspectos de ordem econômica e cultural de uma determinada época em que a sociedade está inserida.

Ao aplicar os princípios da teoria da representatividade sistêmica, preconizada por Ludwig Von Bertalanffy, alicerçada na análise rítmica da circulação atmosférica regional, através da identificação dos tipos de tempo¹, Monteiro (1976) propôs uma metodologia específica para o estudo do clima das cidades, definindo-o de Sistema Clima Urbano (SCU).

A partir desta proposição teórico-metodológica, o clima urbano pode ser definido, segundo Monteiro (1990, p.11), “como um sistema complexo, aberto, adaptativo que, ao receber energia do ambiente maior no qual se insere, a transforma substancialmente a ponto de gerar uma produção exportada ao ambiente”.

O Sistema Clima Urbano – SCU, subdivide-se em três subsistemas: o Termodinâmico, o Físico-Químico e o Hidrodinâmico, sendo que cada um

¹ Apoiado na perspectiva do ritmo climático proposto por SORRE (1943).

desses subsistemas corresponde, respectivamente, a um canal de percepção climática: o Conforto Térmico, a Qualidade do Ar e o Impacto Meteorológico.

Assim, ao lançar sua proposta teórico-metodológica, através de uma abordagem geográfica, enfocando a circulação atmosférica regional para o estudo do clima urbano, Monteiro (1976) proporcionou um novo rumo à climatologia geográfica.

Neste aspecto, Mendonça (1994, p.10) afirma que “foi a partir da concepção de dinâmica atmosférica e de sua inter-relação com as atividades humanas, enquanto fator de causa e efeito de sua alteração, que o clima em geral, e o urbano em particular, passaram a ser tratados sob um enfoque mais geográfico”.

Outros importantes conceitos surgiram para a análise do clima urbano. Oke (1978) introduziu o conceito do “Sky View Factor” (configuração de céu ou fator céu visível), inicialmente utilizado na biologia para estudos da radiação em áreas florestadas, e também utilizados por Olgyay (1973) para estudos em ambientes arquitetônicos.

A adoção deste conceito em climatologia urbana serve para caracterizar a chamada “geometria urbana”. O “Sky View Factor”, constitui-se na quantificação do índice de “abertura” ou “fechamento” para o céu de determinados pontos da superfície terrestres (neste caso áreas urbanas), para que se realizem as trocas de energia naquele ponto. De acordo com Mendonça (1994), o conceito de “Sky View Factor”, relacionado com a cobertura da superfície urbana pelas edificações e vegetação urbana, o efeito-oásis ou frescor, derivado de áreas verdes urbanas e o papel da mistura dos solos, atua decisivamente na formação das ilhas de calor.

Neste sentido, Sakamoto (2001) afirma que as variações da temperatura junto à superfície estão relacionadas com as variações na disponibilidade de céu, as quais podem determinar variações térmicas significativas, influenciando principalmente na intensidade da “ilha de calor”.

No Brasil, também despontaram alguns estudos nesta perspectiva, após a década de sessenta, quando a degradação da qualidade ambiental das cidades já se fazia sentir na qualidade de vida de seus habitantes.

No entanto, somente a partir da década de setenta que as pesquisas voltadas ao clima urbano no Brasil registram os primeiros trabalhos, entre eles pode-se destacar os pioneiros desenvolvidos sob o enfoque da climatologia geográfica: Sartori (1979), em Santa Maria-RS, Sampaio (1981) em Salvador-BA, Lombardo (1985) em São Paulo-SP, Hasenack (1986) em Porto Alegre-RS e Danni-Oliveira (1987) entre outros.

Porém, apesar de quase três décadas de estudos sobre a temática do clima urbano, ainda é incipiente o conhecimento sobre a realidade climática da maioria das cidades brasileiras, bem como o número de proposições teórico-metodológicas para o estudo do clima urbano de cidades tropicais e equatoriais ainda é muito pequeno.

Neste caso, um levantamento de dados realizados por Mendonça (1994), com base em Monteiro (1976, 1984 e 1991), Lombardo (1985), Imamura-Bornstein (1992), evidencia a baixa representatividade bibliográfica da climatologia brasileira, frente à climatologia internacional.

3.3 – Das Características do Clima Urbano

Os processos derivados da urbanização alteram as propriedades térmicas e hidrológicas da superfície terrestre, que, por conseqüência, modificam também o balanço de radiação na superfície das áreas urbanas.

Vários são os fatores que influenciam nas diferenças térmico-higrométricas entre o urbano e as áreas rurais circunvizinhas, propiciando a formação de um clima “tipicamente” urbano.

O aumento da temperatura do ar e formação do clima urbano se deve, em grande parte, ao desenvolvimento das atividades humanas, como: retirada da cobertura vegetal; aumento do fluxo de pessoas que liberam à atmosfera calor antropogênico; adensamento das edificações e pavimentação do solo, que aumentam o escoamento superficial diminuindo a infiltração; alteração e introdução de novas formas de relevo; concentração de veículos e indústrias que aumentam a produção artificial de calor e o lançamento concentrado e acumulado de partículas e gases na atmosfera, que criam profundas alterações na atmosfera local (Monteiro, 1976; Oke, 1982; Lombardo, 1985, Mendonça, 1994, entre outros).

Como conseqüência destas alterações no meio natural, têm-se como resultados os seguintes aspectos, conforme Ayoade (1991, p.300):

A radiação em ondas longas e as de ondas curtas são reduzidas sobre as áreas urbanas. As temperaturas elevam-se, mesmo quando diminui a duração da insolação. A umidade é reduzida, mas há um certo aumento na precipitação e também na quantidade de nebulosidade. Os nevoeiros e neblinas são mais espessos, ocorrendo com mais freqüência e persistência, prejudicando a

visibilidade. A turbulência cresce. Os ventos fortes são desacelerados e os ventos fracos são acelerados à medida que se movimentam nas áreas urbanas.

Entre outros efeitos meteorológicos gerados pelas alterações do espaço natural, há também os problemas da poluição do ar e do desconforto térmico e ambiental decorrente. O adensamento das edificações oferece resistência a livre circulação dos ventos, não permitindo que os mesmos dispersem as sujeiras e os poluentes, bem como o calor.

Spirm (1995) afirma que na cidade, principalmente nas áreas centrais que apresentam edificações mais elevadas e maior adensamento das estruturas urbanas, é mais quente e menos ventilado que nas áreas periféricas, que se apresentam geralmente com maior presença de vegetação, sem edificações muito altas e menor adensamento urbano e populacional. Em decorrência disto há um aumento da temperatura do ar nessas áreas centrais, e como consequência um maior desconforto térmico nos meses de verão e de consumo de energia, em virtude do uso diário do ar-condicionado.

A autora ainda afirma que durante ondas prolongadas de calor há, como consequência direta, um maior número de mortes nas áreas centrais mais quentes do que nas áreas mais frescas dos subúrbios.

Conforme observa Chandler (1976), *apud* (Lombardo, 1996, p. 32):

Com a substituição das superfícies e formas naturais pelas “artificiais”, o ser humano vem modificando as propriedades físicas e químicas, e os processos aerodinâmicos, térmicos, hidrológicos e de intercâmbio de massa que ocorre na camada limite atmosférica. Em

conseqüência, as propriedades meteorológicas do ar dentro e imediatamente acima das áreas urbanas ficam profundamente modificadas criando um distinto tipo climático, o clima urbano.

As alterações climáticas produzidas pelas áreas urbanas variam de cidade para cidade, em função da intensidade do uso do solo, do tamanho e da densidade populacional e também das características geocológicas, estando sintetizadas no Quadro 1.

Através da taxonomia proposta por Oke (1976 e 1978), o clima urbano pode estar compreendido dentro de duas escalas de ocorrência: a da “Urban Boundary Layer” (Camada Limite Urbana), também denominada por Givoni (1998) como “Urban Air Plume”. Esta Camada Limite Urbana é definida, segundo Oke (1976), como sendo a parcela da atmosfera que se encontra sobre uma área da superfície terrestre urbanizada, governada por processo de escala local ou meso-escala.

Esta camada desenvolve-se acima do teto máximo dos elementos urbanos, ou seja, das edificações, das estruturas viárias, representando a interação da atmosfera com o conjunto da cidade. Sua localização e características vão depender, principalmente, do vento regional e sua espessura depende dos processos de aquecimento diário, aliado com as condições de estabilidade da atmosfera.

Esta camada, conforme Givoni (1998, p. 242):

“(…) is more homogeneous in its properties over the urban area at large. It is defined as that portion of the Planetary Boundary Layer whose

characteristics are affected by the presence of na urban area at is lower bondary”.

Quadro 1: Mudanças climáticas produzidas pela cidade.

Elementos	Comparação com a Zona Rural
Poluentes	
- partículas sólidas	10 vezes mais
- bióxido de enxofre	5 vezes mais
- bióxido de carbono	10 vezes mais
- monóxido de carbono	25 vezes mais
Radiação	
- total sobre a superfície horizontal	15 a 20% menos
- ultravioleta, no inverno	30% menos
- ultravioleta, no verão	5% menos
- duração da radiação	5 a 15% menos
Nebulosidade	
- cobertura de nuvens	5 a 10% a mais
- nevoeiro, no inverno	100% a mais
- nevoeiro, no verão	30% a mais
Precipitação	
- quantidade total	5 a 10% a mais
- dias de chuva com 5 mm	10% a mais
- queda de neve	5% menos
- dias com neve	14% menos
Temperatura	
- média anual	0,5 a 1,0°C a mais
- mínimas de inverno	1,0 a 2,0°C a mais
- aquecimento de graus-dia	10% menos
Umidade relativa	
- média anual	6% menos
- inverno	2% menos
- verão	8% menos
Velocidade do vento	
- média anual	20 a 30% menos
- movimentos extremos	10 a 20% menos
- Calmarias	5 a 20% a mais

Fonte: Landsberg (1970) In: Ayoade (1991, p. 301).

Adaptação: Saydelles, A.P.

A outra escala de ocorrência é denominada de “Urban Canopy Layer” (Camada de Cobertura Urbana ou “Dossel” urbano), situada abaixo da Camada Limite Urbana, no interior da cidade, e desenvolve-se sob determinadas condições meteorológicas.

A Camada de Cobertura Urbana é governada, segundo Oke (1976, p. 274), “por processos de micro-escala”, e abrange o ar que se encontra entre a superfície do solo e o teto máximo dos elementos urbanos, principalmente das edificações, podendo não ser encontrado sobre amplas áreas verdes e abertas da cidade.

As características desta camada, conforme Oke (1976, p. 274), “dependem principalmente dos materiais de construção e da geometria urbana (disposição e dimensões – altura e largura das edificações e vias de circulação em relação ao movimento aparente do sol.)”, representando, dessa forma, as interações entre a atmosfera e os elementos urbanos.

Neste sentido, Givoni (1998, p. 242) afirma que:

The specific climatic conditions at any given point within the canopy are determined by the nature of the immediate surroundings. In particular, the materials, geometry, and surface properties of the structures around a given place modify the local ambiente climate. Therefore the meteorological conditions within the urban canopy are very localized.

No entanto, sobre as áreas rurais circunvizinhas se forma, segundo Sellers & Robinson (1986), a “Urban Plume”, resultante da área urbana (Figura 2). Porém a precisa localização e dimensões desta camada divergem em relação a Boundary e a Canopy Layer.

Neste sentido, pode-se afirmar que a qualidade de vida no ambiente urbano está diretamente vinculada aos processos que ocorrem dentro da Camada de Cobertura Urbana, sendo estes dependentes da concentração dos materiais introduzidos no espaço natural das cidades.

A camada atmosférica próxima à superfície terrestre apresenta, como características, o resultado das interações entre estes dois meios.

Assim, é por meio deste complexo conjunto de inter-relações que o clima urbano e suas derivações, como o fenômeno da ilha de calor, são produzidos.

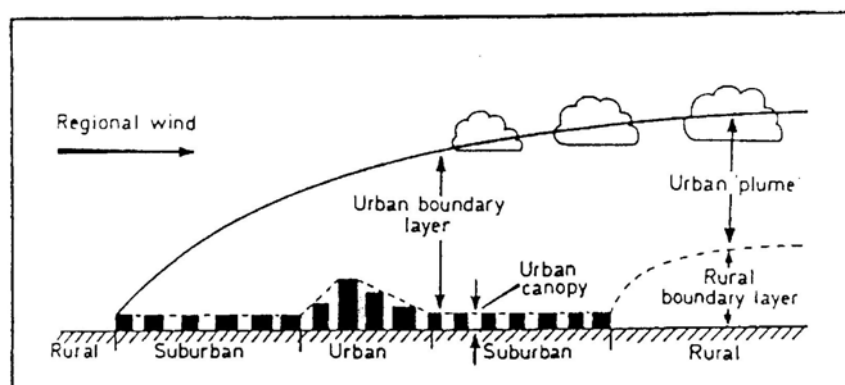


FIGURA 2: Representação da atmosfera urbana.

Fonte: Sellers, A.H. & Robinson, P.J. (1986, p. 291).

3.4 – Das Características das Ilhas de Calor Urbano

Considerada por muitos autores como “anomalia térmica”, o fenômeno das ilhas de calor urbano constitui-se numa das mais notáveis expressões climáticas, resultante das alterações impostas ao ambiente urbano.

Diversos estudos sobre o campo térmico das cidades, entre eles os de Landsberg 1970, Oke 1978, Sampaio 1981, Jauregui 1984, Lombardo 1985, Danni-Oliveira 1987, Martinez 1991, Magee & Wendler 1999, têm demonstrado que, independentemente da zona climática, nas áreas urbanas a temperatura do ar é mais elevada do que nas áreas rurais circunvizinhas.

As intensas interações entre a atmosfera e a superfície terrestre provocam particularidades nas características climáticas do centro da cidade para a periferia. Segundo Oliveira (1987, p. 314), “as diferenças de temperatura existentes entre a cidade e seu entorno (...), ocasionaram diferenças de pressão entre zonas urbanas em que ocorrem as maiores temperaturas e as áreas periféricas, onde ocorrem as menores temperaturas”.

Em virtude dessas diferenças de pressão e de emissão de calor dentro da cidade, há uma tendência de aumento da temperatura do ar da periferia para o centro (Figura 3), bem como a alteração dos demais elementos meteorológicos, como umidade do ar, velocidade do vento e precipitação.

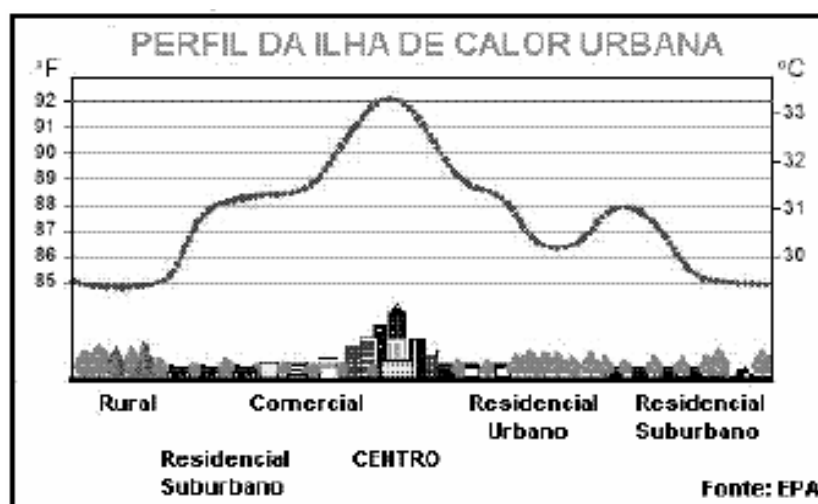


FIGURA 3: Perfil da Ilha de calor urbana.

Fonte: Site da EPA.(Environment Protect Agency), 2003.

No entanto, algumas áreas urbanas como um todo, ou em determinadas partes do espaço intra-urbano, apresentam temperaturas inferiores em relação às demais áreas, fenômeno denominado por Oke (1982) de ilhas de frio ou frescor urbano.

