

Mapeamento da temperatura de superfície de pequenas bacias hidrográficas: comparação de imagens dos satélites LANDSAT 5, LANDSAT 7 e CBERS 2 no estudo de caso do Córrego da Água Quente, São Carlos, SP.

Marcos José de Oliveira¹
Francisco Vecchia¹
Marcelo Montañó¹

¹ Universidade de São Paulo - USP/EESC/CRHEA
Caixa Postal 292 - 13.560-970 - São Carlos, SP, Brasil
marcos.jose.oliveira@usp.br
{fvecchia, minduim}@sc.usp.br

Abstract. The urban climate results from modifications that areas, materials and activities in urban areas cause in the balances of energy, mass and movement. Given the difficulty of the lack of integration between the approaches of the study of urban climate and the physical and human components of the urban environment, this work assessed the implementation of Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) in the study of the distribution of land surface temperature (LST) in the Córrego da Água Quente, a 12 km² watershed, located in São Carlos, São Paulo, Brazil. It was used images from the satellites Landsat 7, LANDSAT 5 and CBERS 2, with spatial resolution of 60, 120 and 160 meters, respectively. Concepts of Dynamic Climatology were used as selection criteria for the satellite images. Maximum differences of 6 to 8°C were identified between urbanized areas and wooded areas closer to the river. The methodology can contribute for a tool in the urban planning process of the land use.

Palavras-chave: remote sensing, land surface temperature (LST), urban heat island (UHI), geographic information systems (GIS), dynamic climatology, sensoriamento remoto, temperatura da superfície terrestre (TST), ilha de calor urbana (ICU), sistema de informações geográficas (SIG), climatologia dinâmica.

1. Introdução

A urbanização e a conversão da superfície terrestre para usos urbanos representam uma mudança rápida e visível, que gerou inúmeros impactos ambientais em diferentes escalas espaço-temporais. A conversão dos recursos naturais em produtos e serviços, para satisfação das necessidades humanas, gera degradação ambiental tanto pela obtenção de matéria-prima e energia, quanto pela devolução de resíduos ao meio ambiente, em forma de poluição.

Das esferas físicas componentes do meio ambiente – hidrosfera, litosfera, atmosfera – o clima, não obstante, sofre influências do espaço urbanizado, em consequência das alterações no uso do solo provocadas pelo homem. Problemas ambientais em aglomerados urbanos, relacionados ao clima, incluem: reduzida dispersão de poluentes na atmosfera; altos níveis de desconforto térmico, que prejudicam a saúde e a produtividade humana em suas atividades cotidianas no trabalho, estudo e lazer; e aumento do consumo de energia na utilização de resfriamento de ambientes por meio de ar-condicionado.

O estudo do comportamento do clima nas cidades constitui uma fonte de informações que podem subsidiar no planejamento urbano, com vistas à melhoria da qualidade de vida das pessoas e da utilização sustentável dos recursos energéticos e materiais.

Muito pouco do conhecimento da Climatologia Urbana é utilizado no planejamento urbano, fato decorrente da falta de ferramentas úteis que traduzam de forma integrada e sucinta as relações entre os atributos da forma urbana e do clima. Logo, a dificuldade de integração das diferentes escalas de abordagem do clima é um aspecto decisivo na compreensão da dinâmica do clima urbano, sobretudo na escala de uma bacia hidrográfica, unidade básica do planejamento territorial e ambiental.

Portanto, o principal propósito deste trabalho foi analisar a viabilidade de utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Informações geográficas (SIG) no estudo da distribuição da temperatura superficial em bacia hidrográfica semi-urbanizada,

tendo como estudo de caso a Bacia do Córrego da Água Quente, localizada ao sul da malha urbana do Município de São Carlos, SP. Para isto, comparou-se o uso de imagens de três satélites: LANDSAT 7, LANDSAT 5 e CBERS 2, que geram imagens na banda termal com resoluções de 60, 120 e 160m, respectivamente. Além disso, o estudo verificou a possibilidade de utilização dos conceitos da Climatologia Dinâmica como critérios de escolha das imagens de satélite.

