

ÁREA VERDE COMO OÁSIS TÉRMICO NA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE/RS

A urban forest as thermal oasis in the Metropolitan Area of Porto Alegre/RS

Zona verde pública como oasis térmico en el Área Metropolitana de Porto Alegre/RS

Erika Collischonn¹
Universidade Federal de Pelotas

Resumo

Nos anos 1950, o naturalista Balduino Rambo defendeu que o horto florestal existente próximo a Porto Alegre/RS, ao invés da venda cogitada pelo poder público estadual, fosse mantido como área verde pública, antevendo o futuro daquela aglomeração urbana. Neste trabalho avaliamos o efeito desse horto florestal atualmente, ao compararmos resultados de cartografia térmica de superfície obtida por processamento de imagem do satélite Landsat TM5, com fotografias aéreas da mesma área, bem como com dados padrão de estações meteorológicas. Constatamos que, num dia de verão, as temperaturas de superfície no horto florestal eram 8°C menos quentes do que a de áreas urbano industriais da volta. Assim, as profecias do naturalista já são realidade, pois além de ser interrupção na paisagem urbano-industrial, o horto-florestal constitui uma ilha de frescor na conurbação da Região Metropolitana de Porto Alegre-RS.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; temperatura; cobertura de solo.

Abstract

In the 1950s, the naturalist Balduino Rambo, anticipating the future of conurbation along the main roads and rail near Porto Alegre/RS, argued that a state tree farm ("horto florestal") existing in the area was maintained as public green area. In this work we assessed the effect on the same tree farm today, when comparing results of surface temperature mapping obtained by image processing from the Landsat TM5 satellite, with aerial photographs of the same area and with data from weather stations. We found that, on a summer day, surface temperatures into the "horto-florestal" were 8° C cooler than the surrounding urban industrial areas. Thus, Rambo's prophecies are already a reality, because besides from being a disruption in the urban-industrial landscape, the "horto-florestal" is an island of freshness in the conurbation of the metropolitan area of Porto Alegre-RS.

Keywords: remotesensing; temperature; landcover.

Resumen

En la década de 1950, el naturalista Balduino Rambo, anticipando el futuro de la aglomeración urbana a lo largo de las principales carreteras y de ferrocarril cerca de Porto Alegre/RS, argumentó que una floresta del Estado ("Horto Florestal") existentes en la zona se mantuvo como área verde pública. En este trabajo se estudió el efecto del huerto hoy en día, al comparar los resultados de la cartografía térmica de superficie obtenida por procesamiento de imágenes Landsat TM5, con fotografías aéreas de la misma área, así como con datos de estaciones meteorológicas. Hemos encontrado que, en un día de verano, las temperaturas superficiales en el "huerto-florestal" fueron 8° C más fría que las áreas urbanas que lo rodean. Por lo tanto, las profecías del naturalista ya son una realidad, porque además de ser una interrupción en el paisaje urbano-industrial, esta área verde urbana constituye una isla fría, a partir de la cual se originan seguramente "brisas de parque", o flujos de aire limpio y fresco para las áreas urbanas del entorno.

Palabras clave: teledetección; temperatura; cobertura del suelo.

INTRODUÇÃO

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

espaço, em regime de trocas energéticas recíprocas e interdependentes.

As indicações gerais do clima da Região Metropolitana de Porto Alegre e os levantamentos de dados em alguns pontos representam somente uma parcela dos elementos necessários à compreensão do clima local, principalmente quando se leva em consideração que parte deste espaço é densamente ocupado por habitações, rodovias, depósitos e indústrias, o que acarreta modificações sensíveis no clima. As estações meteorológicas, apesar de

relativamente densas na área, são pontuais e não cobrem suficientemente o espaço para permitirem analisar, de forma detalhada, as consequências climáticas do desenvolvimento da aglomeração. Além disso, estas estações são instaladas em local elevado, exposto aos ventos mais frequentes, com horizontes livres, afastadas de casas, prédios e árvores que possam interferir nos resultados das medições, de forma que os registros resultantes são representativos de uma área maior e não das características locais. Portanto para um estudo intra-urbano há que se agregar outras técnicas.

A exploração temática dos dados de satélite nos estudos climáticos permite a elaboração de documentos que retratem, com maior resolução, a distribuição espacial de alguns dos elementos e fatores do clima, o que possibilita uma observação mais detalhada da sua variação. Desta forma os documentos elaborados a partir do sensoriamento remoto se aproximam mais da representação da realidade que as clássicas representações pontuais ou por isolinhas, ainda que persistam certas dificuldades quanto às estimativas de valores reais (LOMBARDO, 1985; NICHOL, 1994; MENDONÇA, 1995).

No estudo do campo térmico de áreas metropolitanas podem ser utilizadas imagens de satélite de diferentes resoluções espaciais, dependendo do objetivo do estudo. Através das imagens NOAA-AVHRR (Canais 4 e 5, infravermelho térmico - resolução espacial de 1,1 km; resolução termal 0,12°C) pode-se estudar a configuração térmica de áreas urbanas metropolitanas compactas ou descontínuas. As imagens Landsat encontraram uma aplicação no domínio da climatologia local através da utilização do

canal infravermelho térmico do sensor *Thematic Mapper*, que tem resolução espacial no solo próxima ao hectare (120m x 120m) no Landsat 5 e duas vezes maior no Landsat 7 (60m x 60m). Estas imagens possibilitam a observação da variação térmica de superfície intra-urbana tanto de grandes cidades com o de cidades de menor porte (Nichol, 1994 ;Mendonça, 1995), bem como da variação térmica de superfície na área rural. Como o clima das camadas de ar junto ao solo está intimamente relacionado à superfície ativa, o sensor TM6 torna-se uma ferramenta importante no domínio da climatologia local, estando ainda sub-utilizado na avaliação de políticas ambientais no planejamento urbano.

A utilização do canal nº6 do TM segundo os estudos de Lombardo (1985), Cantat (1987), Nichol (1994) Mendonça (1995) e Collischonn (1998), podem contribuir para o entendimento do papel das propriedades físicas dos materiais superficiais e do seu arranjo na definição do campo térmico, bem como indicar áreas potenciais de interação energética com a camada de ar junto à superfície. Assim, apesar da banda 6 não permitir uma identificação térmica, elemento por elemento, ela se aplica bem aos objetivos de estudos de clima local, pois, segundo Cantat (1987, p. 64), a superfície somente exerce influência notável sobre o ar sobrejacente, quando variações locais de temperatura de superfície são suficientemente pronunciadas e cobrem um espaço relativamente grande.

No quadro da Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), marcada por um uso do solo bastante alterado pela urbanização, daremos destaque a área verde centralizada no Horto Florestal Estadual, circundada pelas

as áreas urbanas de Sapucaia do Sul e São Leopoldo que lhe são lindeiras. Em meados do século XX, o naturalista Balduino Rambo, baseando-se em sua percepção própria, entrou em defesa da manutenção deste horto florestal como área verde, visando a qualidade ambiental da metrópole que iniciava seu desenvolvimento¹. São suas as seguintes palavras:

Cada observador de mediana visão percebe que o eixo Porto Alegre - São Leopoldo - Novo Hamburgo - Campo Bom - Taquara é, por sua posição física e seus precedentes históricos, destinado a uma única grande área industrial, comercial e humana; vivo há 38 anos neste ambiente e sei interpretar as tendências conjugadas do homem e do espaço. A massa humana que ainda está hoje abaixo do primeiro milhão, num futuro remoto montará a vários milhões. Onde estes milhões acumulados a sombra das chaminés, entre o estridor das máquinas, à luz artificial dos escritórios, ao longo da onda viva dos carros e caminhões, no calor abafado das lojas buscará seu desafio e recreio? [...] Não se trata dos que tem carro próprio, moradia de verão na Serra ou dinheiro para passar as férias na praia, trata-se de uma grande multidão de famílias em condições modestas, de operários que não tem meios de fugir do torvelhinho dos centros industriais.