Conforme Spirn (1995, p. 69):

A área central da cidade, com seus edifícios altos e próximos uns dos outros, em ruas estreitas com pátios confinados, forma tipicamente o centro da ilha de calor. Ali, a capacidade térmica dos edifícios e da pavimentação é maior, e menor a circulação do ar. Parques ajardinados e vales de rios, por outro lado, são pontos relativamente mais frios dentro da ilha de calor.

Oke (1979) *apud* Carnahan & Larson (1990, p. 65), apresentou quatro fatores de ocorrência das ilhas de calor urbano no âmbito da Urban Boundary Layer (Camada Limite Urbana), que são:

- a)- Calor Antropogênico dos telhados e das aglomerações;
- b)- Entrada do ar quente resultante da ilha de calor na camada de cobertura urbana;
- c)- Queda do fluxo de calor sensível da camada estável de cobertura pela convecção de penetração;
- d)- Convergência do fluxo radiativo de ondas curtas no ar poluído urbano. (tradução minha).

Estes aspectos são resultantes das interações que se processam no âmbito da camada de cobertura ou “dossel” urbano (Canopy Layer), sendo esta a responsável pela formação e caracterização das ilhas de calor.

Neste sentido, diversos autores, entre eles Myrup (1969), Eriksen (1978), Oke (1976, 1978, 1979), Ayoade (1991), Givoni (1998), também apresentaram inúmeros fatores que contribuem para o desenvolvimento da ilha de calor urbano, sendo:

- Elevação do afluxo de radiação em decorrência da absorção de ondas longas e reemissão pela atmosfera urbana poluída;
- A capacidade térmica de calor e a condutividade das superfícies urbanas, que acarretam absorção da radiação durante o dia e sua liberação na atmosfera, à noite;
- Redução da perda de radiação de ondas longas dos “canyons urbanos”, devido à redução do seu Sky View Factor;
- Maior absorção da radiação de ondas curtas devido ao efeito da geometria dos canyons urbanos;
- Secura das superfícies urbanas que implica em pouca energia usada na evaporação, sendo a maior parte da energia utilizada para aquecer o ar;
- Redução do resfriamento causado pela diminuição da evaporação, devido à remoção da vegetação e à impermeabilização da superfície da cidade;
- Produção de calor antropogênico através da emissão de calor pelas indústrias, trânsito (combustão de combustíveis fósseis), edifícios, e metabolismo gerado pelo corpo humano;
- Redução da perda de calor sensível devido à queda no fluxo dos ventos por causa da fricção com as estruturas urbanas, reduzindo as trocas de ar da cidade com o ar mais frio da zona rural circundante, afetando os processos evaporativos que podem contribuir para os resfriamentos;

- Efeito de estufa da camada de poluição sobre as cidades. Há redução na radiação terrestre infravermelha para o espaço à noite, de modo que a energia fica conservada dentro da atmosfera urbana, abaixo da camada de poluição;
- Fonte de calor sazonal: calor oriundo das estruturas urbanas (edifícios, casas...), no inverno, e calor lançado na atmosfera urbana pelos ar-condicionados no verão.

Assim, a formação do fenômeno das ilhas de calor urbano está relacionado com as atividades desempenhadas pelos seres humanos e com a intensidade dos materiais e novos equipamentos empregados na expansão das malhas urbanas (concreto, asfaltos, telhados,...), os quais absorvem e conservam o calor proveniente da radiação solar, não utilizando-o para executar nenhum outro processo e certamente alimentam positivamente o aumento da temperatura do ar sobre as cidades.

No entanto, os corpos d'água e as superfícies com cobertura vegetal, ao absorverem esta mesma radiação solar, utilizam sua maior parte nos processos de fotossíntese e evapotranspiração, o que, obviamente resulta numa maior perda de calor absorvido durante o dia.

Muitos estudos realizados sobre o fenômeno das ilhas de calor urbano revelam que a diferença de temperatura do ar entre o centro da cidade e as áreas periféricas apresenta-se mais pronunciado à noite, sob certas condições atmosféricas de vento calmo e céu limpo, ou seja, sem a presença de nuvens.

Neste sentido, Spirn (1995, p. 68) afirma que:

Durante à noite, o campo perde calor rapidamente para o céu sem nuvens. A cidade esfria mais

lentamente: ela absorveu maior calor, e a irradiação desse calor para o céu é inibido pelas paredes paralelas dos edifícios. Pela manhã, a diferença de temperatura entre a cidade e o campo é mínima e pode mesmo ser eliminada, mas, na metade da tarde, a cidade fica mais quente novamente.

Para Oke (1978), a área central da cidade com presença de edificações mais altas, próximas umas das outras (canyons urbanos), formando ruas mais estreitas, onde a circulação do ar é menor, constitui-se no local onde há maior desenvolvimento e intensidade da ilha de calor, denominado de “Peak” (Cume), coincidindo, conforme Mendonça (1994), com o CBD² das cidades ocidentais.

À medida que se estende do centro da cidade em direção à periferia a temperatura do ar decai, e na fronteira com a área rural tem-se a formação de ilhas de frescor urbana, também denominadas por Oke (1978) como “Ladeira” (*Cliff*), relacionadas às influências da vegetação e da menor densidade populacional e das edificações (Figura 4).

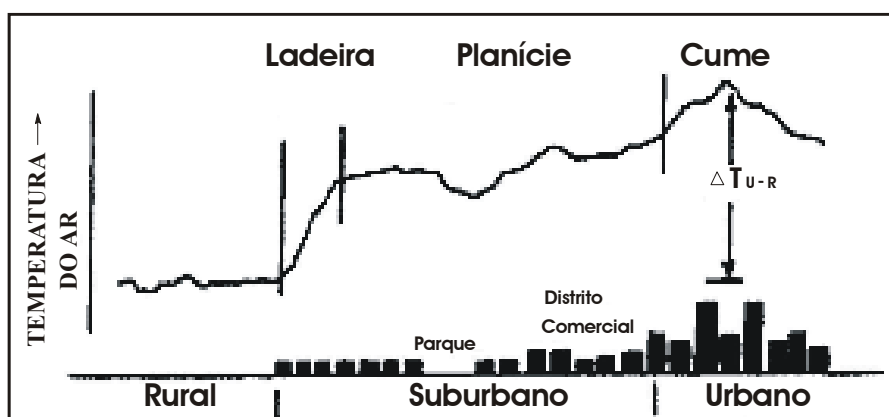


FIGURA 4: Secção Transversal de uma Ilha de Calor Urbano.

Fonte: Oke (1978, p. 255) . Adaptação: Saydelles, A.P.

² Central Business District.

Para Oke (1982), a ilha de calor urbano é mais pronunciada na fronteira cidade-campo, a sotavento, acompanhando o contorno da área urbanizada; no interior da cidade há menor gradiente horizontal de temperatura, variando conforme as características e heterogeneidade do ambiente construído.

O autor afirma que um parque ou um lago apresenta temperaturas relativamente inferiores em relação às áreas industriais, comerciais e residenciais ou mesmo centrais. A ilha de calor sofre variações diurnas marcantes e o calor da cidade pode ser deslocado de acordo com a direção predominante do vento. A intensidade da mesma é influenciada pelas diferentes velocidades de resfriamento entre o ambiente urbano e seu entorno rural, que ao pôr-do-sol produzem um aumento da ilha de calor, até atingir o auge em poucas horas. A influência da ilha de calor ao nível dos prédios estende-se atmosfera acima, na forma de um domo.

De acordo com Givoni (1998), a diferença de temperatura entre a área urbana e sua periferia é afetada por dois aspectos principais. O primeiro está relacionado com os fatores meteorológicos, como a cobertura de nuvens, umidade e velocidade do vento. O segundo aspecto a ser considerado condiz com a influência das várias características da estrutura urbana, como o tamanho da cidade e a densidade de áreas construídas. Ainda pode ser acrescentada a importante participação da localização geográfica, da topografia do sítio urbano e da morfologia regional, que alteram as condições meteorológicas.

Os efeitos da ilha de calor urbano podem apresentar certo benefício nos invernos das cidades de clima temperado, pois reduz a sensação de

desconforto térmico, provocado pelo frio, bem como as despesas com o consumo de energia utilizada na geração de calor artificial.

No entanto, em climas tropicais pode apresentar efeitos extremamente negativos, como o próprio aumento no consumo de energia com ar-condicionado, que além de produzir mais calor (externo), intensificando as ilhas de calor, podem causar aumento nos índices de mortalidade.

Conforme Spirn (1995, p. 70), “pessoas com mais de oitenta anos e as que sofrem de hipertensão, doenças, respiratórias e cardíacas e de diabetes são as mais sujeitas a morrerem por excesso de calor”.

A autora destaca que as mortes são mais freqüentes entre os pobres, nas partes mais densas da cidade, e menos freqüentes entre os ricos e nos subúrbios. Muitos são os fatores que podem justificar esta mortalidade, entre eles o condicionamento do ar, que é menos freqüente entre os pobres, e a pavimentação das áreas densamente urbanizadas que pode irradiar 50% mais calor do que a vegetação. Conforme Spirn (1995, p.71), “As pessoas nas partes mais densas da cidade estão, assim, sujeitas não apenas a maiores temperaturas do ar, mas também ao calor adicional que se irradia dos edifícios e pavimentação circundante”.

No entanto, ainda é comum encontrar na literatura internacional, alguns autores afirmando que em cidades de clima tropical a ocorrência dos fenômenos das ilhas de calor é menos pronunciada ou inexistente.

Neste caso, pode-se citar Ayoade (1991, p. 303), ao afirmar que:

- 1)- Devido à alta temperatura reinante, não há necessidade de aquecimento do espaço;
- 2)- A maior parte das cidades tropicais não são industrializadas como as das regiões temperadas, supõe-se que o nível de poluição do ar seja menor.

Isso implica que a maior parte da radiação terrestre seja liberada para o espaço;

3)- As superfícies urbanas nos trópicos são menos pavimentadas e a drenagem das águas pluviais é menos eficiente do que a dos países mais desenvolvidos das regiões temperadas. Isto significa que menos energia será armazenada ou irradiada pelas superfícies urbanas tropicais. Do mesmo modo, mais energia será utilizada para a evaporação e transpiração, com menos energia disponível para aquecer o ar;

4)- O tamanho e a intensidade da ilha de calor são determinados pela quantidade de calor, assim como pelo tamanho das cidades. Como o tamanho das cidades tropicais é geralmente menor do que o das regiões temperadas, o fenômeno da ilha de calor será provavelmente menos desenvolvido nos trópicos.

Com base nestas afirmações, fica evidente que o desconhecimento do autor sobre a realidade climática dos países tropicais se deve, em grande parte, à baixa produção científica sobre a temática do clima nas cidades tropicais.

No entanto, nas últimas décadas surgiram inúmeros estudos sobre o clima de cidades tropicais que merecem destaques.

Jauregui (1979), com o objetivo de determinar o padrão horizontal da temperatura do ar e o contraste térmico campo-cidade, em Toluca, México, realizou medidas com um automóvel dotado de psicrômetro e anemômetro, em condições de céu claro e ventos fracos, e constatou que as temperaturas mais elevadas encontram-se em áreas de maior concentração de edifícios.

Danni-Oliveira (1980) estudou o comportamento da temperatura do ar em Porto Alegre, no outono e início do inverno.

Sampaio (1981) investigou as relações existentes entre o uso do solo na cidade de Salvador, e comprovou a elevação da temperatura do ar no ambiente intra-urbano.

Lombardo (1985) analisou o comportamento das ilhas de calor na metrópole de São Paulo através do emprego de imagens de satélite, constatando diferenças de temperatura da ordem de 10°C entre diferentes espaços da área urbana.

Mendonça (1994) empregou uma metodologia para estudos do clima urbano em cidade de porte médio e pequeno, aplicado à cidade de Londrina/PR.

Escourou (1991) *apud* Mendonça (1994), listou uma série de exemplos de formação de ilhas de calor de diferentes magnitudes, comprovando que a ocorrência de tal fenômeno se dá tanto em cidades temperadas como em tropicais, sendo típica das duas zonas climáticas e, nesta última, com conseqüências mais danosas à saúde da população, pois a ilha de calor urbano aumenta a intensidade da temperatura do ar causando ainda mais desconforto térmico à população (Quadro 2).

Quadro 2: Exemplos de ilhas de calor urbano de forte intensidade.

CIDADES TEMPERADAS	T° u – r	CIDADES TROPICAIS	T° u – r
Bale (Suíça)	6°C	Nova Dehli (Índia)	10°C
Berna (Suíça)	6°C	Ibadan (Nigéria)	8°C
Biel (Suíça)	5°C	México (México)	9°C
Londres (Reino Unido)	11°C	Porto Alegre (Brasil)	4°C
Paris (França)	14°C	São Paulo (Brasil)	12°C
Fribourg (Alemanha)	10°C	Shangai (China)	9°C

(T° u-r : diferença de temperatura urbano-rural).

Fonte: Escourou (1991) *apud* Mendonça (1994, p. 58). Adaptação: Saydelles, A.P.

Conforme Oke (1982), tais estudos nas cidades tropicais podem ter alguma importância na compreensão da análise e atenção aos processos; o maior desafio consiste em explicar os processos relevantes e as escalas de atividade na atmosfera urbana e fornecer generalizações e síntese para o desenvolvimento de modelos numéricos.

No intuito de melhor detalhar o conhecimento e análise sobre a formação e dinâmica das ilhas de calor, surgiram nos últimos anos inúmeros modelos matemáticos na tentativa de mensurar o fenômeno, com base nas características de cidades de clima temperado, que ao serem adaptados para a análise do clima de cidades tropicais, poderão não surtir o efeito esperado ou mesmo levar a uma compreensão equivocada do fenômeno, pois as características geológicas e principalmente geourbanas das cidades destas latitudes apresentam-se de forma diferenciada.

A maioria dos modelos desenvolvidos tem como base a análise estatística, através da mensuração de alguns elementos meteorológicos, como temperatura, umidade, ventos, sob uma ótica puramente meteorológica, através da diferenciação urbano-rural, sem considerar a cidade como um “fato geográfico”.

No entanto, os trabalhos desenvolvidos por Oke (1978, 1981 e 1982) merecem destaque, uma vez que foram levados em consideração, a nível de análise, os aspectos de influência da estrutura urbana.

Assim, Oke (1982) ao correlacionar a intensidade da ilha de calor com o tamanho da população urbana em cidades da América do Norte, sugeriu a Equação 1:

$$dT = P^{1/4} / (4.U)^{1/2}$$

Equação 1

Onde:

dT = Intensidade da ilha de calor (°C)

P = População

U = Velocidade do vento regional (m/s)

Outro modelo de representação e análise da ilha de calor urbana, sugerido por Oke (1981), consiste em correlacionar a intensidade da ilha com a geometria dos canyons urbanos, expressos através da relação entre altura dos edifícios (H) e a distância entre eles (W), cujo cálculo sugerido é:

$$dT_{max} = 7,45 + 3.97. (H/W)$$

Equação 2

A relação entre altura-distância dos edifícios, gerando os chamados “canyons urbanos”, também suscitou a utilização de outra técnica denominada de “Sky View Factor” (SVF), mencionada anteriormente, expressa através da Equação 3:

$$dT_{max} = 15,27 - 13,88 . SVF$$

Equação 3

Através desta fórmula, o autor argumenta que a ilha de calor é causada ou reduzida em decorrência da perda ou ganho de calor da radiação pelo índice de obstrução do céu.

Conforme Lee (1993), particularmente, as causas que limitam ou inviabilizam a descrição quantitativa das áreas urbanas, sobretudo as de grandes extensões, é a forma como a temperatura do ar apresenta-se distribuída pelo espaço urbano interno.

O autor ainda afirma que as técnicas comuns empregadas na mensuração e predição do fenômeno do calor urbano consistem na comparação da temperatura entre estações meteorológicas urbanas e rurais, através de auto-diagonais ou transetos e, atualmente, através do emprego de sensores remotos termais e modelos computacionais.