1.1. Clima

A Climatologia – área do conhecimento na qual se estudam as características da atmosfera em contato com a superfície terrestre e a divisão espacial dessas características – apresentou uma evolução nos conceitos de clima, em que se verificam duas diferentes abordagens: a clássica e a dinâmica.

A Climatologia Dinâmica consiste no estudo do clima por meio de eventos climáticos, abordagem distinta da proposta clássica, que estuda o clima utilizando-se de medições de longos períodos e desvinculada das condições dos fenômenos da atmosfera.

A grande vantagem da abordagem dinâmica do clima é o dinamismo que se atribuiu ao clima, dado pela sucessão habitual. Enquanto que na abordagem clássica o que definia o clima de um lugar era o estado médio da atmosfera, o movimento e o encadeamento de tipos de tempo vinculam-se mais com a vida e com as práticas sociais e econômicas.

No Brasil, a visão dinâmica da Climatologia foi introduzida por Monteiro (1967), que define o clima como sendo a “sucessão habitual dos tipos de tempo”. Para o autor *op. cit.*, o ritmo é a essência da análise dinâmica, sendo que a seqüência – sucessão de tipos de tempo, ou seja, encadeamento dos estados atmosféricos sobre determinado local – é que conduz ao ritmo.

O estudo do deslocamento, frequência e intensidade das massas de ar, constituem a base da Climatologia Dinâmica, sendo as massas de ar e as frentes os conceitos meteorológicos mais difundidos. Massa de ar é definida como uma grande porção de ar, de grande espessura, que apresenta certa homogeneidade horizontal, em que as propriedades físicas são quase uniformes no mesmo nível, principalmente em relação à temperatura e umidade. Por frente entende-se que é a linha de contato dentre duas massas de ar, de qualidades diferentes, formando uma instabilidade térmica e barométrica, sendo, portanto, uma zona de instabilidade.

A sucessão de entradas de massas polares sobre o sudeste brasileiro permite identificar o seu padrão cíclico de sucessão encadeada de tipos de tempo. Esse encadeamento de tipos de tempo remete ao estudo dinâmico do clima, situação em que os mecanismos da circulação da atmosfera são imprescindíveis para a sua compreensão. Decorre dessa abordagem a constituição de episódios de clima, seqüência de dias em que ocorre a atuação de uma massa de polar, dividida em quatro fases distintas: 1. Prenúncio da penetração de uma massa polar sobre a região definida; 2. Avanço da frente fria sobre a região (momento da entrada da frente e efetiva atuação da massa polar); 3. Domínio da massa polar; 4. Transição ou Tropicalização da massa polar.

1.2. Planejamento Urbano

Planejar “é um processo contínuo que envolve a coleta, organização e análise sistematizadas das informações [...] para chegar a decisões ou escolhas acerca das melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos disponíveis.” (SANTOS, 2004, p. 24).

O grande propósito de planejar é atingir metas específicas no futuro, por meio da utilização de previsões e estimativas, dando ênfase na tomada de decisões, subsidiadas em um diagnóstico. Para isso, todo planejamento pressupõe uma pesquisa, análise e síntese de informações, fundamento básico da decisão de resolver os problemas do planejamento. No

diagnóstico, é necessária uma forma de espacialização dos recursos, assim como dos conflitos decorrentes de sua conservação ou uso (FERRARI, 1977; SANTOS, 2004).

De acordo com Mota (1981), o planejamento territorial urbano tem sido usado na ordenação do crescimento das cidades, com a intenção de minimizar os impactos decorrentes do processo de urbanização. Como ferramenta do planejamento no processo de ordenação, o zoneamento do uso do solo urbano estabelece usos preponderantes, compatíveis ou indesejáveis para as diversas áreas de uma cidade, evitando-se efeitos negativos sobre o ambiente dos habitantes.

1.3. Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) é uma ferramenta computacional de manipulação de dados, capaz de adquirir, armazenar, verificar, compilar, transformar, atualizar, gerenciar e emitir informações georeferenciadas. Ele é constituído por um conjunto de funções computacionais centralizadas em um programa aplicativo (*software*), além da interface e dos periféricos físicos de um computador (*hardware*).