Não bastam para tal, as pracinhas liliputianas com alguns canteiros de flores à sombra de algum monumento, é preciso haver um parque largo e profundo, que faça esquecer por algumas horas o barulho estupefacente da cidade, e restitua o homem a si próprio. [...]

Pode objetar-se que o Mato de Eucaliptos não é uma formação nativa; que as cercas de duas dúzias de espécies de árvores são todas quantas estrangeiras, australianas de origem; e que o eucalipto em geral não tem valor ornamental. Não sei se entre meus

leitores haja quem mais preza a selvagem beleza da selva nativa, e quem mais reconheça a inferioridade paisagística do eucalipto (do que eu); digo porém: Melhor eucalipto do que nada. [...] Além disso, não se trata de eucalipto, trata-se de uma área de mais de 800 hectares, que com o eucalipto que abriga, já é agora uma agradável interrupção da paisagem industrial; e que, com ou sem eucalipto está confiada às mãos do estado para o recreio e bem da população urbana (RAMBO, 1957)².

Nosso objetivo neste trabalho foi avaliar se, do ponto de vista da cartografia térmica de superfície, este horto florestal continua correspondendo a uma interrupção na paisagem industrial e urbana na Região Metropolitana de Porto Alegre.

MATERIAL

O documento de base que serviu para avaliar a pertinência qualitativa do canal infravermelho termal ao estudo do clima local da RMPA foi uma imagem Landsat 5 TM, canais 3, 4 e 6 do dia 19/12/95 às 9h 50min. Escolheu-se o quadrante norte da imagem 22481 conforme o cadastro do INPE (cena de 92km x 92km), que abrange a área mais intensamente ocupada da Região Metropolitana de Porto Alegre (FIGURA 1). Esta imagem (correspondente ao quadro vermelho na FIGURA1) serviu, como veremos adiante, para a elaboração de uma cartografia do uso do solo distinguindo áreas vegetadas das não vegetadas, bem como, para a observação e análise da variação da temperatura à superfície naquela data. Também foi utilizada uma fotografia aérea em escala 1:40.000 de 1991 da METROPLAN que mostra em mais detalhe o Horto Florestal ao centro tendo a cidade de São Leopoldo a norte

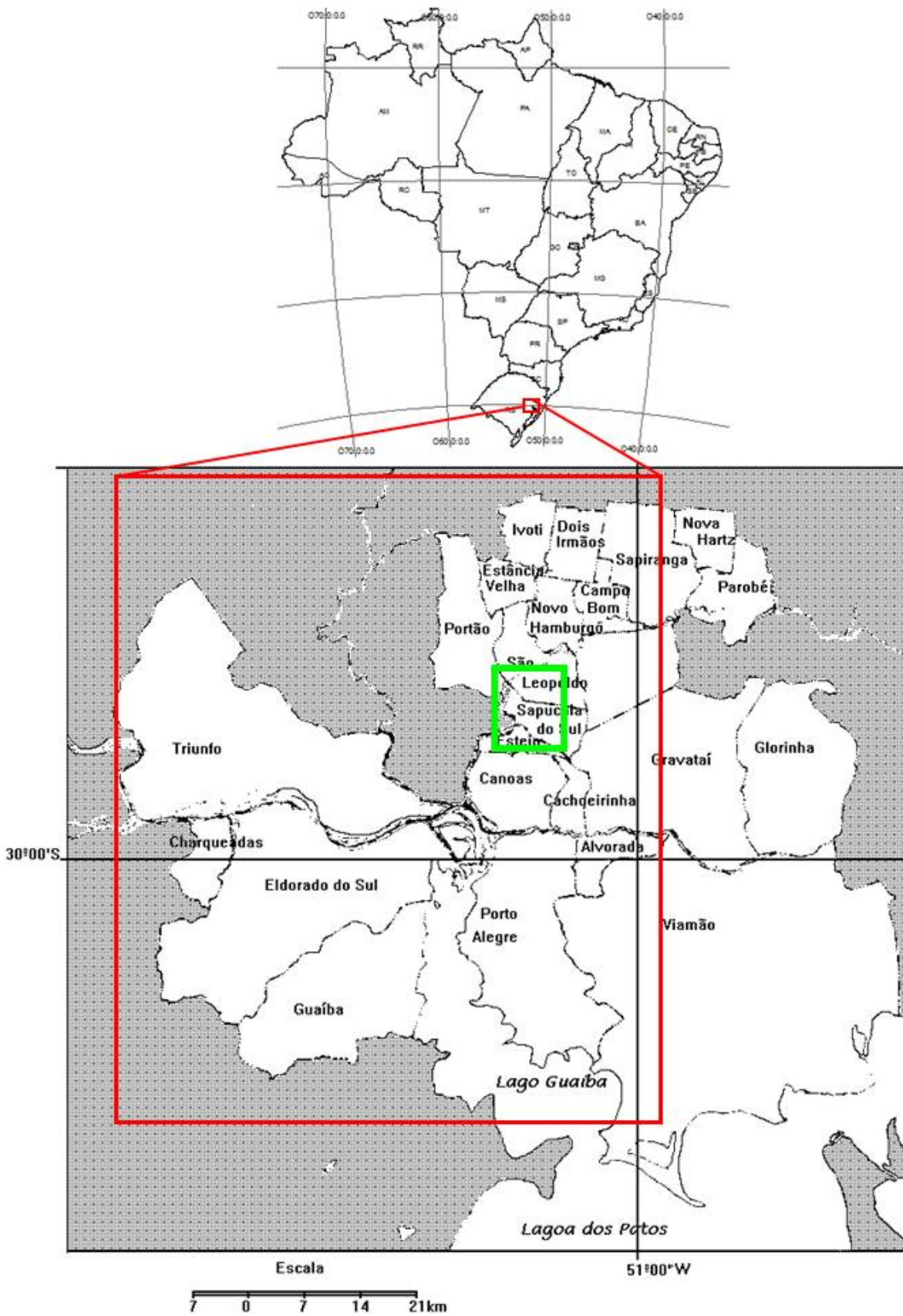


FIGURA 1 - RMPA- Divisão político-administrativa em 1992, cena abrangida pela imagem (quadro em vermelho) e destaque para a área do Horto Florestal e entorno.

e Sapucaia do Sul ao Sul. A área correspondente a esta fotografia aérea está destacada pelo quadro verde na Figura 1.

Cantat (1987) considerou a importância de levar em conta a estação do ano em que se processou o imageamento, pois o aquecimento das superfícies não é resultado unicamente de um só momento. As condições meteorológicas dos dias precedentes também determinam a resposta térmica dos objetos em superfície bem como da temperatura do ar das baixas camadas da atmosfera. Em função disso foram também coletados dados meteorológicos do período que precedeu o imageamento registradas as estações existentes na área.

O processamento das imagens e o cruzamento dos diferentes planos de informação para chegar-se a temperatura de superfície foi realizado no software IDRISI. Este Sistema de Informações Geográficas, como veremos no decorrer do texto, possibilitou a realização de operações algébricas diversas sobre um conjunto de matrizes (imagens), não exigindo do operador outros conhecimentos além da lógica matemática simples. As operações lógicas e matemáticas foram realizadas passo a passo, o que facilitou o acompanhamento do processo e detecção de possíveis erros de processamento³.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos utilizados para avaliar a relação das características de uso do solo e tempo meteorológico na data do imageamento com as respostas térmicas apresentadas pela imagem são, neste artigo, apresentados em três etapas: a primeira trata das características temporo-espaciais anteriores ao imageamento e do dia do registro, a segunda trata da cartografia

térmica de superfície a partir do registro e a terceira da relação entre a cartografia térmica de superfície e os registros das estações meteorológicas para esta mesma data.

CARACTERÍSTICAS TEMPORO - ESPACIAIS EM DEZEMBRO DE 1995

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

Dezembro é o mês em que o sol chega na sua posição mais alta no céu nas latitudes subtropicais do Brasil (ângulo de 83,5° em relação a superfície, ao meio dia de 22/12 para Porto Alegre- 30°S), o que significa ser este também o mês de máxima intensidade da radiação solar (do ponto de vista astronômico).