As coletas de dados em estações meteorológicas da rede de observação, na maioria das vezes, não representam as condições meteorológicas urbanas, por estarem situadas em locais que representam as condições sinópticas ao “ar livre”, não comprometido com a estrutura urbana e com as atividades humanas. Este aspecto também é enfatizado por Monteiro (1990).

O método do auto-diagonal ou transetos, ou ainda em estações móveis, facilitam o entendimento e a mensuração da variabilidade espacial da ilha de calor urbano. No entanto, ainda persistem os problemas com esta técnica, conforme Lee (1993, p. 1):

- 1)-The automobiles are conined to roads;
- 2)-The tranverses may take several hours, when traffic congestion is heavy, the data of wich require time-estandardizarion, for analysis;
- 3)-All measurements are acquired ar about sub-roof level, wich may not necessarily be representative exchange occurs.

Entretanto, com o emprego da técnica de Sensoriamento Remoto se consegue representar as repercussões das condições sinópticas, no conjunto da superfície de cobertura urbana (Canopy layer), abrangendo a cidade como um todo.

3.5 – Das Escalas de Abordagens do Clima

As constantes interações existentes entre a dinâmica dos processos atmosféricos com a superfície terrestre revelam que o clima de um determinado local nada mais é do que o reflexo da intensidade, extensão e duração destas inter-relações, estando a elas condicionado.

Estas trocas recíprocas de energia, entre os dois meios, podem ocorrer tanto numa escala planetária como local; as interações e combinações dos processos envolvidos nesta dinâmica planetária proporcionam modificações constantes, sendo responsáveis, também, pelo comportamento do ambiente atmosférico das escalas inferiores. Portando, possuem ação limitada nos níveis superiores.

Assim, o dimensionamento destas trocas energéticas se faz necessário, pois permite o emprego de técnicas e abordagens de análise e mensuração compatíveis com a escala de observação, relativos aos fins almejados.

Neste sentido, Ribeiro (1993, p. 288) afirma que “a cada nível escalar deve corresponder uma abordagem específica (...), com técnicas analíticas, desde a obtenção dos dados, passando pelo seu tratamento estatístico-matemático, até sua apresentação gráfica e cartográfica”.

Para Mascaró (1996), os processos que se realizam entre a superfície terrestre e sua atmosfera adjacente ocorrem de acordo com três níveis ou escalas de abrangências: do macroclima, do mesoclima e do microclima.

O estudo do macroclima diz respeito à compreensão e descrição do clima geral de uma determinada área ou região, onde os dados são obtidos junto às estações meteorológicas e correspondem as informações sobre a insolação, precipitações, nebulosidades, entre outros.

O nível mesoclimático corresponde às alterações do macroclima em consequência da morfologia e da topografia do local. São dados de mais difícil acesso, uma vez que requer um maior detalhamento da ação dos vales, das montanhas, das superfícies líquidas, da cobertura vegetal na formação do clima local.

Segundo Mascaró (1996, p. 37):

O mesoclima é uma sub-unidade entre o clima local e o macroclima (...) e aparece onde a grandeza topográfica permite e devemos aproveitá-la para classificar a organização climática espacial. Ele revela um contexto geográfico preciso, que delimita um comportamento climático, segundo uma organização espacial reconhecível.

No nível microclimático leva-se em consideração a ação humana nas transformações do seu entorno, o que propicia a alteração e a formação de um novo ambiente climático, originado de acordo com as atividades e funções humanas desempenhadas no espaço urbano. Assim, os elementos atmosféricos, por efeito da morfologia da área, das atividades desempenhadas pela ação humana, bem como por estarem contidos no

âmbito de atuação das esferas climáticas superiores, sofrem inúmeras influências e alterações, que lhe conferem um caráter tipicamente local ou urbano.

As alterações impostas no ambiente natural das cidades pela ação humana que acrescentou uma série de outras características, como os diferentes usos do solo, arrançamento urbano, edificações, áreas verdes, espaços abertos e/ou fechados, densidade demográfica, verticalização, constantes fluxos de pedestres e veículos, que liberam energia antropogênica, são capazes de alterar o meso, o topo e, sobretudo, o microclima de um determinado local.

Na tentativa de classificação dos níveis hierárquicos de abordagem do clima, destacam-se algumas importantes proposições taxonômicas de Ribeiro (1993) e Jesus (1995), ambas desenvolvidas a partir das propostas apresentadas por Monteiro (1976). Assim, no ensejo de auxiliar a compreensão de tal temática, pois o presente estudo requer tal consideração, as mesmas passarão ser abordadas.

Desta forma, através da sistematização da proposta de Tricart & Cailleux (1956) para os estudos em Geomorfologia, Monteiro (1976) apresentou uma taxonomia escalar voltada aos estudos climáticos, relacionando-os aos níveis de urbanização e para cada ordem de grandeza uma estratégia de abordagem específica. Assim, as escalas de abordagem do clima foram divididas em: Zonal, Regional, Sub-regional e Local, o qual subdivide-se em Mesoclima, Topoclima e Microclima.

O clima na escala zonal é produzido, segundo Ribeiro (1993, p. 288), “pela distribuição latitudinal da radiação solar”, que define a circulação primária ou geral da atmosfera, como, por exemplo, a zona de

convergência dos alísios (CIT), as células de altas pressões subtropicais, as zonas ciclônicas circumpolares, a circulação dos sistemas de monções, a Oscilação Sul associada ao fenômeno El-Niño.

Para Jesus (1995), os fenômenos climáticos em escala zonal correspondem aos grandes anéis que contornam o globo, estendidos horizontalmente, definindo as faixas climáticas. O autor afirma que a soma de todos os caracteres climáticos de uma zona inteira constitui-se no seu clima zonal.

Em virtude da abrangência da escala zonal, que varia entre 1000 e 5000 quilômetros de extensão horizontal, e verticalmente engloba toda a atmosfera (Ribeiro, 1993; Jesus 1995), Monteiro (1976, 2003) afirma que as técnicas de análise empregadas neste nível permitirão apenas uma caracterização geral comparativa.

Neste sentido, segundo Monteiro (2003, p. 34):

No nível zonal, por obra da latitude, decisiva no próprio fenômeno de diversificação, produz-se uma variedade setorial que, se não se afirma em faixas contínuas, organiza-se em grandes células. (...), nesta os centros de ação e os sistemas meteorológicos vinculados faixas zonais diferentes participariam no sentido de produzir uma organização climática, gerada pelos mecanismos da circulação regional, capaz de manter a organização espacial através do ritmo de sucessão temporal dos seus estados.

Por estarem ajustadas em um sistema integrado, as escalas zonais correspondem a uma espécie de mantenedora das demais escalas inferiores.

O clima na escala regional deriva do comportamento atmosférico, através do ritmo e das famílias de tipos de tempo (individualizadas na circulação atmosférica ao nível zonal), que através de seus mecanismos de movimentação e atuação, acabam por caracterizar o clima de uma determinada região.

A definição do clima regional no interior de um clima zonal deve-se a ação modificadora da circulação geral da atmosfera, provocada, segundo Ribeiro (1993, p.289), “(...) por um conjunto de fatores de superfície, como a distribuição entre as áreas continentais e oceânicas, forma dos continentes, correntes marítimas, rugosidade dos continentes (incluindo as altitudes relativas) e continentalidade/maritimidade”.

Por constituírem-se em fácies do clima zonal, pela individualização da ciclicidade ou ritmos das cadeias de tipos de tempo, Ribeiro (1993) apresenta, como estratégias de abordagem para a análise de climas regionais, a busca da compreensão do ritmo da variação anual, sazonal e mensal dos elementos do clima, que representam os mecanismos de atuação dos sistemas atmosféricos da circulação intermediária.

Para tanto, os fatores geográficos de ordem natural, que caracterizam uma determinada região, devem ser compreendidos com detalhe, pois a definição da circulação atmosférica regional é resultado deste permanente feed-back de trocas energéticas.

Como estratégias de abordagem do clima, nesta escala de abrangência regional, Monteiro (1976) recomenda a utilização de cartas sinóticas como meios de observação. Atualmente, com o crescente desenvolvimento dos sistemas de imageamento via satélite, as imagens produzidas vieram a se

constituir em importante ferramenta de observação e análise dos fenômenos climáticos.

Outra escala de abordagem é a sub-regional e sua inclusão nos espaços climáticos é apontada por Monteiro (1976) como fácies do clima regional, com extensão superficial variando em centenas de quilômetros. Articula-se com espaços urbanos, ao nível de megalópoles e grandes áreas metropolitanas, relativos às individualizações que estas proporcionam frente à circulação atmosférica regional e sub-regional.

A partir das derivações causadas no clima regional e sub-regional, ocorrem os de climas locais e suas respectivas subdivisões: mesoclima, topoclima e microclima.

A influência da configuração do relevo, através da diferenciação altimétrica e da sua cobertura vegetal, atua juntamente com a ação antrópica através da alteração da superfície natural e a substituição por materiais artificiais, interferindo no balanço energético e na formação dos climas locais.

De acordo com Monteiro (2003, p. 34):

(...), dentro das regiões, os fatos geográficos, especialmente em suas associações ecológicas, poderiam, por sua vez, produzir nova gama de diversificações secundárias ou intermediárias (variações rítmicas associadas a grandes expressões quantitativas) até atingir os climas locais. Estes seriam graus de organização especializados, pelas íntimas integrações ecológicas no interior dos sistemas climáticos regionais, (...).

É justamente neste nível de abordagem climática que reside o campo de investigação da climatologia urbana. A combinação das características fisiográficas, em co-atuação com as transformações impostas pela ação humana, proporcionam a formação de um clima tipicamente urbano.

Este aspecto também é ressaltado por Ribeiro (1993, p.291), ao afirmar que:

É sobre as cidades que se, (...) combinam dois grupos de fatores: a extrema artificialização da cobertura do solo, associada à emissão de poluentes das mais diversas origens. Daí o clima urbano estar intimamente ligado à escala mesoclimática ou local, desde que a cidade possua tamanho suficiente para se diferenciar do espaço não urbano circundante, (...).

Com uma abrangência horizontal de dezenas de quilômetros, o espaço climático local, em relação aos espaços urbanos, constitui-se, conforme a taxonomia proposta por Monteiro (1976), em uma área metropolitana ou uma metrópole, tendo como fatores de organização os constituintes geográficos. Este fato permite o mapeamento sistemático através da observação das redes meteorológicas de superfície.

Neste aspecto, Lombardo (1985, p. 22) afirma que o clima urbano “é um mesoclima que está incluído no macroclima e que sofre, na proximidade do solo, influências microclimáticas derivadas dos espaços urbanos”. Afirma, também, que a cidade deve ser considerada como parte integral do espaço regional, bem como suas contradições internas.

Dentre as diversificações do clima local, o mesoclima, de acordo com Monteiro (1976), possui sua base de identificação na compartimentação geoecológica.

O mesoclima abrange o clima de uma cidade grande ou até mesmo um bairro ou subúrbio de uma metrópole, e está condicionado aos aspectos homogêneos dos fatores geográficos, sobretudo a cobertura vegetal e a topografia.

Monteiro (2003, p.28) afirma que “os mesoclimas poderiam ser identificados nos compartimentos básicos da morfologia, em termos de várzea, espigão central, colinas periféricas, vertentes serranas, etc.”.

Neste aspecto, o autor propõe como estratégia de abordagem para estudos de clima urbano, a observação através de registros móveis, pois nesta escala o quadro climático é organizado pelo urbanismo, ou seja, pelas interações das condições naturais e urbanas, exigindo técnicas especiais de análise.

Outra subdivisão do clima local, e por extensão no mesoclima, são os topoclimas, que possuem extensão de algumas dezenas de metros, e correspondem a espaços urbanos relativos a uma pequena cidade, ou então, a algumas fácies de bairros. Possui como fatores de organização a própria configuração arquitetônica (Monteiro, 1976).

Para Ribeiro (1993), o topoclima restringe-se à forma do relevo ou ao tamanho da vertente que lhe dá origem, podendo variar de 0,5 a 5Km de extensão e interferir verticalmente em até 50 a 100 metros (limite da camada superficial).

Neste aspecto, a forma da vertente e sua exposição ao sol, juntamente com o uso do solo, possuem destacada participação na formação do quadro climático nesta escala.

Este nível de abordagem, juntamente com o mesoclima, tem sido alvo de inúmeros estudos, notadamente voltados à compreensão do fenômeno das ilhas de calor.

De acordo com Monteiro (2002, p. 27):

Se um clima local é um ponto dentro do regional onde uma conjugação de fatores “especializa” uma certa definição climática, nos locais ocupados por cidades, a ocorrência destes “fatores” constitui um espectro bem mais amplo pelas grandes “derivações” introduzidas pelo Homem na edificação urbana. Não apenas pelo “edificado” urbanisticamente, mas pela adição de várias alterações no quadro geocológico, tais como represas, reservatórios, aterros, desmontes de morros, etc. Assim, os climas urbanos são climas locais muito alterados por ação antrópica (...).

Através desta concepção, Mendonça (1994) apresentou uma proposição metodológica para estudos de clima urbano em cidades de pequeno e médio porte, através da setorização da área de estudo, enfatizando a relação dos materiais urbanos e toda a atividade humana, na configuração dos topoclimas da cidade de Londrina/PR.

Por fim, tem-se a escala microclimática, que se define, conforme Ribeiro (1993, p.292), “(...) através da magnitude das trocas gasosas e energéticas entre as feições ou estruturas particularizadas (inclusive

objetos, plantas e animais) dispostas na superfície da terra e o ar que as envolve”.

O autor admite que os principais fatores responsáveis pela diferenciação da magnitude das trocas energéticas e gasosas ficam por conta das rugosidades, da cor e da textura da superfície. Estas, juntamente com os abrigos do solo, com as edificações e a vegetação, promovem a alteração do ar circundante na escala microclimática.

A maior controvérsia, nesta escala, reside na sua precisa delimitação. No entanto, todos os autores são unânimes em admitir que ela consiste no ar que circunda os seres humanos.

Geiger (1961), em seu Manual de Microclimatologia, afirma que o clima nesta escala é todo o ar que não está acima de dois metros da superfície terrestre.

No entanto, Monteiro (1976), ao propor sua taxonomia da organização geográfica do clima, apresenta uma hierarquização das escalas de abordagem, sem estabelecer limites de abrangência precisamente delimitados, por estarem articuladas com os espaços urbanos, que por sua vez, variam de extensão se comparados entre si.

Por entender que o clima na microescala é o ar que está em permanente contato com os seres humanos, Monteiro (1976) admite que os fatores de sua organização ficam por conta das habitações. Desta forma, os espaços urbanos nesta escala consistem nas edificações e nos setores de habitação, e necessitam de instrumentos especiais para sua observação e registro, por meio de aparelhos de alta sensibilidade e precisão.

3.6 – Da Dinâmica Atmosférica

Em qualquer estudo das variações climáticas urbanas, é de fundamental importância à caracterização e a compreensão da circulação atmosférica regional, pois, segundo Monteiro (1963, p. 61), “Se a escala zonal generaliza (...), e a local diversifica e multiplica, pela influência dos múltiplos e pequenos fatores (...), a escala regional lhes dá a verdadeira unidade geográfica”.

Admitindo que o clima de uma cidade está inserido no clima regional, se faz necessário, a priori, como forma de embasar o enquadramento do tema, a caracterização da circulação atmosférica zonal no âmbito da circulação secundária ou regional.

Para Ayoade (1991), a circulação atmosférica pode ser classificada em três escalas de abrangência que variam de ordem decrescente, quanto à escala, área e tempo.

A primeira escala, corresponde à circulação primária ou Zonal, que é responsável pela definição dos padrões de vento e pressão em larga escala, que se mantém ao longo do ano, determinando os padrões dos climas do mundo.