Através de um sistema de coordenadas (latitude, longitude, altitude) e de suas propriedades (atributos) e de suas relações (topologia), o SIG descreve aspectos e parâmetros de fenômenos reais em um conjunto de dados espaciais e não espaciais, sendo esta capacidade de integração de dados seu princípio básico de funcionamento (SILVA et al., 2004).

Comumente utilizado na visualização de mapas, o sistema de processamento de dados espaciais permite analisar e gerar informações para projeto e planejamento de espaços, fornecendo a base de um sistema de tomada de decisões.

No campo de Planejamento Urbano, Silva et al. (2004) citaram diversas aplicações, dando destaque ao trabalho de Weng (2001), que estudou temperaturas em uma cidade chinesa e encontrou um aumento de 13 °C na superfície radiante de superfície, utilizando um SIG para o monitoramento do impacto do crescimento urbano.

1.4. Sensoriamento Remoto

Em Planejamento é muito comum que a base das principais informações provenha de dados remotos, obtidos por imagens de satélite, fotografias aéreas, imagens de radar, GPS ou varreduras termais (SANTOS, 2004).

Sensoriamento remoto é uma técnica que permite o registro das variações espectrais da reflectância dos alvos e tem como resultado uma imagem passível de interpretação. De acordo com Novo (1992), sensoriamento remoto pode ser definido como a utilização conjunta de modernos sensores e equipamentos para o processamento e transmissão de dados (aeronaes, espaçonaves), com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro a análise de interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes da superfície terrestre em suas diversas manifestações.

A combinação de dados de diversas fontes e natureza, inclusive dados orbitais com dados de campo, é um dos procedimentos básicos para o planejamento urbano/regional. Com o desenvolvimento do satélite LANDSAT, cujo objetivo constitui na aquisição de dados espaciais espectrais e temporais da superfície terrestre de forma global e periódica, metodologias foram sendo gradativamente criadas e aprimoradas para um melhor entendimento e reconhecimento dos alvos terrestres. Assim, desde 1970, muitas pesquisas foram desenvolvidas utilizando diferentes sensores no estudo do planejamento do ambiente urbano.

1.5. Área de Estudo

A sub-bacia do Córrego da Água Quente – contribuinte da bacia do córrego do Monjolinho – está localizada na região sul da cidade de São Carlos (vide **Figura 1**), com

aproximadamente 12,5 km² de extensão, inserida em área urbana e rural, abrangendo 35.000 habitações. O corpo d'água principal possui extensão de seis quilômetros aproximadamente, desde a nascente até a sua foz no córrego do Monjolinho. O córrego é circundado, de um lado, pelos loteamentos populares Cidade Aracy, Antenor Garcia e Collor de Mello e, de outro, por toda encosta sul da cidade por uma formação natural de *cuesta* basáltica com declividades acentuadas (PEPINO et al., 2002).