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

sucessão de tipos de tempo se manifestou também nos registros da estação meteorológica de Porto Alegre (FIGURA 2).

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

a estação do 8° Distrito de Meteorologia - Porto Alegre.

De acordo com estes dados observou-se que, no período anterior ao registro da imagem de satélite analisada, prolongava-se uma estiagem de quase um mês. Em função da baixa umidade relativa do ar, a amplitude térmica diária observada chegou em algumas estações meteorológicas da RMPA a mais de 20°C. Durante o decêndio de 10 a 19 de dezembro a insolação foi contínua sobre a RMPA e as precipitações praticamente ausentes (FIGURA 3). Entre as estações meteorológicas das quais se obtiveram os dados, somente as de Eldorado do Sul, Triunfo

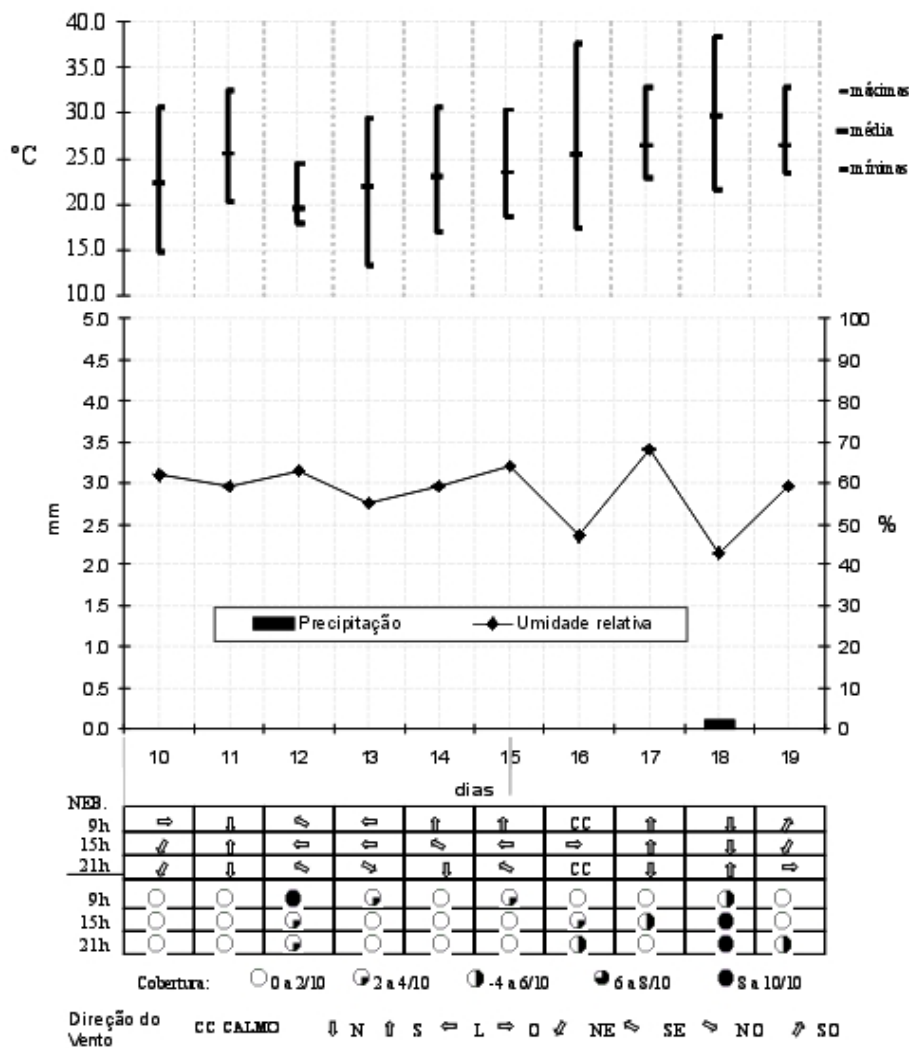


FIGURA 2 - RMPA- Variação diária dos elementos do tempo de 10 a 19 de dezembro de 1995. Estação Meteorológica Principal - 8°DISME.
Fonte: 8° Distrito de Meteorologia i INMET. Organizado por COLLISCHONN (1998)

e Porto Alegre registraram alguma precipitação neste período, respectivamente 8mm, 7,7mm e 0,1mm, todas no dia 18 de dezembro.

A representação gráfica (FIGURA 3) das temperaturas observadas em 6 estações meteorológicas da RMPA.

Os gráficos da Figura 3 indicam: um dia quente no início do período (dia 11/12); um ligeiro resfriamento no dia 12 em função da

entrada da frente fria; uma retomada do aquecimento a partir do dia 14 que culmina com dias muito quentes entre 16 e 19/12. As condições apresentadas, no decêndio anterior ao imageamento, só não configuram uma onda de calor do ponto de vista das temperaturas mínimas, porque a baixa umidade relativa do ar, a rápida e pouco efetiva passagem das frentes frias, e temperaturas máximas superiores a 33,0°C

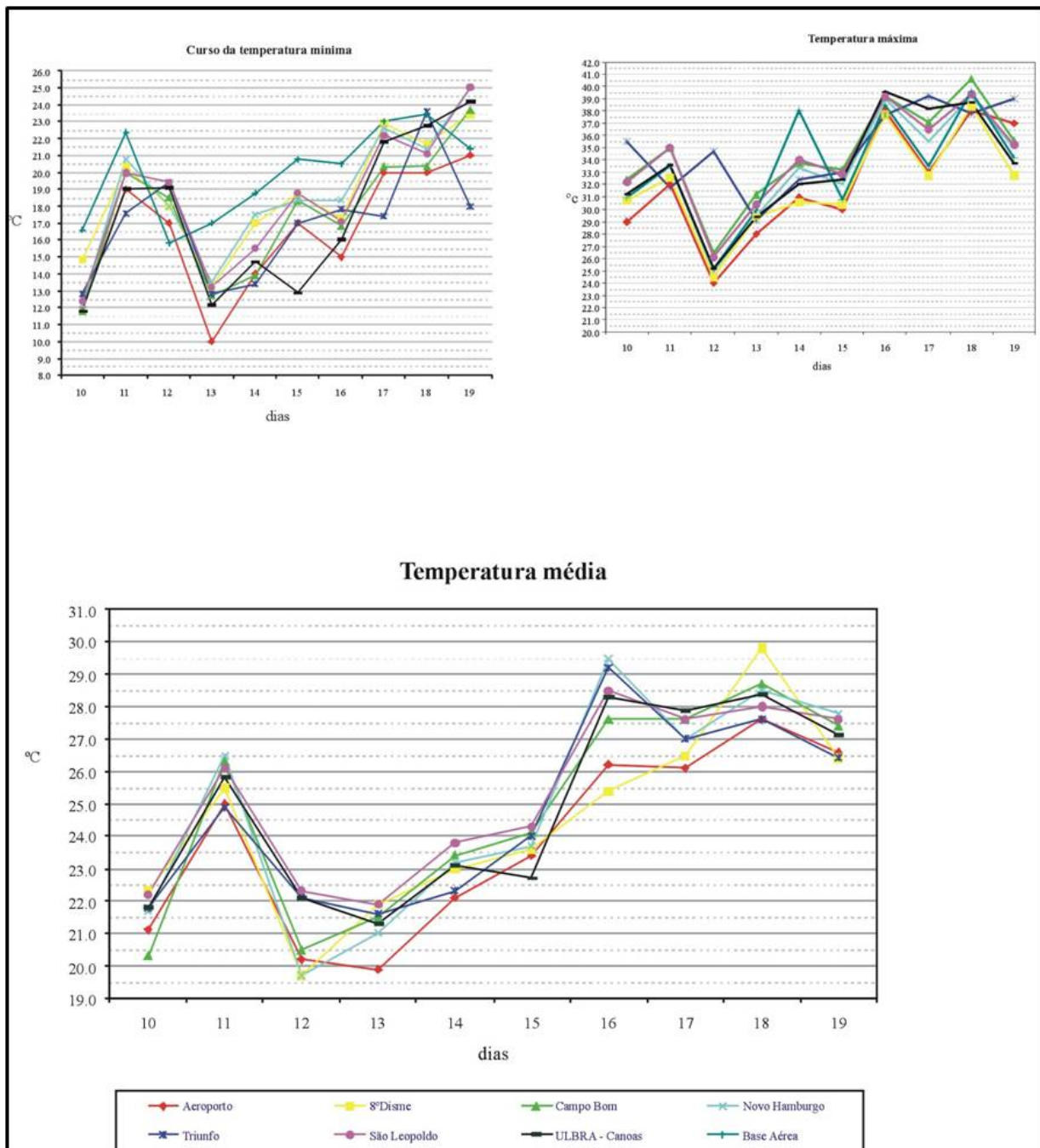


FIGURA 3 - RMPA- Evolução decenal das temperaturas mínima, máxima e média (de 10 a 19 de dezembro de 1995).