Inseridos dentro da circulação Zonal, estão os sistemas circulatórios secundários, tais como: os centros de ações positivos ou anticiclônicos e as depressões (centro de ação negativo), bem como as correntes perturbadas ou grandes descontinuidades que atravessam toda a região.

Os sistemas de circulação terciária ou local, inseridos no âmbito da circulação regional, são respostas dos sistemas locais aos sistemas supramencionados.

3.6.1- A Circulação Atmosférica da América do Sul na Escala Zonal

De acordo com Vianello & Alves (1991, p. 424), “Qualquer tentativa de entendimento da dinâmica atmosférica, sobre uma área, deve iniciar-se com uma visão mais global, na qual a localidade de interesse esteja inserida”.

Neste aspecto, o entendimento da dinâmica e circulação atmosférica do continente sul-americano, é essencial, para posterior compreensão e enquadramento do cenário climático da Região Sul do Brasil, pois dos setes centros de ação que definem e controlam a movimentação das massas de ar e das correntes perturbadas na América do Sul (Figura 5), três deles tem influência e ação direta sobre a Região Sul: Anticiclone Migratório Polar, Anticiclone Semifixo do Atlântico, e a Baixa do Chaco.

A compreensão da origem, das características e da movimentação de cada centro de ação torna-se necessário, para posterior entendimento das atuações das massas de ar na Região Sul do Brasil.

Os Anticiclones Permanentes e Semifixos Oceânicos (Anticilone do Atlântico e Anticiclone do Pacífico), são centros de ação de origem dinâmica, inseridos na zona de altas pressões subtropicais do hemisfério sul (Monteiro, 1963; Nimer, 1989).

No entanto, esses centros de ações positivos, apesar de serem permanentes, com atuação o ano inteiro, oscilam quanto à pressão e posição latitudinal, em decorrência das variações de temperatura sazonal.

A atuação destes dois centros de ação são de extrema importância na configuração climática da América do Sul, pois são os formadores das principais massas de ar tropicais marítimas. O Anticiclone Semifixo do

Atlântico possui destacada atuação durante o ano inteiro, nas regiões tropicais e do Brasil Meridional, com exceção do Centro-Oeste e da Amazônia.

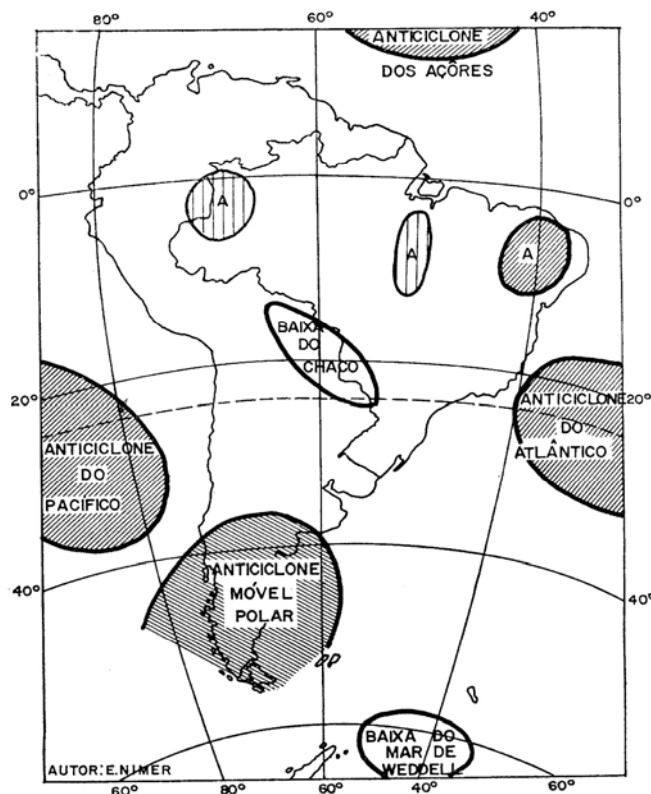


FIGURA 5: Circulação atmosférica na América do Sul: Centros de Ação.

Fonte :Nimer (1989, p.202).

Outro centro de ação positivo de notável deslocamento e intensa participação na formação dos tipos de tempo do continente sul-americano é o Anticiclone Migratório Polar Marítimo. Tem sua origem na superfície gelada do continente Antártico e das banquisas fixas da região polar austral.

De origem térmica e dinâmica, devido à subsidência do ar e a forte inversão de temperatura, possui ar pouco úmido, frio e estável.

Atraído pelo gradiente térmico para o equador, à medida que avança absorve calor e umidade da superfície mais aquecida do mar, a ponto que em latitudes médias a inversão térmica desaparece e o ar torna-se instável. (Monteiro, 1963; Nimer, 1989).

Este anticiclone, por sua constante e periódica migração para o continente, torna-se o principal responsável pela formação dos tipos de tempo da Região Sul, sobretudo no Rio Grande do Sul, em virtude da atuação das Massas Polares e da ação das Frentes Frias.

Não menos importante que os centros de ação citados, mas de participação bem mais reduzida é a Baixa ou Depressão do Chaco, centro de ação negativo localizado no interior do continente sul-americano, que exerce a atração dos sistemas intertropicais para o Sul.

A Baixa do Mar de Weddel, célula austral das baixas dinâmicas da faixa subpolar é oriunda, segundo Monteiro (1963) e Nimer (1989), da ondulação da Frente Polar Atlântica formando profundos ciclones. Os autores ainda afirmam que esta Baixa é responsável pela atração dos sistemas intertropicais em direção ao pólo, proporcionando tempo bom e forte aquecimento Pré-frontal.

3.6.2 – A Dinâmica Atmosférica Secundária na Região Sul do Brasil

No que concerne ao quadro climático do Brasil Meridional, vários estudos realizados merecem destaque, entre eles os de Monteiro (1963, 1969, 1976), Nimer (1989), Sartori (1979, 1980, 1981, 1993), que permitiram um melhor conhecimento e compreensão da dinâmica e circulação dos mecanismos atmosféricos de atuação regional. Também,

demonstraram que a Região Sul possui, pela sua notável homogeneidade e ritmo dos sistemas atmosféricos, uma caracterização que lhe individualiza em relação às demais regiões brasileiras, tanto no que se refere aos índices pluviométricos e umidade, como também ao ritmo sazonal de seu regime.

A Região Sul individualiza-se das demais regiões do Brasil por apresentar, conforme Monteiro (1963, p. 118):

“(…) posição subtropical, caráter mesotérmico, forte amplitude anual, farta distribuição anual das chuvas sem ocorrência de período seco, são fatores que levam a estabelecer relações de parentesco com outras regiões do globo (...)”.

Quanto à dinâmica atmosférica, como já salientado anteriormente, dos setes centros de ação formadores dos sistemas atmosféricos da América Latina, apenas três deles tem atuação direta, que ao interagirem com os demais fatores geográficos, definem o quadro climático de toda a região. São eles: o Anticiclone Migratório Polar (que origina as Massas Polares Atlântica (M.P.A.) e Pacífica (M.P.P.)), o Anticiclone Semi-fixo do Atlântico Sul (que dá origem a Massa Tropical Atlântica (M.T.A.)), e a Baixa do Chaco (que origina a Massa Tropical Continental – M.T.C.), além das correntes perturbadas de Sul (Frente Polar Atlântica – F.P.A.) e de Oeste.

As Massas Polares oriundas do Anticiclone Migratório Polar possuem importante participação na configuração e domínio do ambiente climático regional. São resultados do acúmulo de ar polar nas baixas pressões polares cujo fluxo de ventos divergente se desloca em direção às Altas Subtropicais.

No entanto, em virtude da presença da Cordilheira dos Andes, o Anticiclone Migratório Polar em seu avanço, bifurca-se dando origem a duas massas polares, uma de trajetória a leste dos Andes, a Massa Polar Atlântica (M.P.A.), e a outra a oeste, a Massa Polar Pacífica (M.P.P.), que ao transpor a Cordilheira em sua parte mais meridional, vem reforçar a de trajetória atlântica, a qual torna-se mais potente em seu avanço para o norte. Quando isso acontece, é responsável pelo fenômeno da Friagem no Centro-Oeste e Norte do país, e também pela intensificação do vento Minuano no Rio Grande do Sul, de temperatura e umidades muito baixas. (Monteiro, 1963; Nimer, 1989 e Sartori, 1993).

A Massa Polar Atlântica (M.P.A.) tem intensa participação no quadro climático do Brasil Meridional, durante o ano inteiro, embora sua atuação e domínio dos tipos de tempo sejam mais acentuados no inverno, pelo menor gradiente térmico do Hemisfério Austral.

Outra importante massa de ar de forte atuação na configuração climática regional é a Massa Tropical Atlântica (M.T.A.), que interfere direta ou indiretamente na circulação atmosférica do Sul do Brasil durante o ano inteiro.

Sua gênese está ligada ao Anticiclone Semi-fixo do Atlântico Sul, na região marítima quente, recebendo, desta forma, muito calor e umidade em sua superfície de contato com o oceano. De ocorrência durante todo o ano, seus efeitos sobre a região, variam de acordo com a sazonalidade ao longo do ano.

Neste sentido, Monteiro (1963, p. 126) afirma que:

No verão, a Massa torna-se inferiormente instável pelo aquecimento basal que sofre ao contato com

o continente que é agravado, de início, pelo efeito orográfico do sistema atlântico. Durante o inverno, o resfriamento basal aumenta a estabilidade superior contribuindo mais para a ocorrência de tempo bom.

Também no verão austral tem-se a intensificação da Massa Tropical Continental (M.T.C.), em consequência do grande aquecimento da superfície, associada à Baixa Pressão do Chaco, que se estende na estreita zona quente e árida, a leste dos Andes e ao sul do Trópico (Nimer, 1989).

Sua participação na Região Sul do Brasil está restrita de fins da primavera ao início do outono, quando é individualizada e dinamizada pela frontólise da Frente Polar Pacífica, que ao transpor a barreira dos Andes sofre os efeitos da dissecação adiabática. Assim, o ar quente e seco da planície do Chaco, é reforçado pela subsidência superior desse ar frio e seco que, dotado de movimento divergente, torna-se a principal responsável pela formação da Massa Tropical Continental, de elevada temperatura e baixa umidade (Monteiro, 1963). O autor ainda adverte que muitas vezes, em outras estações do ano, a Tropical Continental é individualizada nas cartas sinópticas brasileiras. No entanto, esta sinalização refere-se à Massa Polar que já sofreu os efeitos do aquecimento do continente, tornando-se quente e seca, não passando de uma “Massa Polar Velha”.

A constante circulação e dinamismo das massas de ar, que compõe o quadro climático da Região Sul, proporcionam a formação e atuação de correntes perturbadas ou grandes discontinuidades, que possuem importante participação na configuração dos tipos de tempo para toda a Região. São as Correntes Perturbadas de Sul (Frente Polar) e de Oeste ou linhas de instabilidades (Figura 6).

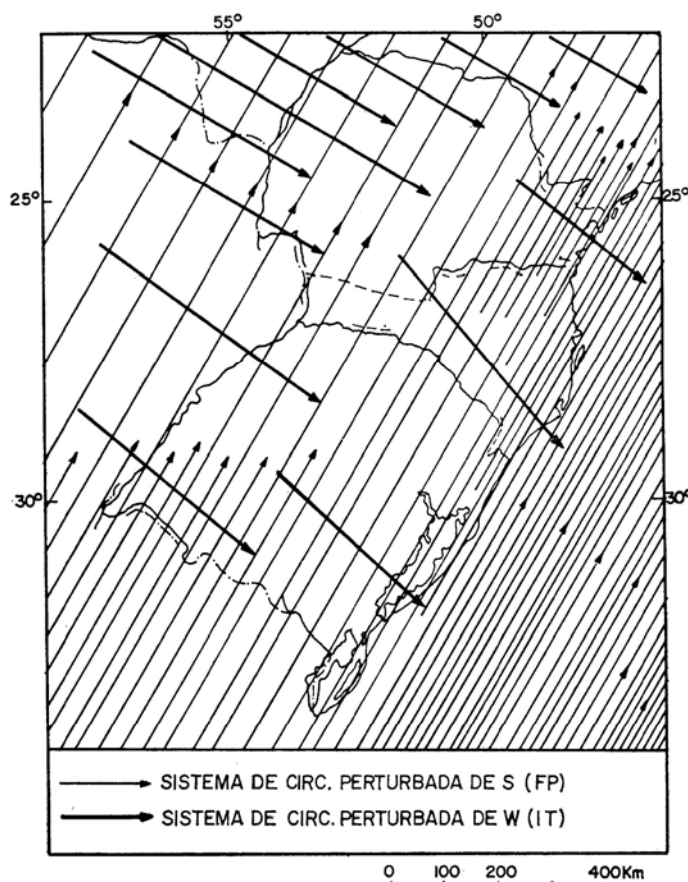


FIGURA 6: Sistemas de Circulação Atmosférica Perturbada na Região Sul.

Fonte: Nimer (1989. p, 207).

A Corrente Perturbada de Sul ou Frente Polar Atlântica é consequência direta do avanço do Anticiclone Migratório Polar e sua descontinuidade frontal, que avança sobre o continente deslocando-se de SW a NE e estendendo-se de NW para SE. Possui intensa participação na formação dos tipos de tempo na região o ano inteiro, em especial no Rio Grande do Sul, conforme Sartori (1979). A atuação é mais acentuada no inverno, pois o maior gradiente de temperatura do hemisfério austral nesta época do ano lhe favorece a penetração pela intensificação do Anticiclone Migratório Polar.

Pelas mesmas razões das massas polares, a F.P.A. divide-se em duas vertentes de deslocamento: uma pelo Pacífico e outra pelo Atlântico. A mais importante e de atuação mais efetiva na circulação atmosférica do Estado gaúcho é a de trajetória atlântica, principal responsável pelas precipitações na região durante todo ano.

As Correntes Perturbadas de W são as Instabilidades de Tropicais (IT) e têm importância bem mais reduzida para a formação dos tipos de tempo para o Rio Grande do Sul. Sua origem, segundo Nimer (1989, p.210), “(...) está ligada ao movimento ondulatório que se verifica na Frente Polar, ao contato com o ar quente da zona tropical. A partir dessas ondulações, formam-se ao norte da FPA uma ou mais IT sobre o continente”.

Tais linhas de instabilidades são mais frequentes de meados da primavera ao outono, em virtude do maior aquecimento térmico do continente, estando associada à formação de grandes cúmulos-nimbos, que na maioria das vezes são responsáveis por intensas precipitações de curta duração, resultante das correntes convectivas.

Assim, a intensa circulação das massas de ar e das correntes perturbadas está diretamente relacionada ao dinamismo dos sistemas atmosféricos e também pelas características geográficas da região.

Todo este jogo de interações que se processam entre atmosfera e superfície terrestre permite a formação de tipos de tempo associados aos domínios e atuações dos centros de ações com suas respectivas massas de ar e correntes perturbadas.

Os tipos de tempo para a região central do Rio Grande do Sul serão enfocados mais detalhadamente no capítulo da caracterização da área, quando será analisada a circulação atmosférica na escala de abrangência

terciária ou de nível local. A compreensão dos tipos de tempos oriundos da movimentação dos sistemas atmosféricos é indispensável ao estudo do clima de uma determinada cidade, que nada mais é do que respostas comportamentais dos atributos ecológicos e urbanos, derivados a ação humana, frente aos mecanismos formadores do tempo para a região.

3.7 – Do Sensoriamento Remoto

Ao longo das últimas décadas, as tecnologias de informações (informática), bem como os sistemas computacionais como um todo, passaram por uma ampla evolução, tanto conceituais como tecnologicamente.

Juntamente com o advento da informática e o crescente emprego de seus recursos na pesquisa geográfica, o Sensoriamento Remoto tem lugar de destaque nos estudos de ordem ambiental. A utilização de imagens de satélite nos estudos relativos a esta temática, principalmente no que se refere ao seu mapeamento sistemático, tem evoluído cada vez mais nas últimas décadas.