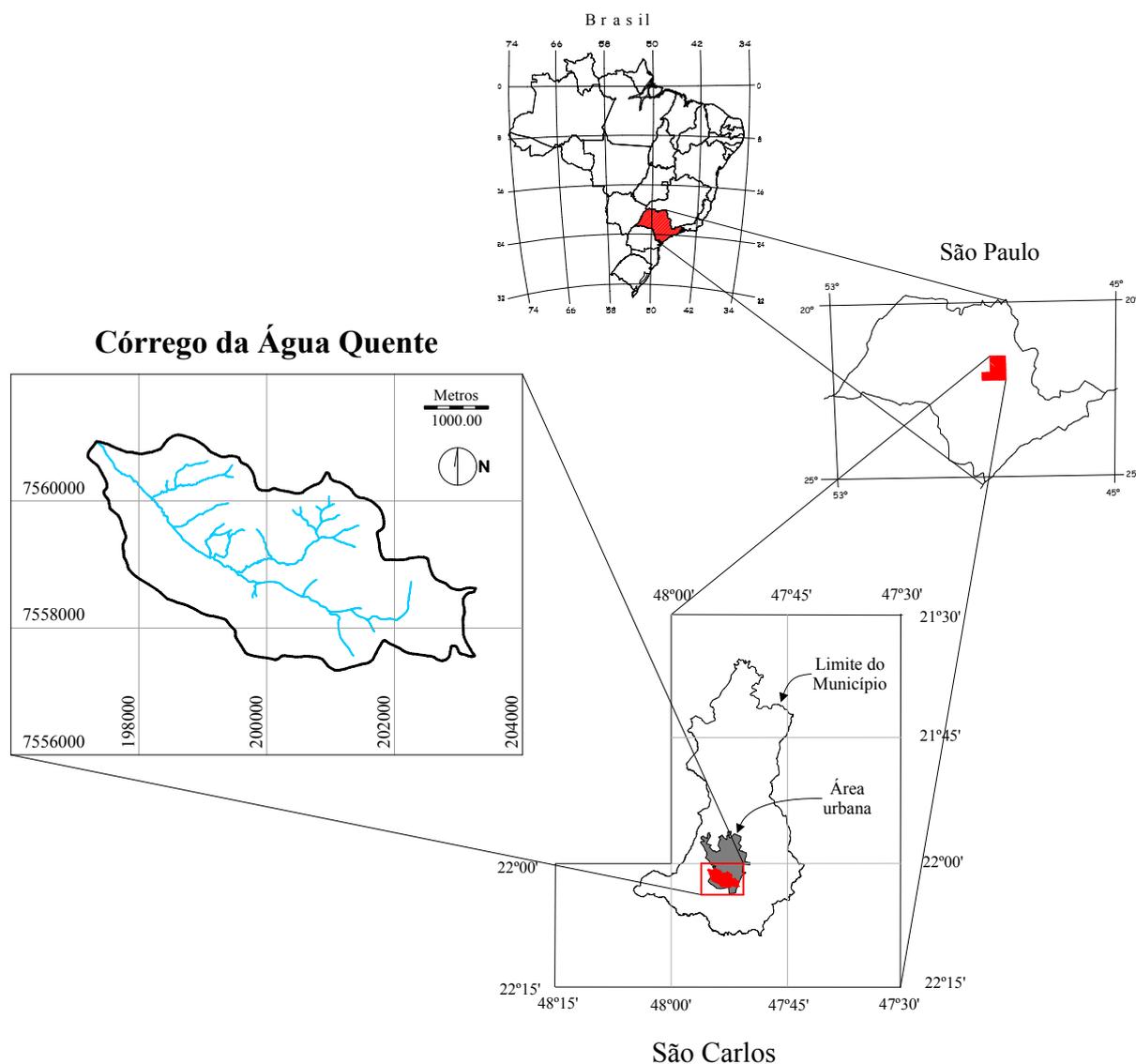


Figura 1 – Localização do Córrego da Água Quente, São Carlos, SP. (adaptado de MURO, 2000¹).

Os principais problemas presentes na bacia são decorrentes do modo como se deu o processo de ocupação urbana, que desconsiderou as limitações impostas pelo meio ambiente. A região apresenta enorme fragilidades do ponto de vista de desencadeamento de processos erosivos – devido aos solos arenosos e bastante friáveis –, processos de desmatamento, e de degradação de qualidade dos recursos hídricos pela falta de infra-estrutura e saneamento (PEPINO et al, 2002).

¹ MURO, M. R. Carta de Zoneamento para Seleção de Áreas frente à Instalação de Aterros Sanitários no Município de São Carlos-SP - Escala 1:50.000. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2000.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Seleção das imagens de satélite

A análise comparativa realizou-se com a obtenção de imagens² das bandas termais dos satélites CBERS 2, LANDSAT 5 e LANDSAT 7.

O satélite CBERS 2 possui um sensor do tipo Imageador por Varredura de Média Resolução (*IRMSS - Infrared Multispectral Scanner*). O *IRMSS* produz imagens termais com uma resolução espacial de 160 metros no canal termal, registrado na banda espectral 4.