Organizado por Erika Collischonn.

durante 4 dias seguidos (de 16 a 19/12/95) parecem legitimar tal fenômeno.

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

As condições meteorológicas dos dias precedentes e do dia e hora da passagem do satélite determinam em grande parte a resposta térmica dos objetos “captados” pelo sensor do satélite. Para caracterizar a situação do dia da passagem do satélite utilizou-se dados horários dos termógrafos das estações 8°DISME, Campo Bom, Aeroporto, Base Aérea, Triunfo, N. Hamburgo, ULBRA e Eldorado, além de registros dos horários convencionais das estações Triunfo, Novo Hamburgo e São Leopoldo

(FIGURA 4).

Apesar da linha de instabilidade que passou pela região no dia 18, no dia 19 de dezembro o dia amanheceu com céu limpo e temperatura superior a 22,0°C, para todas as estações com registro. Às 9 horas da manhã, pouco antes da passagem do satélite, a leitura do termômetro a 1,5m do chão e na sombra oscilou entre 27,8°C em Triunfo e 31,0°C em Campo Bom e na base Aérea de Canoas. A umidade do ar variou entre 51,0% na estação da ULBRA em Canoas e 68,0% em Triunfo.

Todas as estações registravam uma brisa leve às 9 horas da manhã com direção predominante de SW, mas que se mostrava alterada em função do relevo para algumas estações (TABELA 1).

A temperatura registrada num termômetro de solo a 2 cm de profundidade na Estação Agroclimática da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA) foi de 28,0 °C às

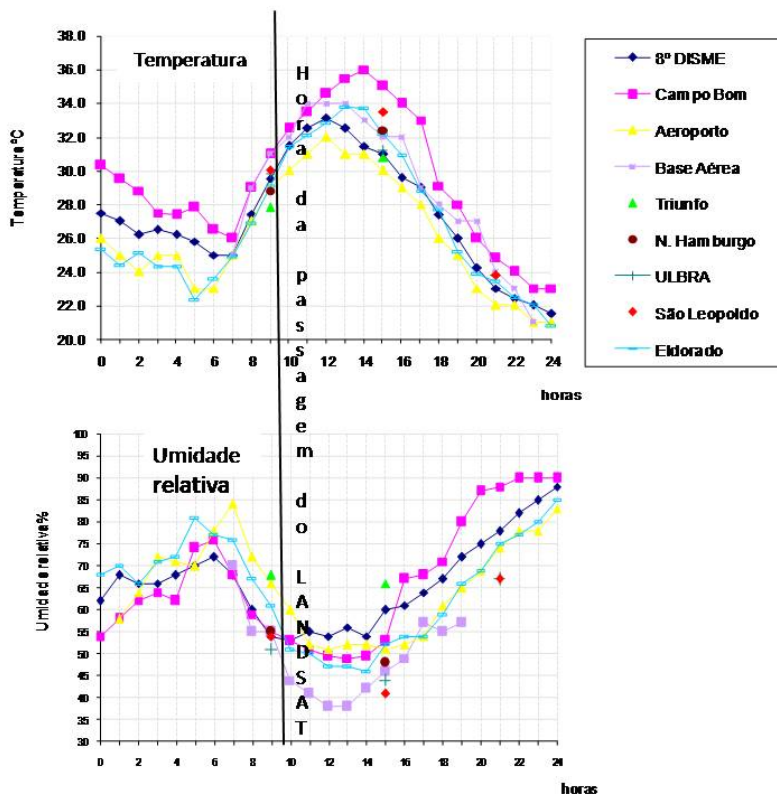


FIGURA 4 - RMPA - Curso da temperatura e umidade relativa do ar em 19 de dezembro de 1995. Organizado por Erika Collischonn.

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

TABELA 1 - RMPA- Temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento às 9 horas (12TMG) da manhã do dia 19/12.

Organizado por Erika Collischonn.

9 horas da manhã e 44,4°C às 15 horas.

VARIÁVEIS DA CARTOGRAFIA TÉRMICA DE SUPERFÍCIE EM 19/12/95

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

A identificação térmica dos diferentes objetos componentes do meio observado pelo satélite é, por outro lado, condicionada pela relação entre o tamanho destes objetos a identificar e o tamanho da célula ou *pixel*.

Como se pode perceber na Figura 5, num estudo climático que abrange um meio urbano e seu entorno rural, o problema se coloca de maneira diferenciada, como se explicita nos próximos dois parágrafos.

No meio rural, principalmente nas porções oeste e central da imagem, os diversos componentes da paisagem têm uma maior extensão que os elementos do urbano (campos, cultivos, matas, açudes, etc.) cobrindo muitas células sobre a imagem de

satélite; é, portanto, relativamente fácil de percebê-los e de verificar suas respostas térmicas.

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

Apesar da banda 6 não permitir uma identificação térmica, elemento por elemento, ela se aplica bem aos objetivos de um estudo de clima local como o presente, pois, para

haver uma influência climática notável, as variações locais de temperatura de superfície devem ser suficientemente pronunciadas e cobrir um espaço relativamente grande, segundo Cantat (1987, p. 64).

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

A intensidade da radiação térmica recebida pelo satélite é o resultado de três componentes: a emissão própria do solo, a emissão da atmosfera e a fração da energia térmica refletida. Contudo, durante o dia, na ausência de nuvens (condição indispensável para a observação à distância da superfície terrestre) a emissão atmosférica para o espaço e a reflexão da radiação infravermelha são

negligenciáveis diante da dominância da radiação emitida pelo substrato aquecido sob a ação do sol. Portanto, considera-se que o sensor térmico do satélite registra, a um instante dado, a propriedade da radiação eletromagnética emitida por diferentes objetos na superfície da terra, que é por sua vez, função direta de sua temperatura de superfície e de sua emissividade (CANTAT, 1987, p. 46). A variabilidade no aquecimento das superfícies em iguais condições de recebimento de energia é como aqui tratado, função do albedo e das características de condutividade térmica e calor específico das mesmas.