Para Novo (1998), de 1960 até os dias atuais, o Sensoriamento Remoto caracteriza-se pelo desenvolvimento de uma multiplicidade de sistemas sensores, desenvolvidos para vários sistemas de obtenção de dados orbitais e sub-orbitais em modernos satélites, cujas informações permitem melhor conhecimento do nosso planeta.

No entanto, diversos obstáculos ainda têm impossibilitado sua maciça utilização. Apesar dos atuais sensores já possuírem boa resolução espacial

que garantem um melhor detalhamento das informações da superfície, ainda não possuem uma resolução temporal adequada para determinados levantamentos, sobretudo de monitoramentos. As condições climáticas adversas no momento do registro das imagens pelos sensores, também têm inviabilizado sua utilização, além dos altos custos para a aquisição das mesmas.

No Brasil, o Sensoriamento Remoto teve seu impulso a partir da década de 60, através do projeto Radam-Brasil, cujo objetivo era realizar um amplo mapeamento dos recursos naturais do país (Rosa, 1995).

Para Novo (1998), o sensoriamento remoto pode ser definido como a tecnologia que utiliza conjuntamente, sensores, equipamentos de processamento e transmissão de dados, aeronaves e espaçonaves, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre, através do registro e análise das interações eletromagnéticas com as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diferentes manifestações.

As informações em Sensoriamento Remoto dão-se através da captação pelos sensores da energia, que pode ser oriunda de uma fonte externa aos alvos (por exemplo, o Sol), interna (como a energia térmica dos mesmos), ou ainda ser produzida por fontes artificiais, como os pulsos de microondas do próprio sensor.

O Sensoriamento Remoto também pode ser definido de maneira mais ampla, conforme Rosa (1995), como sendo a forma de se obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico ou direto com o mesmo.

Desta forma, o Sensoriamento Remoto consiste em um sistema de aquisição de informações, podendo ser dividido em dois sistemas: um de coleta de dados e outro de análise destes dados. O sistema que é

responsável pela coleta dos dados opera na detecção da radiação, que provém da superfície terrestre (alvos), e na transformação desta radiação, para sua transmissão e posterior registro das mesmas.

Para que seja possível a detecção da radiação proveniente da superfície, é necessário que haja uma fonte de radiação eletromagnética (Sol). No entanto, esta radiação necessita de um meio para se propagar até atingir a superfície terrestre, este meio é a atmosfera (Figura 7).

Ao incidir na superfície da Terra (alvos), a radiação eletromagnética, após sofrer inúmeras interações, o que não foi armazenado retorna (irradiação) pela atmosfera e até atingir o sensor, onde a energia será detectada, transformada e armazenada. Este procedimento consiste no princípio físico que opera o sensoriamento remoto.

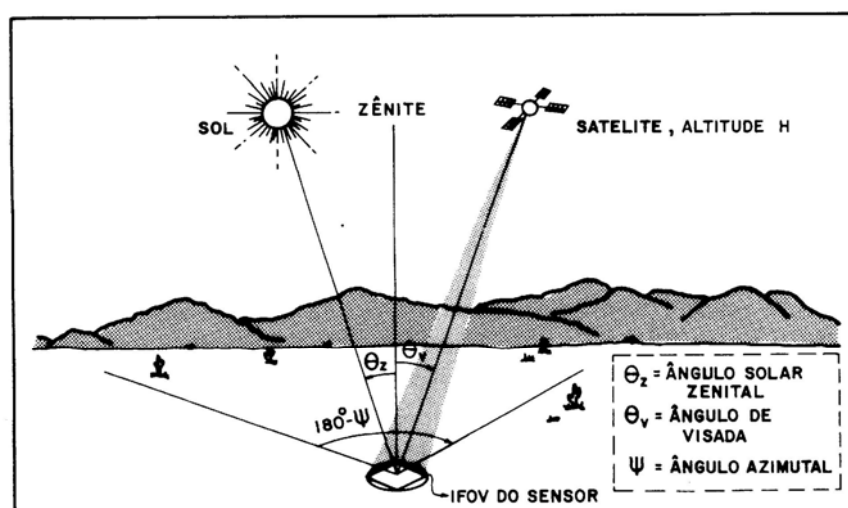


FIGURA 7: Princípio físico do Sensoriamento Remoto.

Fonte: Novo (1998, p.185).

3.7.1 – Do Sensoriamento Remoto aplicado aos estudos climáticos

A partir da década de 60, iniciou-se uma nova era para os estudos climáticos e meteorológicos, com o lançamento do satélite TIROS-1 (Television and Infra-red Observation on Satellite), primeiro satélite destinado especificamente a observações meteorológicas.

Desde seu lançamento, sucessivas gerações de outros satélites foram colocadas em órbitas, fato que permitiu um avanço espetacular nas observações, pois fornecem uma cobertura objetiva, abrangendo grandes áreas dos sistemas de tempo (Ayoade, 1991).

A possibilidade de obtenção de imagens sequenciais da mesma área do globo permite monitoramento das queimadas, desflorestamentos que afetam o balanço de energia entre superfície e atmosfera, além, da detecção de tempestades severas e do acompanhamento das movimentações das nuvens e de sistemas frontais em tempo real (Cunha, 1997).

Quanto a sua posição em relação a Terra, os satélites meteorológicos podem ser de órbita polar (Heliossíncronos) e de órbita equatorial (Geossíncronos).

Os satélites meteorológicos com órbita polar (Heliossíncronos), estão posicionados a uma altura de aproximadamente 800-900Km (Vianello & Alves, 1991). Por sua baixa resolução espacial, são capazes de determinar a posição de plataformas de coletas de dados móveis, como bóias a deriva e navios. Em virtude de sua órbita quase polar, estes satélites coletam dados sobre as condições climáticas numa escala zonal, mas, sobretudo sobre as regiões dos pólos (Vianello & Alves, 1991).

São chamados de heliossíncronos, pelo fato de manterem sua posição angular constante em relação ao Sol. Seu deslocamento angular é de 1° por dia, fazendo com que durante o ano passe pelo equador sempre na mesma hora local (Cunha, 1997).

Os satélites geoestacionários encontram-se a uma altura de 36.000Km em relação a Terra. Também são utilizados para a previsão do tempo, pois fornecem, a cada 30 minutos, imagens de uma mesma região, tanto na faixa do espectro visível (durante o dia), quanto no infravermelho (dia e noite). Fornecem informações sobre conglomerados de nuvens, distribuições verticais de temperatura e umidade, temperatura à superfície (mar e terra) e as regiões cobertas de gelo e neve, frentes fria, ciclones, furacões (Vianello & Alves, 1991).

De acordo com Cunha, (1997), existem cinco satélites meteorológicos com órbita geoestacionária e dois de órbita quase polar.

O território brasileiro recebe imagens dos satélites meteorológicos, GOES (americano) e METEOSAT (europeu), ambos geoestacionários (Vianello & Alves, 1991; Cunha, 1997).

O satélite GOES E (Geostationary Operational Environmental Satellites) está posicionado a 75°W de Greenwich e proporciona uma cobertura contínua da América do Norte, América do Sul e oceanos adjacentes. Possui uma resolução espacial de 1Km no canal visível e no infravermelho termal de 8Km (Sabins, 1999).

O METEOSAT, similar ao GOES, está posicionado na longitude de 0°, com frequência temporal a cada 30min. Adquire imagens no canal visível com resolução espacial de 2,5Km e no infravermelho termal de 5Km.

Estes satélites, segundo Bonn et Rochon (1992) *apud* Mendonça, (1994, p. 50), “(...) servem evidentemente à meteorologia, mas permitem também o acompanhamento de certos fenômenos dinâmicos da superfície, como a desertificação”.

Pelas suas baixas resoluções espaciais, estes satélites são empregados para os estudos climáticos no âmbito zonal e regional e na configuração climática de grandes centros urbanos.

3.7.2 – Do Sensoriamento Remoto aplicado aos estudos de Campo Térmico e das Ilhas de Calor Urbano

De acordo com Mendonça (1994, p. 51), “O campo térmico das cidades, enquanto subdivisão do clima urbano tem sido aquele no qual mais se tem empregado as imagens de satélites, notadamente no estudo das ilhas de calor urbano (...)”. Isto se deve ao desenvolvimento de satélites com alta resolução espacial.

As imagens provenientes do satélite NOAA/AVHRR (Nacional Oceanic and Atmosphere Administration/ Advanced Very High Resolution Radiometer), com resolução espacial de 1,1Km (no Nadir), são aplicáveis aos estudos climáticos de grandes centros urbanos e em escala regional. Já as imagens do satélite Landsat 5 e 7 (banda 6- canal termal infravermelho – resoluções espaciais de 120 e 60 metros, respectivamente) têm se tornado importante ferramenta no estudo da configuração e da variação térmica no ambiente intra-urbano de cidades de médio e pequeno porte.

O emprego de imagens do Landsat no estudo das cidades tem sido considerado, conforme Mendonça (2003, p.188), “(...) satisfatório para a identificação e análise do uso e ocupação do solo, da distribuição das construções, da biodiversidade, da morfologia, da funcionalidade, da poluição, etc”.

Na literatura internacional, é vasta a aplicabilidade destes recursos, derivados de satélites, na identificação da termografia infravermelha das cidades.

Oke & Voogt (2003) afirmam que o advento da tecnologia de Sensoriamento Remoto Termal, através de satélites e de plataformas em aeronaves, permitiu novas possibilidades de observações sobre as ilhas de calor urbano, bem como a compreensão de suas causas e combinações com os arranjos urbanos.

Sabe-se que o desenvolvimento das ilhas de calor urbano é melhor definido junto à Camada Cobertura (Urban Canopy Layer), sob o teto máximo das edificações, e suas observações tradicionais, através de transetos e redes móveis, permitem apenas uma detecção a nível pontual das condições térmicas da estrutura urbana. No entanto, com a utilização de dados de satélites, é possível uma apreensão das condições termográficas da cidade de forma homogênea, o que permite estabelecer relações entre as características térmicas dos elementos da superfície com a do ar, através de dados levantados em trabalhos de campo (Oke & Voogt, 2003).

O estudo pioneiro das ilhas de calor urbano, por meio de imagens termais, foi realizado, segundo Oke & Voogt (2003), por Rao (1972), o qual combinou os dados de satélite com medições de temperatura junto à superfície urbana.

A partir deste, com o desenvolvimento dos satélites NOAA/AVHRR e do Landsat (no infravermelho termal), muitos estudos sobre o campo térmico das cidades foram realizados.

Como pode ser visto no Quadro 3, a nível internacional, aplicação do Sensoriamento Remoto nos estudos de clima urbano, sobretudo nos do campo térmico, são numerosos e diversificados.

No caso brasileiro, apesar de ser ainda pouco explorado, existem alguns estudos de grande importância, dos quais pode ser destacado o de Lombardo (1985), que elaborou um trabalho pioneiro no Brasil, sobre o fenômeno das ilhas de calor urbano na metrópole de São Paulo. A autora utilizou para o estudo do campo térmico, imagens do satélite NOAA/AVHRR, que permitiu a identificação de maiores temperaturas dos elementos urbanos no centro da cidade, bastante generalizado, em função da resolução espacial das imagens do satélite NOAA, não permitindo um detalhamento das características térmicas do ambiente intra-urbano.

Mendonça (1994), ao estudar o clima urbano da cidade de Londrina-PR, também utilizou imagens do NOAA/AVHRR para individualização das manchas urbanas e as magnitudes de seus campos térmicos na escala regional. As imagens do Landsat foram utilizadas para um estudo mais detalhado das características da paisagem intra-urbana através do uso solo urbano e, principalmente, no emprego da termografia infravermelha (banda 6) no estudo do comportamento térmico dos materiais urbanos, os quais serviram de comparação aos dados levantados em mini-estações meteorológicas, posicionados a 1,5 metros da superfície.

Mais recentemente, a identificação das temperaturas da superfície na região metropolitana de Porto Alegre-RS, através do emprego de imagens

de satélite no canal termal infravermelho (canal 6), foi realizado por Collishon (1998).

Quadro 3: Aplicações do sensoriamento remoto em estudos de clima urbano.

Estudos	Plataforma-sensor	Aplicação
Balling e Brazel (1988)	AVHRR	Relação entre Temperatura da superf. e uso do solo urb.
Dousset (1989)	AVHRR	Conexão entre Temp do ar e da superf. em áreas urbanas
Henry (1989)	HCMM	Análise das ilhas de calor usando sensoriamento remoto
Carnahan e Larson (1990)	LandsatTM	Diferenças resfriamento e aquecimento urbano-rural
Dousset (1991)	AVHRR	Classif. Multiespectral do uso do solo urb. e temp.superf.
Johnson et. al.(1991)	Base-soloIRT	Modelos de ilhas de calor em superfícies urbanas
Eliasson (1992)	AGEMA	Correlação entre temp. da superf. e fator céu visível
Kim (1992)	Landsat TM	Modelagem do balanço de energia em áreas urbanas
Stoll e Brazel (1992)	Aircraft	Avaliação da relação temp do ar e superf. em áreas urb.
Gallo (1993a, 1993b)	AVHRR	Uso do NDVI no estudo das ilhas de calor urbano
Lee (1993)	AVHRR	Avaliação das ICU superf. e do ar nas cidades. Koreanas
Quattrochi e Ridd (1994)	TIMS	Respostas termais diurnas e noturnas das superf. urbanas
Shoshany (1994)	Termal Scanner	Extração de temp. no cume das casas na análise da ICU
Aniello (1995)	LandsatTM,	Distribuição espacial da temp. sup. urb. coberta p/o Veg.
Gallo e Tarpley (1996)	AVHRR	Uso do NDVI no estudo das ilhas de calor urbano
Lino e Hoyano (1996)	MSS	Modelagem de balanço energético usando Sens. Remoto
Lougeay et. al.	Landsat TM	Padrões de temp. associadas com o uso do solo
Nichol (1996)	Landsat TM	Padrão especial de temperatura da superfície em relação com a morfologia urbana
Lo et.al. (1997)	ATLAS	Relação entre dados termais e NDVI e cobert. dos solos
Nichol (1998)	Landsat TM	Incorporação das temp. da superf. com sensoriamento remoto e criação de repres. tri-dimensional das temp.urb.
Owen et.al. (1998)	AVHRR	Uso de dados termais e NDVI na análise das alterações das temperaturas urbanas
Voogt e Oke (1998)	AGEMA	Anisotropia termal em áreas urbanas
Carlson e Sanchez (1999)	AVHRR	Alterações dos microclimas urbanos associados com a urbanização.
Hafner e Kidder (1999)	AVHRR	Padrões SUHI e UHI associado com a inércia termal e disponibilidade de umidade
Hoyano et.al. (1999)	Base-solo, termal	Mensuração do fluxo de calor sensível dos edifícios
Parlow (1999)	Landsat TM	Modelag. Do balanço energia em áreas urb usando métodos multiespectrais
Wald e Baleynaud (2000)	Landsat TM	Avaliação da qualid. do ar usando sens.remoto termal
Quattrochi et. al. (2000)	ATLAS	Uso do sens remoto termal e SIG na avaliação das ICU
Voogt (2000)	AGEMA	Modelag. do fluxo de calor sens. e estimação da rugosidade termal da superf. usando sens. remoto termal e observações junto ao solo.
Voogt e Grimmond (2000)	AGEMA	Anisotropia termal urbana na escala local

Fonte: Oke & Voogt (2003, p. 374). Adaptação: Saydelles, A. P.

O princípio da identificação das temperaturas da superfície, utilizando a termografia infravermelha, está expresso pela lei de Plank (1901), que, em síntese, diz que quanto maior a temperatura para um dado comprimento de onda, maior será a energia emitida por um corpo negro (Novo, 1998; Lombardo, 2003).

Assim, torna-se necessário conceituar corpo negro para a compreensão do princípio da termografia infravermelha e do Sensoriamento Remoto.