Os satélites LANDSAT 5 e 7 possuem, respectivamente, os sensores *Thematic Mapper (TM)* e *ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)*, que produzem imagens termais de 120 e 60 metros de resolução espacial respectivamente, com os dados registrados na banda 6.

Acessando o Catálogo de Imagens do INPE, realizou-se pesquisa para o município de São Carlos, região de estudo em que se encontra a Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Quente.

Verificou-se que, dos satélites consultados, o LANDSAT 7 foi o que apresentou a menor quantidade de imagens disponíveis: apenas 8 imagens compreendidas no período de abril a julho de 2001, sendo duas destas imagens imediatamente descartadas pela presença de nuvens.

Este intervalo disponível representou um fator limitante, que a princípio forçaria a escolha das imagens dos outros satélites para o mesmo período. A situação ideal seria que todos os sensores realizassem o sensoriamento remoto no mesmo dia e no mesmo horário, e assim a comparação seria muito mais precisa e sujeita a menos interferências e alterações das condições climáticas locais. Como cada satélite tem uma resolução temporal distinta (CBERS: 26 dias; LANDSAT: 16 dias), a coincidência de aquisição de imagens para o mesmo dia seria muito difícil de ocorrer.

Outro possível fator que poderia dificultar a análise comparativa seria o horário da aquisição das imagens, pois o valor da temperatura superficial terrestre varia de acordo com a radiação solar. No caso não ocorreu diferenças grandes dos horários das aquisições das imagens, sendo todos os sensoriamentos realizados em torno das 13 horas.

Assim, para o mesmo período de abril a julho de 2001, quatro imagens, com céu limpo, estavam disponíveis pelo satélite LANDSAT 5. Porém, o satélite CBERS não apresentava imagens para este período nesta região, constando apenas imagens a partir de 2005.

Para solucionar esta dificuldade, a medida adotada foi utilizar conceitos da Climatologia Dinâmica, que permite identificar episódios climáticos e as massas atuantes numa dada região, tornando possível estabelecer dias com características semelhantes, passíveis de comparação.

Foi elaborada uma tabela (**Tabela 1**) com dados do satélite e da massa de ar atuante no dia da aquisição das imagens. Os dados de temperatura e radiação foram coletados na Estação Meteorológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) do Departamento de Hidráulica e Saneamento (SHS), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).

Em destaque, na **Tabela 1**, os dias que apresentaram características semelhantes foram: 8 de abril de 2001 para o satélite LANDSAT 7; 2 de maio de 2001 para o satélite LANDSAT 5; e 7 de abril de 2005 para o satélite CBERS 2. Os critérios utilizados para escolha destes dias foi: atuação de uma massa tropical na fase de domínio; e perfis de temperatura (no horário, máxima e mínima) semelhantes.

Selecionados os dias, realizou-se pedido de imagens no Catálogo de Imagens no sítio eletrônico do INPE, as quais foram utilizadas no tratamento em ambiente SIG.

² Disponíveis gratuitamente no Catálogo de Imagens do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso 20 jun 2008.

Tabela 1 – Critérios utilizados na seleção de imagens de satélite

Satélite	Data	Horário	Massa ¹	Fase ²	Radiação	Temperatura (°C)		
						No horário	Máx. dia	Mín. dia
LANDSAT 7	14/8/2001	12:58:58	T	D	80%	24,55	25,77	11,26
LANDSAT 7	29/7/2001	12:59:18	P	D/T	100%	19,77	22,12	5,734
LANDSAT 7	13/7/2001	12:59:29	P	D/T	100%	19,08	21,09	9,7
LANDSAT 7	11/6/2001	12:59:45	P	D	95%	25,22	25,35	14,76
LANDSAT 7	26/5/2001	12:59:56	P	D/P/A	70%	22,35	23,27	16,41
LANDSAT 7	8/4/2001	13:00:09	T	D	90%	30,04	30,35	18,52
LANDSAT 5	5/7/2001	12:50:32	T	D	100%	27,61	28,66	8,67
LANDSAT 5	3/6/2001	12:50:29	T	D	100%	26,68	27,52	13,68
LANDSAT 5	18/5/2001	12:50:18	P	D	70%	20,78	21,13	11,35
LANDSAT 5	2/5/2001	12:50:19	T	D	85%	29,45	30,52	16,94
CBERS	30/5/2004	13:21:51	P	T	95%	27,5	27,56	13,11
CBERS	7/4/2005	13:20:34	T	D	90%	29,25	30,34	19,18