No domínio do infravermelho térmico a emissividade, ou fator de emissão, traduz a capacidade de um corpo em transformar seu calor em radiação. A noção de corpo negro se aplica a um objeto que emite um total de radiação equivalente ao total que ele absorve. Somente um corpo negro é um emissor

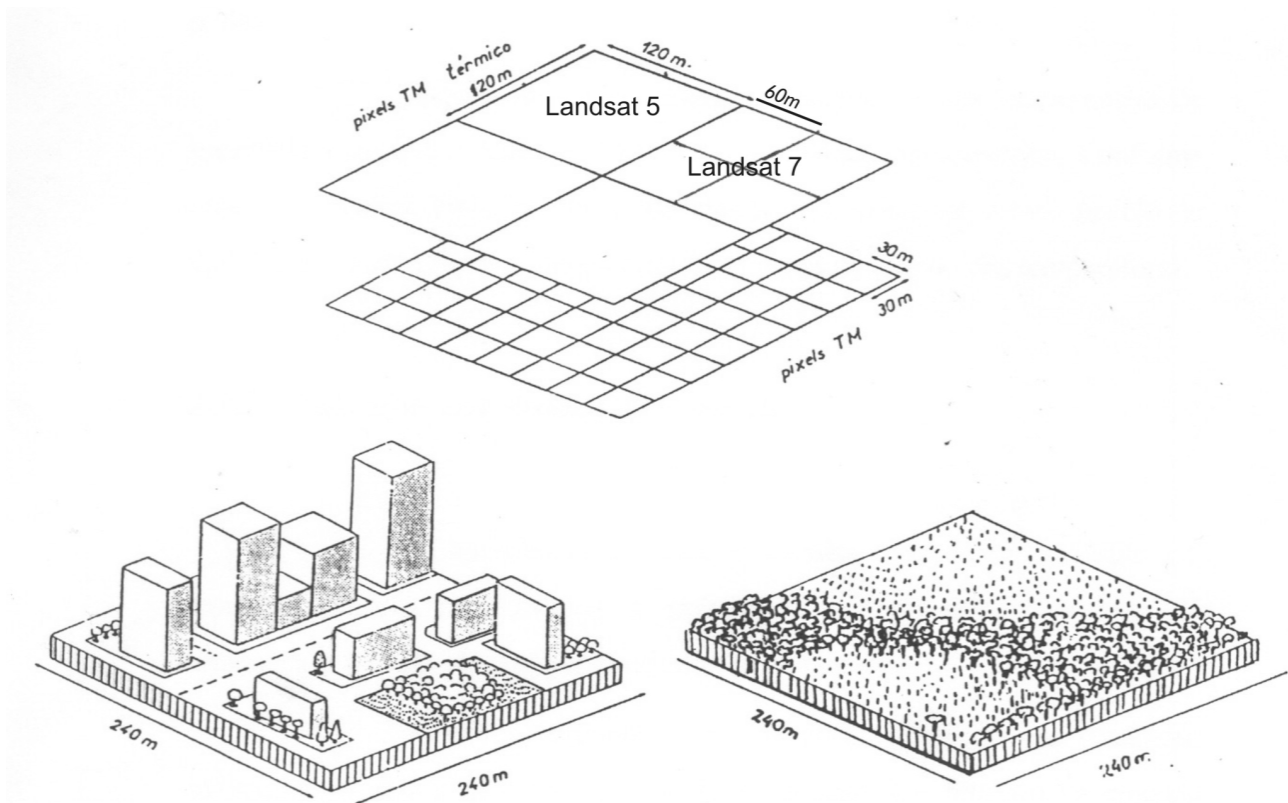


FIGURA 5 - Dimensão da célula TM e seu recobrimento em ambiente urbano e rural.
Fonte: Cantat (1987, p. 62. Adaptado por COLLISCHONN, 1998).

perfeito de radiação, a maioria dos objetos reais não o é. Muitos objetos irradiam algo menos do que o que emitiriam se fossem um perfeito corpo negro. O coeficiente que se refere ao comportamento ativo de um material em relação à emissividade de um corpo negro que é 1, é denominado **emissividade** do material (e) (MOTA, 1989).

Como o sensor do Landsat TM 6 mede as temperaturas de brilho dos objetos numa cena, a emissividade do objeto é requerida para obter-se a temperatura de fato. Geralmente os corpos naturais possuem emissividades muito próximas e os contrastes de temperaturas de brilho medidas pelo satélite correspondem essencialmente às diferenças de temperatura de superfície desses corpos. No entanto, no caso da Região Metropolitana de Porto Alegre, em função das possibilidades de classificação de usos do solo, serão consideradas três grandes classes de emissividade (TABELA 2).

Dada a variação significativa da emissividade para áreas vegetadas e superfícies construídas e em vista da importância deste parâmetro na obtenção de valores de temperatura de superfície, utilizaram-se os valores médios de

emissividade, para cada cobertura: áreas vegetadas -0.95 e áreas não vegetadas - 0.92 e água 0.97⁴. Estes valores médios podem mascarar alguns dados, pois, para os solos, a emissividade aumenta com o crescimento da umidade, e os telhados de zinco podem parecer frios nas imagens térmicas diurnas devido à baixa emissividade da telha de zinco (apesar de um forte aquecimento, o que é particularmente importante num meio urbanizado).

Definidos os valores de emissividade para cada tipo de superfície, foi necessário demarcar estas superfícies na imagem. Na impossibilidade de se obter um mapa detalhado do tipo de cobertura da superfície na Região Metropolitana de Porto Alegre, em função de se ter adquirido uma imagem somente com 3 bandas e uma delas ser a termal, fez-se uma classificação a partir de duas bandas (TM3 e TM4). Obteve-se através destes canais uma imagem do Índice de Vegetação (*normalized difference vegetation index*) da área através do módulo de sobreposição do IDRISI, definido pela seguinte equação (FIGURA 6).

| Material | Emissividade |
|------------------------------------|--------------|
| Áreas não vegetadas | 0,92 |
| Asfalto | 0,86 |
| Granito | 0,90 |
| Basalto | 0,92 |
| Concreto | 0,97 |
| Solo seco | 0,91 |
| Água | 0,97 |
| Área vegetada | 0,95 |
| Vegetação com copa fechada e campo | 0,97-0,98 |
| Vegetação mais aberta | 0,96 |
| Culturas variadas | 0,93-0,97 |
| Espaços verdes urbanos | 0,90 |

TABELA 2 - Agrupamento dos materiais terrestres segundo a emissividade de superfície.
Fonte: Berman (1994, p. 13) ; Nichol (1994, p. 1228) e Cantat (1987, p. 47).

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

Figura 6 - Fórmula para obter uma imagem de NDVI.

A partir dessa imagem definiu-se um corte no índice de densidade de vegetação para distinguir área não vegetada de vegetada e um corte para distinguir água, através de um módulo do IDRISI que permite criar classes, chegando-se à imagem **Cobert** somente com três definições de cobertura de superfície: 1= água, 2= área não vegetada e 3= área vegetada (FIGURA 7).

Nesta imagem destaca-se claramente a área urbanizada da grande Porto Alegre como uma grande mancha em cor cinza claro alinhada basicamente no sentido sul norte desde a margem esquerda do Guaíba, mas também apresentando alguns tentáculos na direção leste e nordeste. Na margem direita do Guaíba, salienta-se outra mancha cinza claro que corresponde, em parte, às cidades de Eldorado do Sul e Guaíba, mas representa, em maior escala, os solos nus preparados para o plantio do arroz. Destacam-se como áreas com vegetação, o Delta do Jacuí ao centro, a várzea do Rio dos Sinos entre São Leopoldo e Novo Hamburgo, e a Serra Geral ao norte.

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

Criou-se um novo arquivo a que se atribuiu o valor da emissividade correspondente a cada uma das superfícies

identificadas. Às que representavam áreas vegetadas foi atribuído o valor 0,95, para a água foi atribuído o valor 0,97 e para as que representavam áreas não vegetadas o valor 0,92.

CÁLCULO DAS TEMPERATURAS DE SUPERFÍCIE

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

Os valores de temperatura de superfície para toda a área metropolitana foram obtidos então pela equação da Figura 8.

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

FIGURA 8 - Equação para o cálculo da temperatura de superfície.

Seguem os significados de cada uma das expressões da equação:

T_b= temperatura que emitiria a superfície se fosse um corpo negro perfeito;

λ= comprimento de onda médio da radiância emitida pela banda 6 (11,5 m);

α= hc/K (1,438x 10² m K), onde:

K= Constante de Stefan Boltzmann (1,38x10⁻²³ J/K)

h= Constante de Planck (6,28x10⁻³⁴ J seg), e

c= velocidade da luz (2,998x 10⁸ m/seg);

lnε = logaritmo natural da emissividade da superfície.