O conceito de corpo negro é um modelo que serve para a compreensão do processo de radiação. Corpo negro, de acordo com Novo (1998, p.17):

(...) é um objeto que irradia energia a uma taxa máxima por unidade de área e por comprimento de onda numa dada temperatura. Assim, o corpo negro emite toda energia que nele incide. (...) o corpo negro em princípio, é um emissor perfeito, ou seja, irradia toda a energia que absorve, (...) em todas as direções. A radiação total emitida por um corpo negro é em função somente de sua temperatura.

Admite-se, para fins de Sensoriamento Remoto, que o Sol radia energia como se fosse um corpo negro a uma temperatura equivalente a 5.900°K (Novo, 1998). Juntamente com a Terra, constitui-se nas duas principais fontes de radiação utilizadas em Sensoriamento Remoto.

A radiação eletromagnética proveniente do Sol tem seu ápice de emissão na faixa do espectro entre 0,4 a 0,7 μm . (Novo, 1998; Ayoade, 1991). No entanto, a quantidade de radiação solar incidente no topo da atmosfera depende, principalmente, do período do ano, do período do dia e da latitude (Ayoade, Op.Cit.).

Estes fatores determinam a altura do Sol em relação à superfície terrestre. A altura do Sol consiste no ângulo formado entre os raios solares e uma tangente à superfície no ponto de observação. Para Ayoade (1991, p.25), “Quanto maior a altura do Sol, tanto mais concentrada será a intensidade da radiação por unidade de área e tanto menor será o albedo”.

Neste sentido é que reside a importância da altura do Sol, pois aliado às características estruturais dos objetos irá determinar a quantidade de albedo por unidade de área da superfície terrestre.

Em estudos do campo térmico das superfícies urbanas, o albedo adquire importância destacada, pois dependendo da variação dos valores do albedo mais quantidade de radiação será absorvida e mais calor será emitido pela superfície. De acordo, com Novo (1998, p.265) “a energia emitida pela superfície e (...) os níveis de cinza associam-se a variações na temperatura de brilho dos objetos”, registrada pelo satélite.

Assim, devido a elevada heterogeneidade dos materiais e elementos utilizados na expansão das malhas urbanas, expressos pelas diversas formas de uso e ocupação do solo, existem diferentes padrões de reflectividade ou de albedos, conforme pode ser visto na Figura 8 (Lombardo, 2003).

Ao analisar-se a Figura 8, observa-se que os materiais urbanos que apresentam maiores albedos correspondem aos mais claros como os concretos (reflectividade entre 0,10 a 0,35); edificações pintadas de branco, (0,50 a 0,80) e telhados de alta reflectividade (provavelmente de folhas de amianto), entre 0,60 a 0,70. Porém, apesar de absorverem menos energia já é suficiente para o aquecimento do corpo, pois a mesma não é utilizada ou eliminada em nenhuma atividade, em virtude da natureza do objeto.

As superfícies cobertas por vegetação, como árvores que possuem baixa reflectividade entre (0,15 – 0,18) e as gramas com albedo entre (0,25 – 0,30), absorvem muita radiação solar. No entanto, esta energia absorvida é empregada na fotossíntese e eliminada sob forma de evapotranspiração.



FIGURA 8: Albedos dos Materiais Urbanos

Fonte: Site da EPA (Environment Protection Agency), 2003.

A variação do albedo é muito importante, pois aliada às características internas de cada objeto (condutividade térmica e calor específico), que permite converterem a radiação incidente em calor, condiciona o diferente aquecimento das superfícies em iguais condições de recebimento de energia.

No entanto, a dificuldade de se empregar a termografia em ambientes urbanos é a sua elevada heterogeneidade, pois, conforme Collischonn (1998), a dimensão dos diferentes objetos é frequentemente bem inferior àquela apreendida pelo “pixel” da imagem no canal 6 (60m x 60m), conforme pode ser visto na Figura 9.

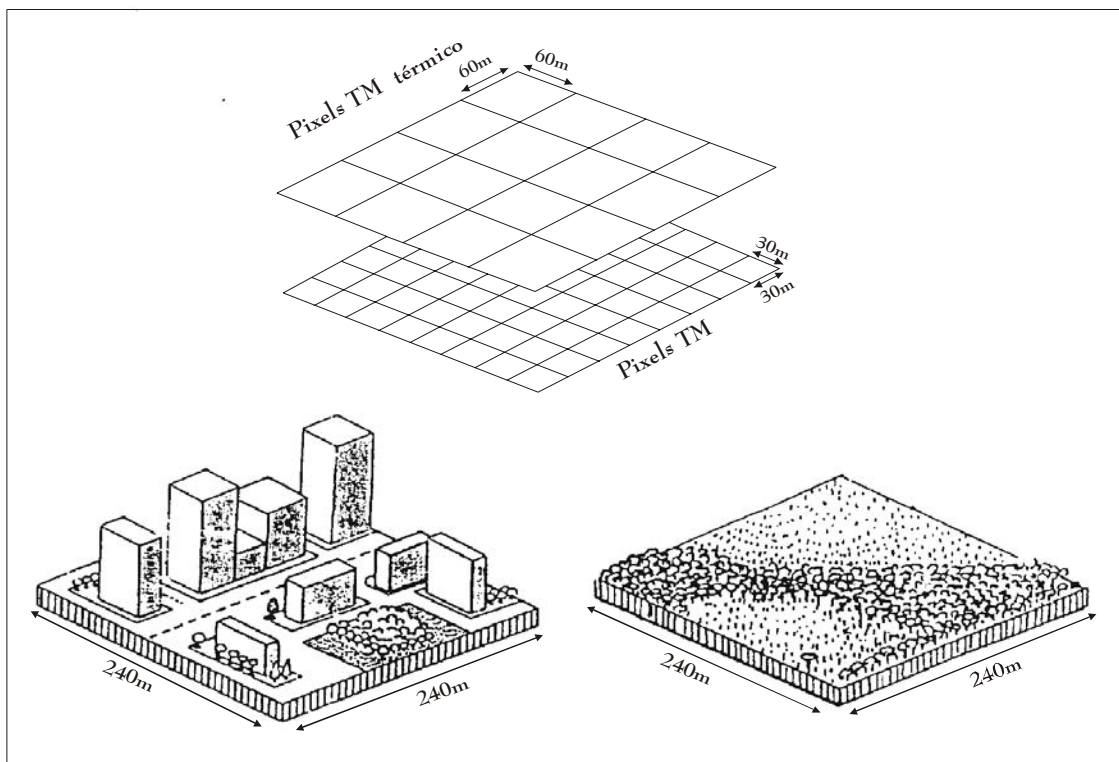


FIGURA 9: Dimensão do pixel TM e seu recobrimento em ambiente urbano e rural.

Fonte: Cantat, O. (1987, p.62). Adaptação: Saydelles, A.P.

Desta forma, de acordo com Novo (1998), 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.

Neste sentido, para Collischonn (1998, p.113-114):

A análise de um meio heterogêneo, como o urbano, estará mais relacionada à resposta térmica das 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.

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 de energia térmica refletida (Collischonn, Op. Cit.).

Desta forma, conforme Cantat (1987), o sensor térmico do satélite registra, a um instante dado, a propriedade da radiação eletromagnética emitida por diferentes objetos na superfície da terra, que por sua vez resulta diretamente da temperatura da superfície e de sua emissividade.

Assim, para se obter a temperatura de fato de uma determinada superfície a partir da termografia infravermelha requer-se a estimativa das emissividades para cada objeto imageado.

É neste aspecto que divergem a maioria das metodologias empregadas na conversão das imagens termais, pois quando se trabalha com áreas urbanas muito heterogêneas torna-se muito difícil estimar todas as emissividades dos alvos imageados, sendo que na maioria das vezes recai-se na generalização das áreas e interpretações não condizentes com a realidade da superfície em estudo.

CAPÍTULO III

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O roteiro metodológico para este trabalho foi inspirado no organograma apresentado por Mendonça (1994), para o estudo do clima da cidade de Londrina-PR. No entanto, como suporte teórico-metodológico preliminar, apoiou-se na proposta desenvolvida por Monteiro (1976), do Sistema Clima Urbano (SCU), o qual é constituído por três canais de percepção climática ou subsistemas: o Termodinâmico ou do Conforto Térmico, o Físico-Químico ou da Qualidade do Ar e o Hidrodinâmico ou do Impacto Meteorológico. O último representa o risco causado pelos impactos climáticos naturais (tempestades, furacões, fortes nevadas etc.) e, sobretudo, o impacto causado pelas chuvas torrenciais que alteram as integridades físicas das cidades, principalmente as tropicais. O Físico-Químico está relacionado com as ações antrópicas que, em co-participação com os insumos energéticos atmosféricos, alteram a qualidade do ar.

Entretanto, para este estudo o subsistema termodinâmico ou do conforto térmico constitui-se no canal norteador, pois o campo térmico e as ilhas de calor urbano (variáveis termodinâmicas), produtos do intercâmbio entre a atmosfera e a superfícies urbana, atuam diretamente na sensação de bem-estar e na qualidade de vida da população.

Desta forma, este estudo foi desenvolvido em três fases, divididas de forma seqüencial, como se verá a seguir. A elaboração de cada uma delas

forneceu os elementos necessários para o desenvolvimento das fases posteriores.

4.1- PRIMEIRA FASE

A primeira fase do roteiro metodológico deste trabalho consistiu na elaboração dos objetivos da pesquisa que se fez a partir da problematização do objeto a ser estudado.

Tal problematização partiu das seguintes indagações sobre o ambiente climático santamariense: como se comporta o campo térmico da cidade de Santa Maria-RS e seu entorno, frente aos tipos de tempos predominantes? Qual a participação dos elementos urbanos e naturais na intensidade do campo térmico e na formação de uma provável ilha de calor no ambiente urbano? Sabe-se que a formação e a intensidade do fenômeno da ilha de calor urbano se deve ao tamanho da cidade, à densidade urbana e populacional e às diversas funções desenvolvidas pelo espaço urbano, entre outras. Neste sentido, Santa Maria já comporta a existência destes fenômenos climáticos? Se sim, como se processam as trocas energéticas entre a periferia da cidade e seu entorno (alta pressão) com a área central da mesma (baixa pressão)?

Diversas inquietações sobre o ambiente climático santamariense necessitam de respostas, como forma de auxiliar no planejamento urbano na busca por melhor qualidade de vida para a população.

No entanto, neste estudo, buscou-se sintetizar o comportamento do campo térmico e das ilhas de calor do ambiente urbano e parte de seu entorno, frente às condições atmosféricas impostas por tipos de tempo

contrastantes das fases de aquecimento Pré-Frontal e de Domínio Polar, através do emprego do sensoriamento remoto termal e de levantamentos de campo na superfície urbana, no inverno.

A problematização se deu, também, a partir da vivência da realidade local e regional e de levantamentos bibliográficos relativos à área e à temática em estudo.

A área delimitada para este estudo compõe-se da malha urbana de Santa Maria e parte de seu entorno. Tal delimitação se deve ao fato de que o comportamento do campo térmico e das ilhas de calor não se constituem apenas em ajustamentos dos elementos urbanos e naturais às condições atmosféricas impostas pelos tipos de tempo predominantes, mas também estão condicionados à influência do meio natural circunvizinho. Mendonça (1994), ao estudar o clima urbano de Londrina-PR, destaca a importante participação dos fatores geográficos circundantes à cidade, entre eles os solos expostos nos períodos de entressafras, na configuração do ambiente climático citadino.

Neste sentido, por situar-se numa zona de transição geomorfológica, Santa Maria apresenta duas situações distintas quanto às unidades de paisagens predominantes, conforme será melhor destacado no Capítulo IV da Caracterização da Área.

Ao norte, estendendo no sentido E/W, a cidade é delimitada pela presença do Rebordo do Planalto da Bacia do Paraná, com altitudes que variam entre 100 e 500 metros. Esta descontinuidade geomorfológica apresenta uma topografia muito irregular com vertentes íngremes cobertas pela Floresta Subcaducifólia Subtropical. Ao sul, sobre a qual está situada a cidade, aparece outra unidade de paisagem que compõe o quadro

geográfico da região central do Estado, a denominada Depressão Periférica Sul-rio-grandense, com altitudes que variam entre 40-50 metros, junto às várzeas dos rios e arroios, e atingindo até 150 metros, no topo das coxilhas.

Em uma topografia suave em forma de coxilhas e interflúvios bem definidos e alongados, predominam os campos naturais destinados à pecuária e capões de mato, bem como há intensa ocupação das várzeas e planícies aluviais para as práticas agrícolas, sobretudo arroz.

Desta forma, a área natural circunvizinha à cidade apresenta características geográficas distintas e importantes, como na variação altimétrica, na cobertura vegetal e no uso do solo, que possivelmente influenciam no comportamento do campo térmico e na formação das ilhas de calor no ambiente urbano santamariense, através das trocas energéticas que realizam entre os níveis topo e mesoclimático, conforme será visto no Capítulo V, da Análise dos Resultados.

4.2- SEGUNDA FASE

A segunda fase deste roteiro metodológico subdivide-se em dois momentos essenciais ao estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano de Santa Maria-RS, que foram desenvolvidos de forma paralela.

Consistem na análise espacial e na análise do campo térmico propriamente dito, bem como das condições atmosféricas (tipos de tempo) nos dias específicos das imagens termais e das observações de campo.

Esta fase teve por objetivo a produção dos dados e documentos básicos para o desenvolvimento desta pesquisa. É com base nesta fase que todo o trabalho foi organizado e desenvolvido, pois foram os documentos e

dados produzidos nesta fase que permitiram a identificação das variáveis geourbanas e geocológicas, que controlam e definem o comportamento térmico da área em estudo nos níveis meso e topoclimático.

4.2.1- A análise espacial

A análise espacial da área de estudo foi um dos encaminhamentos básicos à compreensão dos elementos que participam na constituição de seu campo térmico. Através desta etapa, objetivou-se produzir uma caracterização, o mais detalhada possível, da realidade urbana de Santa Maria.

A elaboração de uma cartografia detalhada da cidade como embasamento para o estudo de seu campo térmico e das ilhas de calor é procedimento fundamental, aspecto também enfatizado por Monteiro (1976, 1990) ao assinalar a importância do embasamento cartográfico como suporte ao desenvolvimento de estudos do clima urbano.

Assim, os dados coletados de fontes cartográficas, bibliográficas e culturais referentes ao município e à cidade (fonte indireta), permitiram a caracterização do sítio, da morfologia, da estrutura, das funções urbanas e da densidade populacional.

Neste aspecto, o embasamento cartográfico compõe-se de três cartas que, complementadas com os dados provenientes do levantamento indireto, permitiram uma caracterização detalhada da realidade estudada.

Uma parte da representação cartográfica, que documentou a variação altimétrica e a morfologia do município de Santa Maria-RS e parte dos municípios vizinhos, foi à carta hipsométrica, elaborada tendo como base

as cartas topográficas de Santa Maria-RS, folha SH.22-V-C, MIR-534, do ano de 1983, e de Santiago-RS, folha SH.21-X-D, MIR-533, do ano de 1984, ambas na escala de 1:250.000, com equidistância das curvas de nível de 100 metros. Esta escala possibilitou a observação das variações altimétricas das principais unidades de relevo que compõem a realidade geográfica no qual o município de Santa Maria está inserido. A necessidade de se representar o relevo na meso-escala deve-se à influência direta do mesmo na definição do clima local. A mesma foi digitalizada utilizando-se o Software Corel Draw 11.

Conforme Mendonça (1994, p.31), os estudos destas variáveis altimétricas são considerados:

(...) fatores importantíssimos na construção do clima urbano uma vez que os elementos do clima são diretamente influenciados pela variação destes; o estudo de tal influência compõe um dos clássicos campos da climatologia.

O segundo documento da produção cartográfica refere-se ao fato urbano propriamente dito, através da representação das funções urbanas expressas na carta do uso e ocupação do solo, a qual teve como base a elaborada por Bolfe (1997), na escala 1:100.000.