¹ T: Massa Tropical; P: Massa Polar

² P: Prenúncio; A: Avanço; D: Domínio; T: Tropicalização

2.2. Manipulação das imagens de satélite

As imagens selecionadas foram manipuladas com o uso do *software* Idrisi 3.2, ambiente de SIG. Após importação das imagens, fornecida em formato *GeoTIFF* pelo INPE, utilizou-se de uma rotina específica de transformação dos dados para temperatura em graus Celsius (*image processing > transformation > thermal*).

A próxima etapa foi o recorte da área da Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Quente, seguida pela etapa de georeferenciamento. Após ajustes de escalas, foram elaboradas três imagens com a distribuição da temperatura de superfície, uma para cada satélite.

3. Resultados e Discussão

As imagens produzidas pelos estão apresentadas a seguir. As escalas de temperatura não possuem o mesmo intervalo, pois foram feitos ajustes individuais que proporcionassem melhor visualização em cada caso.

A **Figura 2**, que apresenta a temperatura de superfície com dados do satélite LANDSAT 7, de 60 metros de resolução espacial na banda termal (6), apresentou diferença máxima de 6,6 °C, com valor mínimo de 23,1 °C e máximo de 29,7 °C.

A **Figura 3** mostra os valores de temperatura de superfície com dados do satélite LANDSAT 5, de 120 metros de resolução espacial na banda termal (6), apresentando diferença máxima de 8,0 °C, com valor mínimo de 16,6 °C e máximo de 24,6 °C.

Por fim, os valores de temperatura de superfície com dados do satélite CBERS 2, de 160 metros de resolução espacial na banda termal (4), são mostrados na **Figura 4**, apresentando diferença máxima de 8,0 °C, com valor mínimo de 15,2 °C e máximo de 23,2 °C.

Pode-se observar quanto maior a resolução do satélite, maiores são os valores de temperatura registrados. Assim, a imagem do satélite LANDSAT 7 apresentou valor máximo de 29,7 °C, mais próximo do valor registrado pela estação climatológica (30,04 °C) no dia do sensoriamento remoto, enquanto que a imagem do satélite LANDSAT 5 apresentou valor máximo de 24,6 °C (29,45 °C, valor registrado pela estação climatológica); e a imagem do CBERS apresentou o valor de 23,2 °C (29,25 °C, valor registrado pela estação climatológica).

Ainda, pelas distribuições apresentadas, pode-se verificar que os maiores valores de temperatura se encontram no entorno da bacia; enquanto que os menores valores se encontram próximas aos corpos d'água.

O principal motivo desta diferença é a presença de habitações e de árvores, que, no primeiro caso contribui com o aumento da temperatura, e, no segundo caso, contribui com a redução dos efeitos da radiação solar. A presença de habitações é ilustrada na **Figura 5**.