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

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

Primeiro atribuíram-se os valores do logaritmo natural da emissividade a cada "pixel" para os três tipos de coberturas da superfície definidas na imagem de uso do solo sendo: $\log_n 0,97 = -0,03045921$, $\log_n 0,95 = -0,05129329$ e $\log_n 0,92 = -0,08338161$. A nova imagem foi denominada **lognat**.

Em seguida fez-se a multiplicação da imagem **bodytemp (Tb)** pelo valor médio do comprimento de onda do infravermelho térmico (11,5mm ou 0,0000115m) através da operação SCALAR. A nova imagem foi denominada **etapa2** e representa a expressão λT_b .

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

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

As imagens **etapa4** e **etapa5** foram somadas, através do módulo OVERLAY, chegando-se assim ao denominador da

equação (imagem **etapa6**).

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

Para tornar os valores obtidos em graus Kelvin comparativos com aqueles medidos nas estações meteorológicas convencionais, subtraiu-se o valor 273,1 de cada célula através do módulo SCALAR e obteve-se a imagem **celsius1**, onde agora o valor de cada célula corresponde à temperatura em graus centígrados.

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

RESULTADOS

A cartografia térmica de superfície de 19/12/95 (FIGURA 9) permitiu observar que os principais corpos d'água são as áreas menos aquecidas da Região Metropolitana. Também se destacam como grandes superfícies menos quentes o Parque do Delta do Jacuí e a Várzea do Rio dos Sinos (entre Novo Hamburgo e São Leopoldo). Entre as áreas mais aquecidas encontravam-se as áreas urbanas densamente ocupadas com poucos espaços verdes, os grandes eixos rodoviários e algumas áreas agrícolas.

A existência de superfícies muito aquecidas em áreas agrícolas na planície do Baixo Jacuí - Guaíba se justifica pois os meses de novembro e dezembro de 1985 foram

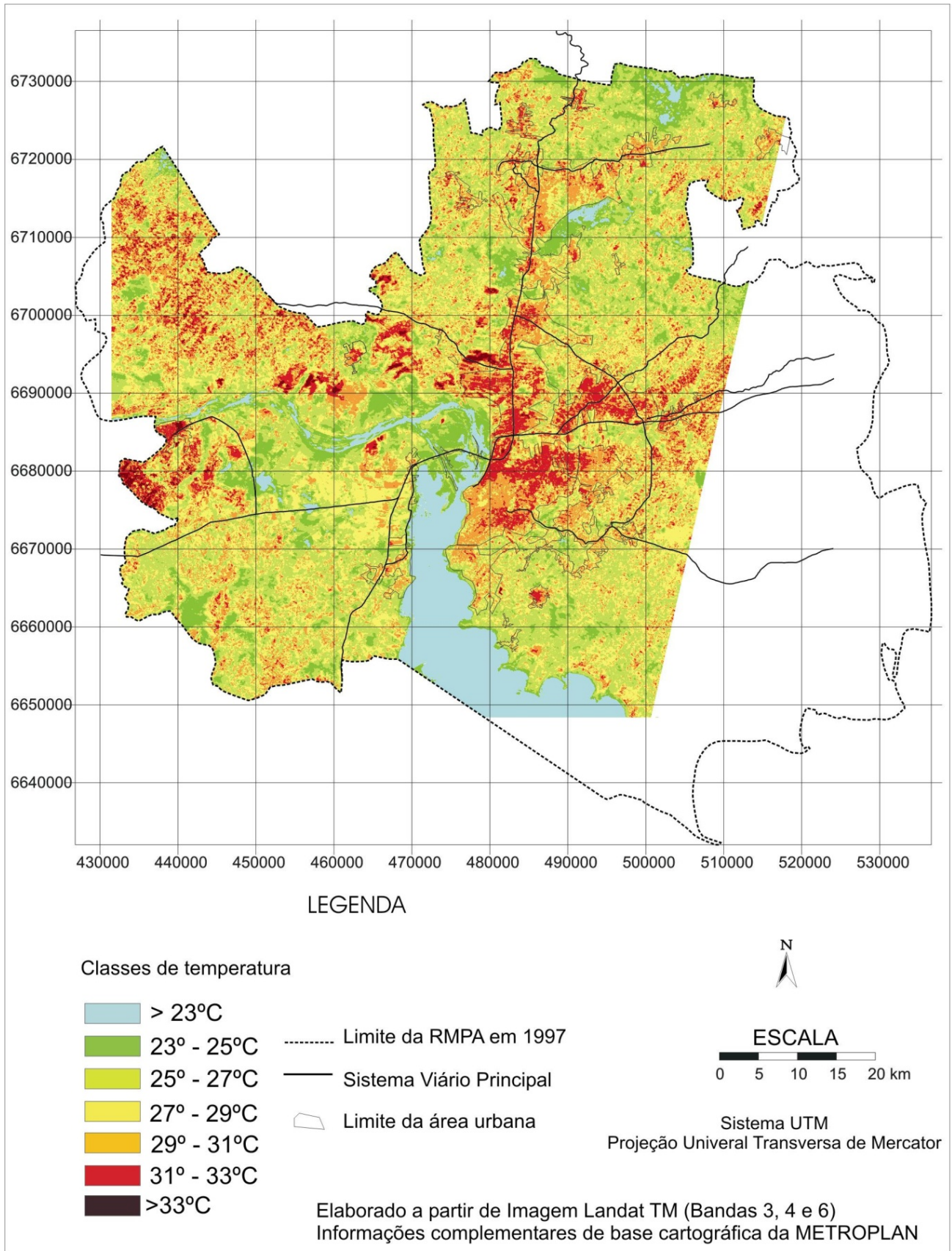


FIGURA 9 - RMPA - Temperatura de Superfície às 9h 48min de 19/12/1995.

muito secos e grandes superfícies estavam preparadas para o plantio do arroz irrigado mas ainda não estavam inundadas. Os solos ricos em matéria orgânica secos, podem ter uma superfície mais aquecida que um solo mineral, uma vez porque devido a cor negra absorvem mais calor e outra, por conterem maior quantidade de ar que não permite uma transferência do calor para o fundo.

Para melhor visualizar os resultados do processamento da imagem termal e de sua relação com o uso do solo escolhemos uma área menor da Região Metropolitana de Porto Alegre que abrange o horto florestal, as

cidades de Sapucaia do Sul e São Leopoldo e a várzea do rio dos Sinos. Na fotografia aérea (FIGURA 10) visualizam-se as áreas com cobertura florestal em cinza escuro ou preto com textura rugosa e as áreas edificadas em cinza claro e branco. Nesta fotografia também estão identificadas os limites do horto florestal bem como de outras áreas públicas aí existentes.

A Figura 11 mostra a resposta térmica dada pelos diferentes tipos de uso do solo nesta mesma área, conforme o processamento anteriormente descrito e realizado.