A importância da caracterização do uso do solo nos estudos do clima e ilhas de calor urbano também foi retratado por Mendonça (1994, p.38), ao afirmar que “A partir da cartografia do uso do solo é possível identificar os elementos integrantes do espaço urbano responsáveis pela formação do(s) clima(s) urbano(s)”.

A terceira carta utilizada na compreensão dos elementos responsáveis pela formação dos diversos ambientes climáticos intra-urbanos foi a carta de densidade populacional da cidade, uma vez que a distribuição populacional sobre o espaço urbano está diretamente relacionada com o uso do solo, também responsáveis pelas diferentes realidades climáticas na área em estudo. Foi desenvolvida tendo como base a carta de densidade populacional de Santa Maria, elaborada por Bolfe (1997), também na escala de 1:100.000.

A caracterização das feições morfológicas e das variações altimétricas do sítio urbano foram retratadas a partir de uma compartimentação geomorfológica e de três perfis geocológicos, os quais contêm a geologia, declividade e a cobertura do solo, adaptados de Sartori (1979).

4.2.2- A análise do campo térmico e das condições atmosféricas

Neste momento da pesquisa foram elaboradas as estratégias para a análise do comportamento térmico da área de estudo, ao nível do processamento digital da imagem termal (banda 6), do desenvolvimento das observações realizadas em campo, bem como da análise das condições atmosféricas (tipos de tempos) predominantes nos dias que antecederam o imageamento via satélite e dos levantamentos de campo.

A análise do campo térmico e identificação da ilha de calor urbano da área de estudo foi desenvolvida através de duas etapas sequenciais, conforme se verá a seguir.

A primeira etapa consistiu no emprego da termografia infravermelha, que permitiu a identificação e análise do campo térmico de superfície da

cidade de Santa Maria e parte de seu entorno, nas escalas meso e topoclimática, frente às condições atmosféricas impostas pelo tipo de tempo no dia da imagem.

A segunda etapa da análise do campo térmico urbano se deu a partir da coleta de informações obtidas em levantamentos de campo sobre as variações das temperaturas do ar no ambiente intra-urbano, nos dias 04/08/2004 e 10/08/2004, sob situações sinóticas de fases Pré-Frontal e de Domínio Polar, respectivamente, com objetivo de se comparar as informações obtidas nas imagens termais com os levantamentos de campo no ambiente intra-urbano.

A análise das condições atmosféricas (tipos de tempo), como parte do estudo do campo térmico e da(s) ilha(s) de calor urbano, envolveu a busca do conhecimento da dinâmica atmosférica regional, com o objetivo de compreender as respostas locais urbanas (topo e mesoclima) frente aos tipos de tempo que habitualmente atuam na área de estudo. A partir do conhecimento da circulação atmosférica nestas duas escalas climáticas, foi possível identificar os principais elementos climáticos que entram no campo térmico e na(s) ilha(s) de calor urbano santa-mariense.

Na identificação do tipo de tempo no dia da imagem de satélite termal e dos trabalhos de campo, foram utilizados dados meteorológicos diários para se entender a circulação atmosférica regional, coletados junto à Estação Meteorológica de Santa Maria (do Instituto Nacional de Meteorologia) e de imagens do satélite meteorológico GOES E, obtidas no “site” do INPE ([http://: www. cptec.inpe.br](http://www.cptec.inpe.br)).

Os dados da Estação Meteorológica utilizados foram: temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, precipitação, ventos, insolação e nebulosidade nos horários das 12hs, 18hs e 24hs GMT.

Com os dados meteorológicos e as imagens do Satélite GOES-E, foram elaborados gráficos de “análise rítmica” indispensáveis à definição dos tipos de tempo.

4.2.2.1- O emprego de imagens de satélite na identificação do campo térmico e da(s) ilha(s) de calor urbano

A análise do campo térmico de superfície da cidade de Santa Maria e parte de seu entorno, nos níveis meso e topoclimático, deu-se pelo emprego da termografia infravermelha de superfície, através do processamento digital da imagem do satélite Landsat 7 ETM+ do canal Termal (Banda 6), que tem resolução de 60 metros, órbita/ponto 223/81 do dia 19/06/2002, no horário das 09h e 45min. às 10hs. Os resultados obtidos nesta etapa foram indispensáveis na seleção dos pontos que compuseram a rede fixa de observação das temperaturas do ar intra-urbana da etapa seguinte.

O que mais dificulta o emprego sistematizado deste importante recurso de observação, além dos altos custos de aquisição do mesmo, é a complexidade da conversão de seus valores digitais em valores de temperatura da superfície.

Assim, através de intensa busca acerca de uma metodologia mais apropriada a ser empregada no processamento digital da imagem termal, constatou-se que, atualmente, tanto na literatura nacional como

internacional, existem dois métodos que permitem a extração dos valores térmicos de imagens termais.

Um dos procedimentos está baseado em Carnahan & Larson (1990), Nichol (1994) e Collischonn (1998). Neste procedimento, na conversão dos valores de radiância das imagens termais em valores térmicos devem ser feitas correções conforme a emissividade de cada objeto da superfície terrestre imageada; o cálculo sugerido pelos autores está expresso na Equação 4:

$$T_s = T_b / [1 + (\lambda T_b / \alpha) \ln \varepsilon]$$

Equação 4

Onde:

- a)- T_s = Temperatura da superfície
- b)- T_b = temperatura que emitiria a superfície se fosse um corpo negro perfeito;
- c)- λ = comprimento de onda médio da radiância emitida pela banda 6 (11.5 μ m);
- d)- $\alpha = hc/K$ (1.438x 10⁻² mK), onde:
 - d.1)- K = Constante de Stefan-Boltzmann (1.38x10⁻²³ J/K);
 - d.2)- h = Constante de Planck (6.28x10⁻³⁴ J seg), e
 - d.3)- c = velocidade da luz (2.998x10⁸ m/seg);
- e)- $\ln \varepsilon$ = logaritmo natural da emissividade da superfície.

No entanto, quando se trabalha com áreas muito complexas e heterogêneas como os ambientes urbanos, os problemas de se empregar esta técnica são enormes e na maioria das vezes inviabilizam sua utilização, pois na converção dos valores de emissividade em temperatura real para

cada objeto imageado, torna-se indispensável um mapeamento do uso do solo urbano extremamente detalhado.

Assim, em cidades de pequeno e até mesmo de médio porte, cujas áreas urbanas não são muito extensas, como no caso de Santa Maria-RS, as imagens do satélite Landsat 7 ETM+, que possuem resolução espacial de 30 metros (com exceção da banda 8, de 15 metros), são muito limitadas para um detalhado mapeamento de uso do solo urbano - por razões já mencionadas no Capítulo II da Revisão da Literatura – e não permitem a identificação de algumas variáveis intra-urbanas indispensáveis na configuração e comportamento do campo térmico de superfície, como por exemplo: áreas verdes (bosques, quintais, ruas); cores das edificações (que influenciam no albedo da radiação solar); ruas e avenidas pavimentadas com asfaltos (que absorvem grande parte da radiação solar incidente); concretos (que possuem maior albedo); ruas com paralelepípedos (que permitem o desenvolvimento de gramíneas auxiliando no processo de atenuação do calor) e também ruas ou estradas sem pavimentação; sombreamento imposto pelas edificações no horário do imageamento (entre 9hs e 10hs) que em qualquer estação do ano influencia sensivelmente no comportamento das temperaturas da superfície e do ar; variações altimétricas do sítio urbano, e outros fatores.

Em virtude destas dificuldades que permeiam a utilização desta técnica, e também por não se possuir outras bandas além da termal (banda 6), optou-se, então, pela utilização de uma metodologia baseada em Bariou, Lecamus & Le Henaff (1993)³ e Mendonça (1994), a qual consiste na conversão dos valores de radiância da imagem termal em temperatura relativa da superfície, usando-se basicamente a Lei de Planck.

³ Dossiers de télédétection (nº8), Centre Régional de Télédétection da Université de Rennes 2 – France.

Esta técnica permite uma observação do comportamento térmico de todas as variáveis geocológicas e geourbanas que compõem o ambiente urbano frente à imposição dos sistemas atmosféricos de atuação regional, de forma não generalizada e homogênea.

Assim, o primeiro passo no processo de transformação dos valores de radiância da imagem termal em temperatura relativa, foi submetê-la (banda 6) ao módulo *thermal* do programa computacional IDRISI 32. Este módulo, de acordo com Lombardo *et.al* .(2003), baseia-se nas funções de calibração dos detetores do sensor termal do satélite e converte os níveis de cinza da imagem em valores de temperatura, em graus centígrados. Obteve-se, então, como produto, uma imagem contendo 15 faixas de temperaturas, sendo: 3,59°C – 5,03°C – 6,47°C – 7,92°C – 9,36°C – 10,81°C – 12,25°C – 13,69°C – 15,14°C – 16,58°C – 18,02°C – 19,47°C – 20,91°C – 22,36°C – 23,80°C, esta imagem foi denominada de *temp1*.

No passo seguinte, através do módulo *reclass* do programa IDRISI 32, fez-se uma reclassificação dessas 15 faixas de temperaturas obtidas na imagem anterior, obtendo-se, assim, a imagem denominada *temp 2*, com as seguintes faixas térmicas: 3° – 4°C; 4° – 5°C; 5° – 6°C; 6° – 7°C; 7° – 8°C; 8° – 9°C; 9° – 10°C; 10° – 11°C; 11° – 12°C; 12° - 13°C; 13° – 14°C; 14° – 15°C; 15° – 16°C; 16° – 17°C; 17° – 18°C; 18° – 19°C; 19° – 20°C; 20° – 21°C; 21° – 22°C; 22° – 23°C; 23°- 24°C.

No entanto, como as faixas térmicas inferiores a 8° - 10°C e superiores a 23°C não apresentaram quantificações relevantes para a análise, as mesmas foram descartadas.

Assim, para a análise do campo térmico ao nível topoclimático, fez-se uma reclassificação da imagem *temp 2*, obtendo-se a imagem denominada

de *temptopo* com as seguintes distribuições térmicas: 8° – 10°C; 10° – 11°C; 11° – 12°C; 12° – 13°C; 13° – 14°C; 14° – 15°C; 15° – 16°C; 16° – 17°C; 17° – 18°C; 18° – 19°C; 19° – 20°C; 20° – 21°C; 21° – 22°C; 22° – 23°C.

Para a análise do campo térmico no nível mesoclimático, a imagem *temp 2* foi novamente reclassificada, desta vez obedecendo uma variação térmica de 3 em 3°C, obtendo-se a imagem *tempmeso*, com 5 faixas: 8° – 11°C; 11° – 14°C; 14° – 17°C; 17° – 20°C; 20° – 23°C.

Na representação das faixas térmicas obtidas na imagem termal foram utilizadas cores, levando-se em conta o espectro-eletromagnético para a luz visível. Assim, as temperaturas mais baixas foram representadas pelas cores frias (ondas curtas): violeta, azul e verde, e as temperaturas mais elevadas, as cores quentes (ondas longas): amarelo, laranja, vermelho e marrom.

4.2.2.2- Os levantamentos de campo das temperaturas do ar

Conforme os objetivos propostos para este estudo, o período escolhido para a análise do campo térmico, tanto da superfície como do ar, foi o de inverno, pois é justamente nessa época que melhor se destacam e se individualizam as seqüências mais habituais dos tipos de tempo para a região em que se localiza a área de estudo.

Conforme Sartori (1979; 1993; 2000), o Rio Grande do Sul caracteriza-se constante confronto entre os sistemas atmosféricos de origens extratropicais e intertropicais, bem como por mecanismos

instabilizadores do tempo, que no inverno são mais acentuados pela intensificação dos sistemas atmosféricos de origem polar, bem como pela maior diferenciação térmica entre as altas e baixas latitudes. Assim, no período em que foi realizada a análise (inverno), tem-se sobre a região seqüências de tipos de tempo bem definidos e individualizados, conforme discutido no Capítulo IV da Caracterização da Área de estudo.

Assim, para a análise das oscilações das temperaturas do ar no ambiente urbano santamariense frente às condições atmosféricas regionais, foram realizados levantamentos de campo junto à malha urbana, através de uma rede fixa de observação.

A rede fixa de observação consistiu na distribuição pela malha urbana, de 20 mini-abrigos meteorológicos, cada um deles com um termômetro de álcool para a medição da temperatura do ar, os quais foram calibrados na Estação Meteorológica de Santa Maria (no campus da UFSM). No entanto, devido ao forte “Vento Norte” no primeiro dia de coleta dos valores de temperaturas, um dos mini-abrigos foi destruído, passando-se a contar com apenas 19 pontos fixos de observação.

Os mini-abrigos meteorológicos foram construídos tendo como base a metodologia proposta por Seferino & Monteiro (1990), em folhas duplas de madeira compensada (espessura de 10mm), com furos desencontrados para isolar termicamente e ventilar o termômetro no seu interior, suspensos do chão por haste de 1,5 metro de altura, sobre base em forma de cruz, de acordo com os quatro pontos cardeais (N, E, S e W) para facilitar seu posicionamento. Os mesmos foram pintados na cor branca, que proporciona maior reflexão dos raios solares incidentes, atenuando a absorção de calor, conforme pode ser visto na Figura 10.



FIGURA 10: Fotografia do mini-abrigo meteorológico

Fonte: Saydelles, A.P.

Os mini-abrigos foram posicionados sempre com a abertura frontal voltada para sul, para proteger o termômetro contra a radiação solar direta.

Na escolha dos pontos para as mensurações das temperaturas do ar considerou-se, sobretudo, os diversos bairros da cidade, o uso do solo urbano, a densidade populacional, presença de áreas verdes, as unidades morfológicas do sítio urbano, o comportamento térmico da superfície obtido na imagem termal e, principalmente, a disponibilidade de recursos

humanos que auxiliassem nas coletas das temperaturas nos devidos horários e dias estabelecidos.

Os pontos que compõem a rede fixa de observação, onde foram instalados os mini-abrigos meteorológicos estão espacializados na Figura 11 e são os seguintes:

1 - Bairro Centro – Área caracterizada por apresentar a maior densidade populacional da cidade entre 7.413 a 9.555 Hab/Km² (Bolfe, 1997). A presença de cobertura vegetal é muito esparsa, com inúmeros edifícios acima de 4 pavimentos em seu entorno. Quanto ao uso do solo, destaca-se pela grande concentração comercial e prestação de serviços, além do uso residencial (Bolfe, 1997). O fluxo de veículos e pessoas é muito intenso, o que favorece a liberação de calor antropogênico, todas as ruas e avenidas possuem pavimentação asfáltica. O mini-abrigo foi instalado em frente da Brasil Telecom (antiga CRT) numa altitude de 150 metros, área mais elevada do sítio urbano original.

2 - Bairro Centro – Área intensamente urbanizada, porém com presença de edificações mais baixas, não ultrapassando 4 pavimentos, situada na vertente leste do “festão colinoso mais elevado” (Sartori, 1979). A presença de vegetação é maior que no Ponto 1, concentrando-se, sobretudo, nos pátios e quintais das casas. Quanto ao uso do solo, destina-se essencialmente ao uso residencial e em menor intensidade à prestação de serviços. Todas as ruas possuem pavimentação asfáltica, com grande fluxo de veículos. O mini-abrigo foi instalado no jardim de uma residência na rua Tuiuti, quase esquina com a rua Riachuelo, a 132 metros de altitude.