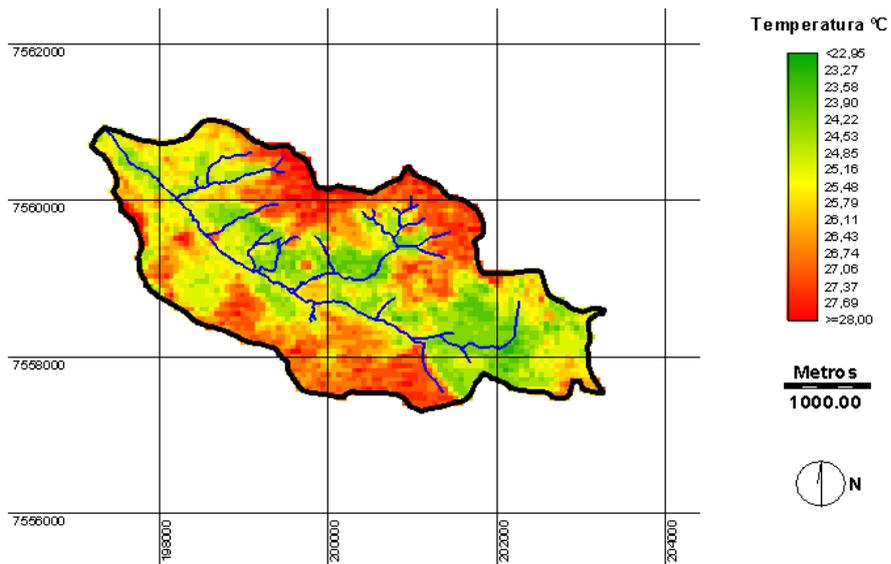


Figura 2 – Temperatura de superfície – LANDSAT 7 (banda 6, resolução 60m)

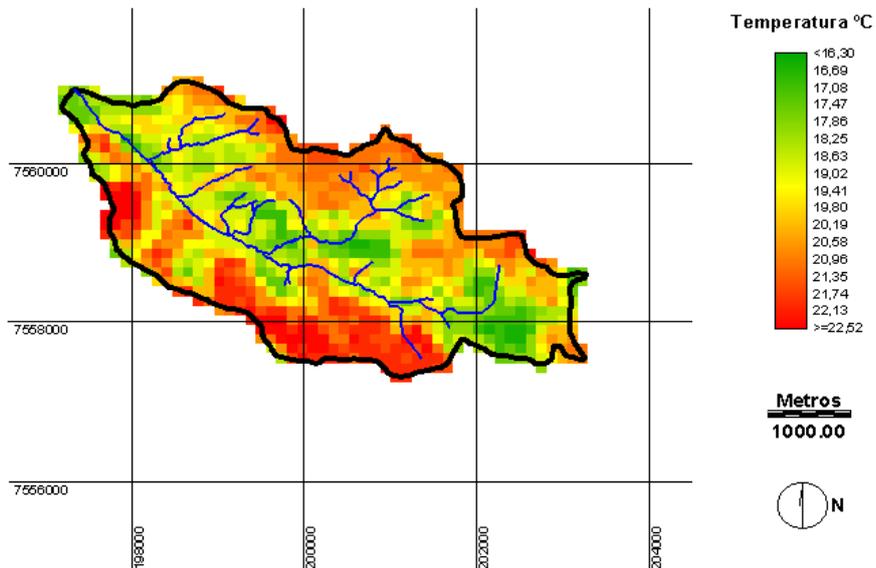


Figura 3 – Temperatura de superfície – LANDSAT 5 (banda 6, resolução 120m)

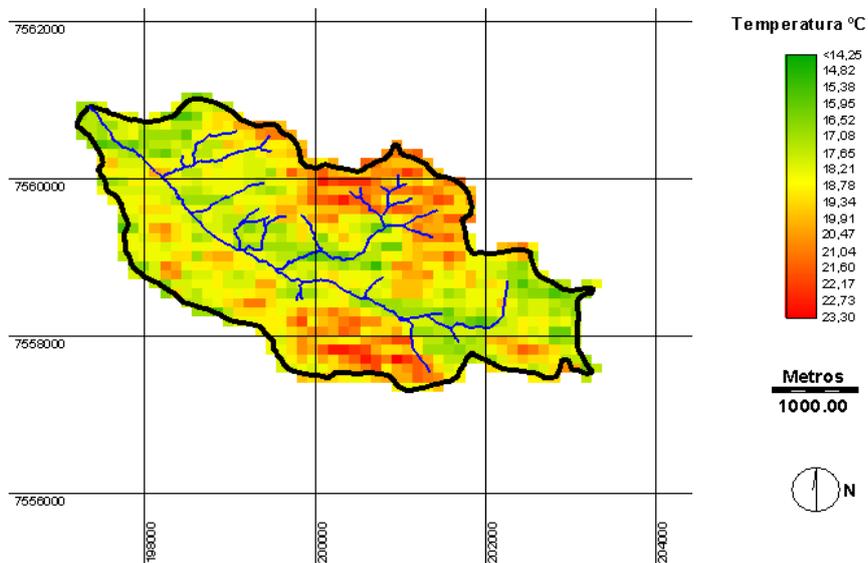


Figura 4 – Temperatura de superfície – CBERS 2 (banda 4, resolução 160m)