Como se observa no confronto das duas

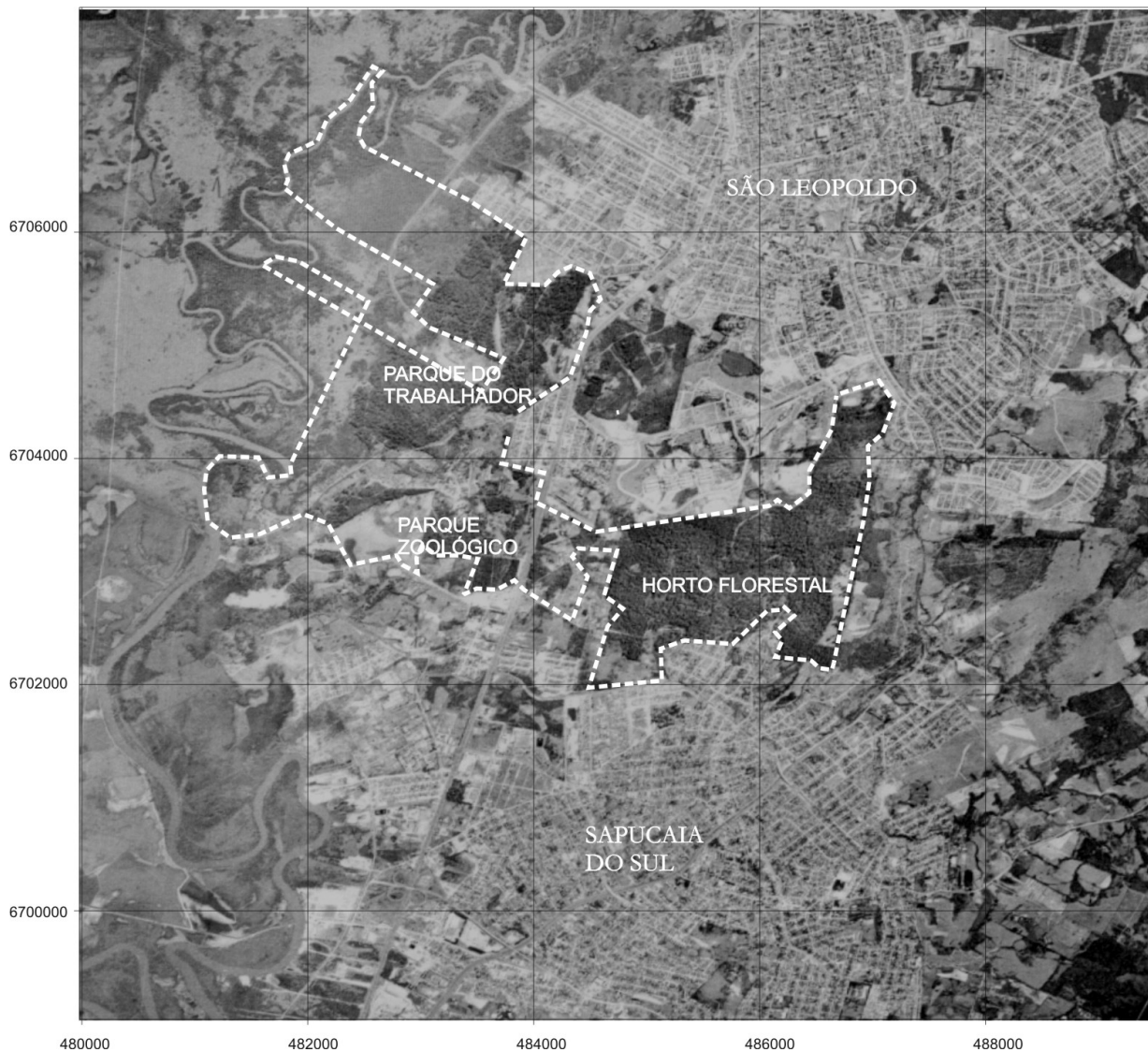


FIGURA 10 - Fotografia Aérea da Conurbação Sapucaia do Sul - São Leopoldo destacando ao centro o Horto Florestal.

Fonte: Metroplan - Levantamento aerofotográfico 1991.

figuras, o horto florestal, da mesma forma que se apresenta na fotografia (FIGURA 10) como uma interrupção da paisagem urbana, na figura 10 se apresenta como uma interrupção temperatura de superfície nas primeiras horas da manhã do dia 19/12/1995 - as temperaturas de superfície obtidas na área do horto estão entre e, enquanto que as nas áreas urbanas de Sapucaia e São Leopoldo, os valores estão entre. Isto ocorre porque nas áreas verdes boa parte da energia que chega a superfície é consumida pela evapotranspiração.

A importância das áreas verdes como controle climático foi comprovada pelo estudo de Nichol (1994) em Singapura, que mostrou uma estreita correlação entre a variação das temperaturas diurnas de superfície e a distribuição do índice de vegetação ambas obtidos a partir de imagens Landsat e dessas também com a variabilidade da temperatura do ar. Em estudo realizado por Avissar (1996) para Saint Louis, este concluiu que, se bem planejadas, áreas verdes podem ser utilizadas para mitigar alguns dos efeitos antropogênicos gerados pelo desenvolvimento de áreas urbanas.

Em Londrina, Mendonça (1995) constatou que os espaços verdes urbanos se configuram como verdadeiras descontinuidades do plateau mais aquecido, desempenhando importante “efeito oásis” ou mesmo “efeito parque” no clima urbano. Em Porto Alegre, Hasenack (1986) demonstrou que os parques e as áreas verdes nos interstícios da cidade atuam como “ilhas de frescor” pois “são moderadoras do excesso de calor armazenado nas edificações e liberado para a atmosfera, na medida em que fornecem ar resfriado e com menos ar particulado às

áreas urbanas a sua volta” (HASENACK e FERRARRO, 1998, p. 147). Os dados orbitais e terrestres explorados por Collischonn (1998) e apresentados neste artigo também manifestam esta relação estreita entre a ocupação do solo urbano e a temperatura e comprovam a necessidade de manutenção de espaços verdes intersticiais, como o Horto Florestal, na Região Metropolitana de Porto Alegre.

Assim, o Horto Florestal sabiamente mantido nas mãos do estado há cinquenta anos atrás, em função da defesa de ambientalistas como o Padre Balduino Rambo, hoje além de se constituir um centro de dispersão de numerosas fontes e nascentes de cursos d'água, também se constitui numa ilha de frescor nos dias quentes de verão com potencial para promover a renovação do ar urbano das áreas próximas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações do satélite permitiram verificar diferenças térmicas a nível de meso-escala na RMPA. A grande vantagem desta caracterização da termografia através do infravermelho termal, relacionada a emissividade da superfície foi a obtenção de uma imagem momentânea da distribuição da temperatura da superfície terrestre com uma capacidade de resolução espacial que não é possível de obter com nenhuma rede de medições estacionárias.

O aspecto mais relevante e inédito em termos de mensuração obtido através destes dados é a importância das superfícies aquáticas e das principais áreas verdes na região como ilhas de frescor diurnas no verão. No entanto, a imagem não pode proporcionar a expressão pronta do campo térmico que se