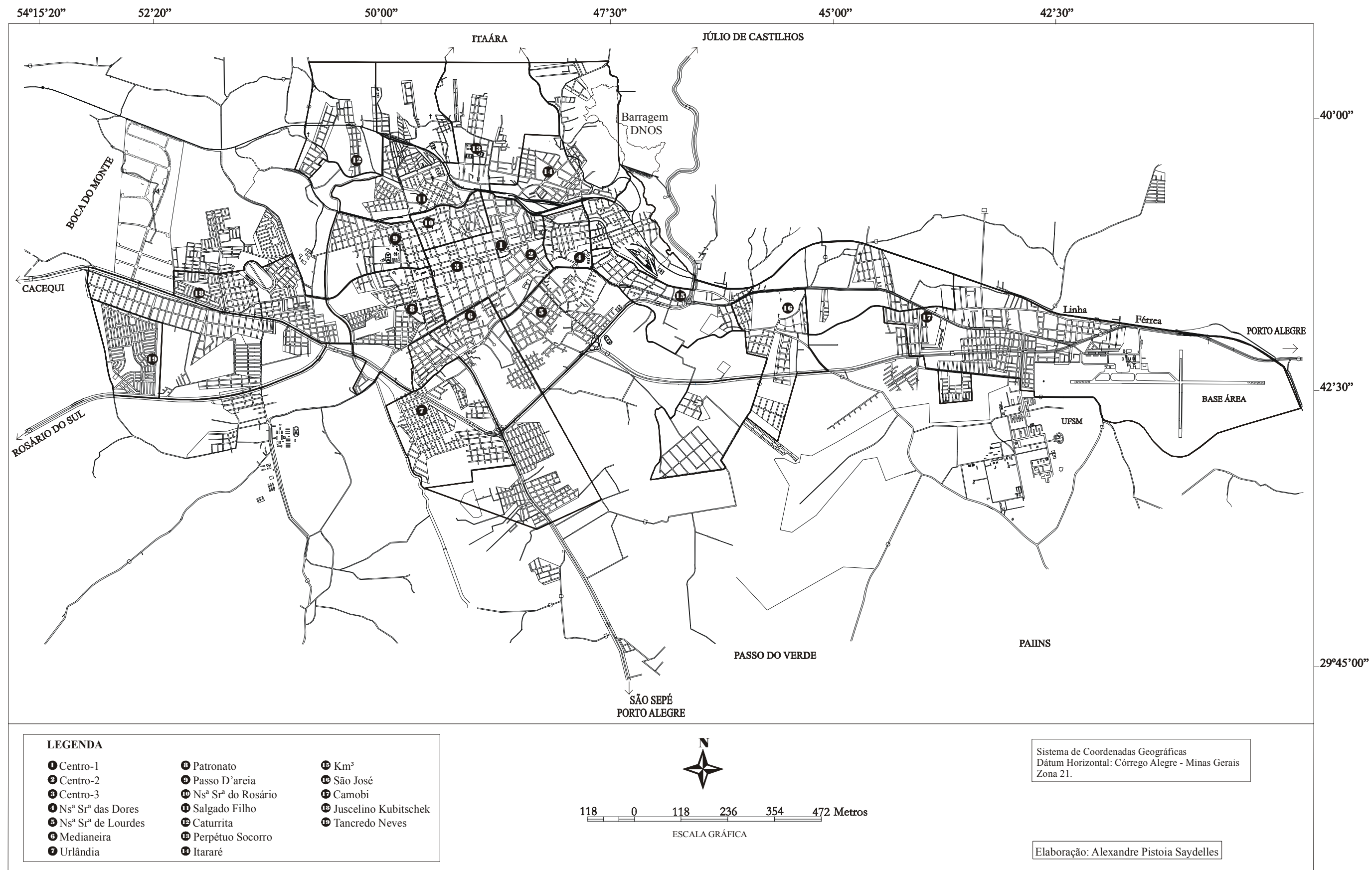


FIGURA 11: Localização dos Pontos na Rede Fixa de Observação na Malha Urbana de Santa Maria-RS

3 - Bairro Centro – Área densamente construída, com grande presença de edifícios que não ultrapassam 4 andares, situada na vertente oeste do “festão colinoso mais elevado”, onde predomina o uso residencial com fraca concentração comercial, porém apresenta intenso fluxo de veículos. Apesar da existência de praça bem arborizada ao lado do Grupamento do Corpo de Bombeiros, onde foi instalado o mini-abrigo, apresenta baixa presença de vegetação. O mini-abrigo foi instalado a 142 metros de altitude.

4 - Bairro Nossa Senhora das Dores – Área bem urbanizada, destinado ao uso residencial, com elevada densidade populacional entre 4.770 a 6.412 Hab/km² (Bolfe, 1997), onde predominam as edificações mais baixas, com exceção da Av. das Dores, onde destacam-se as edificações mais elevadas e grande concentração comercial com intenso fluxo de veículos. A presença de vegetação é bem significativa nas ruas e principalmente nos pátios e quintais das casas. Caracteriza-se por ser um bairro de classe média. O mini-abrigo foi instalado no pátio da Escola Estadual Coronel Pilar, a 136 metros de altitude.

5- Bairro Nossa Senhora de Lourdes - Área bastante urbanizada, disposta na vertente sul do “festão colinoso mais elevado”(Sartori, Op. Cit.). Com densidade populacional variando entre 4.770 a 6.412 Hab/Km² (Bolfe, 1997), destina-se exclusivamente ao uso residencial com concentração comercial apenas nas principais vias de circulação (Av. Medianeira e Fernando Ferrari). Caracteriza-se por ser um bairro de classe média-alta com predomínio de casas de padrão elevado e significativa presença de vegetação nas ruas e principalmente nos pátios e quintais das residências. O mini-abrigo foi instalado no jardim de uma residência na rua Rigoberto Duarte, a 106 metros de altitude.

6 - Bairro Medianeira – Bem urbanizado apenas na sua parte norte (entre a Av. Medianeira e o limite norte do bairro), onde predominam as edificações mais baixas (casas) com grande presença de vegetação do tipo arbórea, nas ruas e pátios. Destina-se essencialmente ao uso residencial, com elevada concentração comercial e prestação de serviços apenas ao longo da Av. Medianeira (Bolfe, 1997). Em sua parte sul (entre a Av. Medianeira e seu limite sul) predominam as áreas não urbanizadas, com grande presença de vegetação do tipo arbórea e gramíneas. Apresenta densidade populacional entre 4.770 a 6.412 Hab/Km² (Bolfe, 1997). O mini-abrigo foi instalado no pátio de uma residência na rua Daltro Filho, a 97 metros de altitude.

7 - Bairro Urlândia – Área mais ao sul da cidade em que foi instalado o mini-abrigo, caracteriza-se por ser de classe média-baixa, com uso do solo essencialmente residencial (Bolfe, 1997), onde predominam as casas com elevada presença de vegetação e áreas não urbanizadas. Possui uma densidade populacional de 3.180 a 4.769 Hab/Km² (Bolfe, Op. Cit.). O mini-abrigo foi instalado numa residência na rua São Carlos, a 79 metros de altitude.

8 - Bairro Patronato – Área bem urbanizada, com uso do solo essencialmente residencial, com elevada presença de vegetação do tipo arbórea e gramíneas nas ruas e pátios das casas. Apresenta densidade populacional de 3.180 a 4.769 Hab/Km² (Bolfe, 1997), com predomínio de edificações com apenas 1 pavimento (casas). O mini-abrigo foi instalado no Cemitério Público Municipal, a 107 metros de altitude.

9 - Bairro Passo D'areia – Destinado exclusivamente ao uso residencial, com predomínio de casas, em que a densidade populacional

varia em torno de 3.180 a 4.769 Hab/Km² (Bolfe, 1997). Apesar de ser bem construído, ainda apresenta locais não urbanizados, com elevada presença de vegetação do tipo arbórea e gramíneas nas ruas e nos pátios das residências. O mini-abrigo meteorológico foi instalado no pátio de uma residência na rua Tenente Carrion (próximo ao HGuSM), a 106 metros de altitude.

10 - Bairro Nossa Senhora do Rosário – Densamente urbanizado, com significativa presença de ruas com pavimentação asfáltica, apresenta densidade populacional elevada entre 7.413 a 9.555 Hab/Km² (Bolfe, 1997). O uso do solo é essencialmente residencial, porém com grande fluxo de veículos e pessoas, sobretudo nas ruas principais. Possui elevada concentração de edificações acima de 4 pavimentos. No entanto, a quantidade de vegetação arbórea é elevada. O mini-abrigo foi instalado no pátio da garagem dos Correios, a 115 metros de altitude, local com fraca presença de vegetação e fluxo de veículos.

11 - Bairro Salgado Filho – Bem urbanizado, apresenta elevada densidade populacional entre 4.770 a 6.412 Hab/Km², e uso do solo essencialmente residencial (Bolfe, 1997). Caracteriza-se por ser um bairro de classe baixa, com predomínio de casas e grande presença de vegetação do tipo arbórea e gramíneas nas ruas e pátios das casas. O mini-abrigo foi instalado no pátio de uma residência na rua Rafael Real, numa altitude de 79 metros.

12 - Bairro Caturrita – Com pequena urbanização, apresenta densidade populacional muito baixa entre 225 a 1.589 Hab/Km² (Bolfe, 1997). Também considerado de classe baixa, destina-se exclusivamente ao uso residencial, onde predominam as casas. Situa-se no norte da cidade em

contato direto com o Rebordo do Planalto, o que favorece a elevada concentração de vegetação do tipo arbórea. O mini-abrigo foi instalado no pátio de uma residência na rua Erwin Rabenschlag, a 125 metros de altitude.

13 - Bairro Perpétuo Socorro – Também fracamente urbanizado, porém com densidade populacional mais elevada em relação ao Ponto 12, em torno de 1.590 a 3.179 Hab/Km², destina-se ao uso essencialmente residencial (Bolfe, 1997), com elevada presença de vegetação do tipo arbórea devido ao contato direto com o Rebordo do Planalto ao norte. O fluxo de pessoas e veículos é baixo. O mini-abrigo foi instalado no interior do regimento da 6^a BIA, a 111 metros de altitude.

14 - Bairro Itararé – Bem urbanizado, sobretudo em sua parte sul. Ao norte limita-se com o rebordo do Planalto e a NE com a Barragem do DNOS. Apresenta densidade populacional entre 3.180 a 4.769 Hab/Km² e está destinado exclusivamente ao uso residencial (Bolfe, 1997). Possui elevada presença de vegetação do tipo arbórea e fraco fluxo de veículos e pessoas. O mini-abrigo meteorológico foi instalado a 137 metros de altitude, numa residência na rua Visconde de Agne.

15 - Bairro Km3 – Área com baixa urbanização (mais significativa em sua parte oeste), ao sul predominam as áreas não urbanizadas. Apresenta uma densidade demográfica entre 1.590 a 3.179 Hab/Km², e destina-se preferencialmente ao uso residencial, mas com concentração comercial e prestação de serviços ao longo da Av. Dores e RS- 509 (Bolfe, 1997). Possui elevada presença de vegetação do tipo arbórea. O mini-abrigo foi instalado em frente ao posto da Polícia Rodoviária Estadual (Trevo do Castelinho), local de intenso fluxo de veículos, a 111 metros de altitude.

16 - Bairro São José - Fracamente urbanizado, com baixa densidade populacional entre 225 a 1.589 Hab/Km², destina-se essencialmente ao uso residencial (Bolfe, 1997), onde predominam as casas com uso misto (concentração comercial e prestação de serviços) e elevado fluxo de veículos apenas ao longo da RS - 509. Apresenta grande concentração de vegetação do tipo arbórea e gramíneas. O mini-abrigo foi instalado no Cemitério Santa Rita de Cássia, local com elevada presença de vegetação, a 102 metros de altitude.

17 - Bairro Camobi – Bem urbanizado, porém com baixa densidade populacional entre 1.590 a 3.179 Hab/Km², destinado preferencialmente ao uso residencial com predomínio de casas, com concentração comercial e prestação de serviços apenas ao longo da RS- 509 (Bolfe, 1997). Limita-se ao norte com o rio Vacacai – Mirim, a leste com a Base-Aérea de Santa Maria e ao sul com o Campus da Universidade Federal de Santa Maria. Desta forma, apresenta elevada concentração de vegetação arbórea e de gramíneas, além de áreas ainda não urbanizadas. Possui elevado fluxo de veículos ao longo da RS-509. O mini-abrigo foi instalado no estacionamento do Posto BR na RS-509, a uma altitude de 79 metros.

18 - Bairro Juscelino Kubitschek – O mini-abrigo foi instalado na Cohab Santa Marta, área bastante urbanizada, com elevada densidade populacional, entre 4.770 a 6.412 Hab/Km², destinado exclusivamente ao uso residencial (Bolfe, 1997), com grande presença de vegetação, onde predominam as casas. O fluxo de veículos e pessoas é muito baixo. O mini-abrigo foi instalado a uma altitude de 111 metros.

19 - Bairro Cohab Tancredo Neves – Área intensamente urbanizada, com uma densidade populacional muito alta em torno de 4.770 a 6.412

Hav/Km², destinado essencialmente ao uso residencial (Bolfe, 1997), com predomínio de casas pintadas em cor branca e telhados com folhas de amianto e ruas, em sua maioria, com pavimentação asfáltica. A presença de vegetação é muito baixa. O mini-abrigo foi instalado a uma altitude de 106 metros, no pátio de uma residência na rua Dário Prates.

Observa-se na Figura 11, que no bairro Centro foram instalados três mini-abrigos meteorológicos, justamente por ser o CBD (Central Business District) da cidade com as maiores densidades urbanas e populacionais, necessitando de um melhor detalhamento das informações.

Os dias em que ocorreram os levantamentos de campo, pré-estabelecidos conforme as condições sinóticas (tipos de tempos) almejadas para o estudo foram: 04/08/2004, sob o domínio da fase Pré-Frontal com forte atuação do “Vento Norte”, e no dia 10/08/2004, sob atuação e domínio das condições atmosféricas de uma Massa Polar Atlântica (M.P.A.).

Os horários em que ocorreram as coletas das temperaturas do ar na rede fixa de observação foram às 09h, 12h, 15h, 18h e 21h.

Para a obtenção da localização geográfica e altitude dos pontos onde foram instalados os mini-abrigos meteorológicos contendo os termômetros, utilizou-se o GPS (Sistema de Posicionamento Global), de marca Garmin-Etrex, do Departamento de Geociências/UFSM.

De posse dos dados sobre as temperaturas do ar (Anexos I e II), obtidos nos experimentos de campo, foram elaborados mapas isotérmicos, utilizando-se o programa computacional Surfer 6, a partir do método da “krigagem” (Kriging). Na espacialização do comportamento das temperaturas do ar foram utilizadas cores, considerando o espectro-eletromagnético para a luz visível e também conforme a disponibilidade no

programa Corel Draw11, onde os mesmos foram editados posteriormente. Buscou-se estabelecer uma idéia de continuidade ou evolução das temperaturas no decorrer do dia e entre os dois períodos analisados. No entanto, por motivos técnicos em alguns momentos isto nem sempre foi possível, em função da quantidade de classes a serem representadas.

4.3- TERCEIRA FASE

A terceira fase do roteiro metodológico proposto para o estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano em Santa Maria-RS constituiu-se no momento em que se buscou a integração geográfica, ao se sintetizar as características do fato urbano com as climáticas nas escalas regional e local (mesoclima e topoclima).

CAPITULO IV

5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

5.1- Aspectos históricos e funcionais

A cidade de Santa Maria (RS) está localizada no centro do Estado do Rio grande do Sul, numa área de transição morfológica denominada de Depressão Periférica Sul-rio-grandense, com altitudes médias de 100 metros.

Santa Maria foi, em seus primeiros dias, área de disputa entre as duas monarquias ibéricas: Portugal e Espanha (Belém, 1989).

Com seu território ocupado desde os primórdios do século XVII até meados do Século XVIII, por índios e jesuítas em missões itinerantes, a história de Santa Maria tem início à época do Brasil colonial. O continente de São Pedro era, por este tempo, uma área em permanente litígio, face às disputas que, envolvendo as coroas lusa e espanhola, tinham por objeto a posse das terras situadas nesta posição mais meridional da América (Zillmer, 1991).

O constante estado de beligerância a que estavam submetidas estas terras meridionais começou a esboçar a viabilidade de um quadro mais diplomático, a partir do momento em que se firmaram as negociações e a posterior assinatura do Tratado de Santo Ildefonso, no ano de 1777 (Zillmer, 1991).