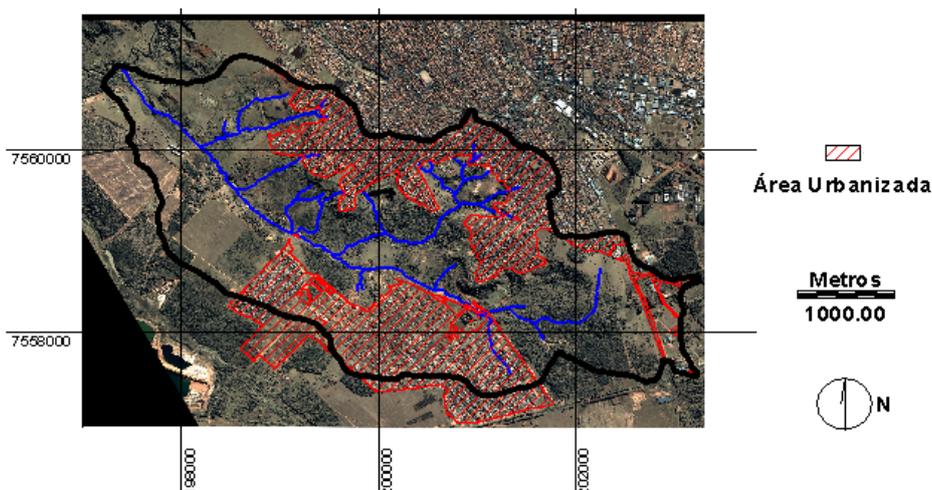


Figura 5 – Área urbanizada da bacia hidrográfica da Água Quente, com imagem do satélite Quickbird.

4. Conclusões

A metodologia aplicada demonstrou que é viável utilizar técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Informações geográficas (SIG) no estudo da distribuição da temperatura superficial em bacias hidrográficas. Ficou evidente a correlação do aumento de temperatura devido à presença de áreas urbanizadas, sendo este aspecto climático um elemento que pode ser mensurado e utilizado como ferramenta em planejamento urbano.

A comparação realizada demonstrou que o uso de imagens do satélite LANDSAT 7 são as que apresentaram melhor visualização devido a sua resolução de 60 metros na banda termal. O uso de imagens com resolução de 120 e 160 metros, geradas, respectivamente pelos satélites LANDSAT 5 e CBERS 2, forneceu uma visualização razoável, não tão detalhada quanto à imagem do LANDSAT 7.

A utilização de conceitos da Climatologia Dinâmica como critérios de escolha das imagens de satélites representou um método crucial, pois permitiu discernir as massas atuantes na região no dia do sensoriamento remoto. Assim, dias com características semelhantes foram selecionados, permitindo a uma comparação satisfatória.

Referências Bibliográficas

- FERRARI, C. **Curso de planejamento municipal integrado, urbanismo**. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1977. 631p.
- MONTEIRO, C. A. F. **Ritmo hibernal da frente polar e as chuvas na fachada subtropical atlântica do Brasil**: contribuição metodológica à análise geográfica dos tipos de tempo no Brasil. Tese (Doutorado) - FFLCH, USP. São Paulo, 1967.
- MOTA, S. **Planejamento urbano e preservação ambiental**. Fortaleza: Edições UFC, 1981. 242p.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1992.
- PEPINO, C. H., SILVA, E. A., PERES, R. B. **Análise Ambiental da Bacia do Córrego da Água Quente, São Carlos – SP**. Prefeitura Municipal de São Carlos. Secretaria Municipal de Obras, Transporte e Serviços Públicos. Teia, 2002.
- SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184p.
- SILVA, A. N. R. et al. **SIG: uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes**. São Carlos: Ed. dos Autores, 2004. 227p.
- WENG, Q. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, f. 10, p. 1999-2014, jul. 2002.