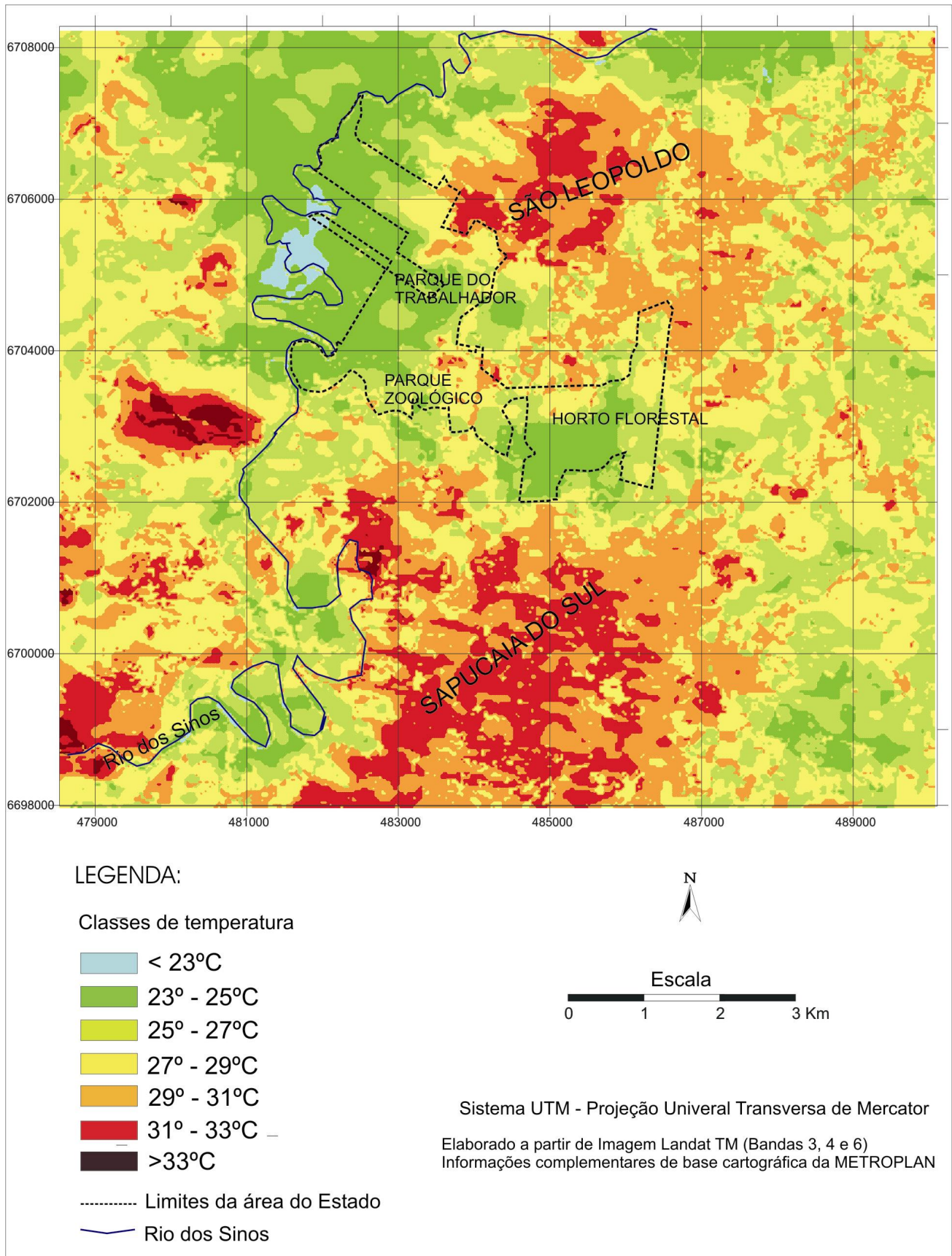


FIGURA 11 - Conurbação Sapucaia do Sul - São Leopoldo - Temperatura de superfície às 9h 48min do dia 19/12/1995.

apresenta como uma complexidade de vários estratos. As temperaturas medidas pelo sensor não são idênticas com a temperatura do ar medida na camada de ar próxima a superfície. A cartografia térmica da superfície às 9h45min do dia 19/12/1995 mostrou diferenças térmicas de mais de 12,0°C na Região Metropolitana. A amplitude da variabilidade térmica entre os registros de abrigos meteorológicos convencionais (a 1,5 metros do solo) foi de apenas 3,2°C para as 9 horas desta mesma manhã. A maior homogeneidade entre estes últimos dados está relacionada em parte ao padrão de localização exigida para as estações convencionais e em parte porque o ar é um fluido, assim os processos de convecção e transferência de calor tendem a homogeneizar as diferenças no ar.

Outro aspecto importante a considerar na leitura dos dados obtidos por sensoriamento remoto é que, como a vista do satélite é vertical, não se pode dizer que o valor medido é aquele ao nível do solo. Para elementos verticais como grandes árvores e construções, a superfície registrada pelo sensor é em parte a copa ou telhado, em parte a sombra que estes objetos projetam no chão, em detrimento do volume de ar aquecido por estes ambientes.

Assim, apesar dos bons resultados obtidos com a teledeteção neste trabalho, tem-se claro que esta técnica não pode eliminar outros métodos de análise em mesoclimatologia, uma vez que a variável medida pelo satélite é diferente das variáveis fornecidas pelas estações meteorológicas ou por levantamentos de campo complementares. A continuidade do registro do conjunto de parâmetros climáticos pelas

estações em solo permanecem indispensáveis para o trabalho em climatologia, e complementares para as pesquisas em teledeteção. Por outro lado, os resultados também são suficientemente encorajantes para propor-se um exame continuado de dados termais dos sensores de satélite e um espaço maior e mais destacado deste tipo de análise nos programas de pesquisa em meso e microclimatologia.

NOTAS

¹ Geógrafa; Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Professora da Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

E-mail: ecollischonn@gmail.com

¹ Na época o governo do estado do Rio Grande do Sul pretendia vender a área do Horto Florestal, mas a Comissão de Obras da Assembléia Legislativa vetou a venda, em parte, em função do artigo escrito por Rambo.

² Rambo, Pe Balduíno, *A tragédia de um Horto Florestal*, Correio do Povo; Porto Alegre, 12/11/1957; p.12.

³ Os procedimentos foram realizados no ano de 1998. O software Idrisi hoje certamente contém muitos outros recursos de operação algébricas e funções aplicáveis.

⁴ Os valores médios para áreas vegetadas e não vegetadas foram aqueles definidos por Nichol (1994, p.1228) e o valor médio para água foi extraído de Berman (1994, p. 13).

REFERÊNCIAS

AVISSAR, Roni. Potential effects of vegetation on the urban thermal environment.

- Atmospheric Environment*, vol 30, nº 3, 1996. pp.437-448.
- BERMAN, E. Ann. *Exploring the environment through satellite imagery*. McLean: Tri-Space, Inc. 1994.
- BARIOU, R.; LECAMUS, D.; LE HENAFF, F. 1993. *L'etalonnage des données*. Rennes: Centre Regional de télédétection/UHB/Rennes2, 1993.
- CANTAT, O. *Teledetection spatiale et microclimats - Le cas de la region d'Ile de France*. Paris, Institut d'Amenagement et d'Urbanisme de la Region d'Ile de France, 1987. 190 p.
- COLLISCHONN, Erika. *O campo térmico da Região Metropolitana de Porto Alegre: Uma análise a partir da interação das variáveis ambientais na definição do clima local*. Florianópolis, 1998 - Dissertação (mestrado em Geografia)- Universidade de Santa Catarina.
- EASTMAN, J. R. *Idrisi for Windows User's Guide*. Clark University, Worcester -MA, 1995.
- ESKINAZI, C.; MEISTER, R.; PASQUALETTO, A.. *Região Metropolitana de Porto Alegre-RMPA- Mancha urbana*. Porto Alegre, METROPLAN, 1992. Escala 1:250.000.
- HASENACK, H. *Influência de variáveis ambientais sobre a temperatura do ar na área urbana de Porto Alegre*. Porto Alegre, 1986. Dissertação (Mestrado) -CPG Ecologia, UFRGS.
- HASENACK, Heinrich; FERRARO, Lilian W. Clima urbano: ilhas de calor e ventos fortes na selva de pedra. In: MENEGAT, Rualdo; PORTO, Maria L.; CARRARO, Clóvis. C.; FERNANDES, Luís A D. (Coord.) *Atlas Ambiental de Porto Alegre*. Porto Alegre, Editora da Universidade/UFRGS, 1998. pp.147- 150.
- CLIMANÁLISE - BOLETIM DE MONITORAMENTO E ANÁLISE CLIMÁTICA, V.10 nº12, INPE/MCT, 1995.
- LOMBARDO, M. A. *A ilha de calor nas metrópoles*. São Paulo: Hucitec, 1985.
- MENDONÇA, F. *O clima e o palneamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR*. São Paulo, 1995 -Tese (doutorado em Geografia)- Universidade de São Paulo.
- MONTEIRO, C. A. F. *Teoria e Clima Urbano*. São Paulo: USP, 1976.
- MOTA, F. S. da. *Meteorologia Agrícola*. São Paulo: Ed. Nobel, 1989.
- NICHOL, J. E. A GIS-based approach to microclimate monitoring in Singapore's high-rise housing estates. In: *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol.60, nº10, 1994. pp.1225-1232.
- NOVO, E. L. M. *Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações*. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 1989.
- RAMBO, Balduino, A tragédia de um Horto Florestal. *Correio do Povo*; Porto Alegre, 12/11/1957. In: ESTIVALET, Cilon (Org.) *Florestas; fortalezas ameaçadas*. Canela, 1998. 71p. (Documentos de Ecologia n.1). p. 39-43.