



AS TEMPERATURAS DA SUPERFÍCIE E DO AR: CONTRIBUIÇÕES AOS ESTUDOS DE CLIMA URBANO

MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM¹

Resumo: Este artigo tem como objetivo apresentar as relações existentes entre as temperaturas dos alvos diagnosticadas em imagem do canal infravermelho termal do satélite Landsat 8 e as temperaturas do ar registradas por estações meteorológicas instaladas nos ambientes urbano e rural de Presidente Prudente/SP. Esses dois procedimentos de registros auxiliaram no conhecimento detalhado das temperaturas em ambientes com características diferentes e mostraram que o tempo de transferência de calor do alvo para o ar dependerá das propriedades térmicas dos materiais.

Palavras-chave: clima urbano, sensoriamento remoto, Landsat 8, Presidente Prudente/SP

Abstract: This article aims to present the relationships between the targets temperatures diagnosed in the image of the thermal infrared channel from Landsat 8 and the air temperatures recorded by climate stations installed in urban and rural environments in Presidente Prudente/SP. These two record procedures assisted in the detailed knowledge of the temperature in environments with different characteristics and showed that the time of heat transfer from the target to the air depends on the materials' thermal properties.

Key words: urban climate, remote sensing, Landsat 8, Presidente Prudente / SP

1 – Introdução

As diferenças das temperaturas intraurbanas e rurais, tanto do ar quanto dos alvos têm sido verificadas na maioria das cidades onde os estudos de clima urbano foram realizados independentemente do porte das mesmas.

Os efeitos das temperaturas elevadas são percebidos pela população por meio das manifestações ligadas ao desconforto térmico, naturalmente identificados no ambiente tropical e agravados pelas ilhas de calor urbanas.

Deste modo, pesquisas dessa natureza são importantes porque a organização dos espaços em todo o globo terrestre manifesta o papel hegemônico das cidades na determinação de padrões regionais e principalmente de padrões locais.

As dificuldades em se obter dados das temperaturas do ar intraurbanas para se diagnosticar a geração de ilhas de calor atmosféricas são conhecidas, principalmente, pelos seguintes motivos: pela falta de estações com séries representativas, pela inexistência de

¹ Profa. Dra. do curso de Graduação e de Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, campus de Presidente Prudente SP. E-mail: mccta@fct.unesp.br.



rede de observações meteorológicas intraurbanas, pela descontinuidade dos dados ou pelos custos dos equipamentos. Em poucas cidades brasileiras foram realizados estudos que pudessem contribuir com esses diagnósticos para que efetivamente houvesse melhoria na qualidade ambiental urbana.

Diante das dificuldades de se obter medidas atmosféricas em número de pontos suficientes no intraurbano, tem se trabalhado no aperfeiçoamento de metodologias para se obter o detalhamento das temperaturas dos alvos para que se tenha o primeiro diagnóstico das características térmicas das cidades por meio do sensoriamento remoto. As imagens de satélite podem ajudar a compreender a distribuição das fontes de calor que levam à formação das ilhas de calor urbanas.

Nessa perspectiva, o objetivo deste artigo é apresentar as relações existentes entre as temperaturas dos alvos diagnosticadas em imagem do canal infravermelho termal do satélite Landsat 8 e as temperaturas do ar registradas por estações meteorológicas instaladas no urbano e no rural.

Esta pesquisa foi realizada em Presidente Prudente, localizada no extremo oeste do Estado de São Paulo, à 22° 07' de latitude Sul e 51° 23' de longitude Oeste, com população aproximada de 207.625 habitantes (Censo do IBGE, 2010). Trata-se de uma cidade tipicamente tropical que possui um período quente e chuvoso entre outubro e março e, outro mais ameno e seco, entre abril e setembro. Não são raros os eventos de temperaturas elevadas que provocam muito desconforto para a população e, dependendo das características intraurbanas, esses eventos são intensificados pela geração das ilhas de calor (Amorim 2000 e 2005).

1.1 – Procedimentos da pesquisa

Para a análise da temperatura do ar foram instaladas estações meteorológicas do tipo “Vantage PRO 2” da marca “Davis Instruments”, que registraram os elementos do clima (temperatura, umidade, pressão, direção e velocidade do vento e precipitação), no dia 09 de novembro de 2013. Para a comparação das temperaturas do ar medidas em tais estações e as temperaturas dos alvos foi utilizada imagem do satélite Landsat 8, banda 10, do canal infravermelho termal/TIRS 1, com resolução espectral de 10.6 – 11.19 μm e resolução espacial de 100 metros, mas tratadas e disponibilizadas com pixel de 30 metros pela USGS (*United States Geological Survey*). A imagem tratada foi capturada no mesmo dia dos registros das temperaturas do ar.

Os procedimentos para a obtenção das temperaturas em grau Celsius (°C) na imagem de satélite foi realizado no software IDRISI Andes versão 15.0, com a utilização de parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância, depois



para temperatura Kelvin e finalmente para graus Celsius. Tais procedimentos podem ser obtidos no sítio https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php.

Para a seleção da área que contempla a cidade na imagem de satélite, foi importada a malha urbana georreferenciada e assim foi possível a análise da distribuição das temperaturas da superfície em Presidente Prudente e seu entorno rural.

2 – Resultados e discussões

Com a disponibilidade de informações geradas através de sensoriamento remoto do canal infravermelho termal foi possível verificar as diferenças das temperaturas dos alvos no ambiente urbano da imagem tomada às 10h24 (hora local) do dia 09 de novembro de 2013, da órbita 222, ponto 75, do Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS), do sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor). A diferença entre os pontos mais quentes e mais frios foi de 12°C.

Os pontos onde foram instaladas as estações meteorológicas apresentam as seguintes características:

Bairro Santa Helena - localiza-se próximo ao centro da cidade, em um bairro residencial e próximo a um clube frequentado por população de classe média e alta. Possui média cobertura vegetal arbórea nas calçadas e quintais, característico dos bairros mais antigos da cidade. A maioria das edificações é de alvenaria com telhados de cerâmica vermelha (Figura 01).



Figura 01 – Imagem do Bairro Santa Helena onde foi instalada a estação meteorológica automática. Fonte: Google Earth TM mapping service/NASA/Terra Métrica copyright (acesso: agosto de 2012).



Rural – localiza-se na porção sudeste, fora da malha urbana e possui no entorno cobertura vegetal rasteira e arbórea (Figura 02).

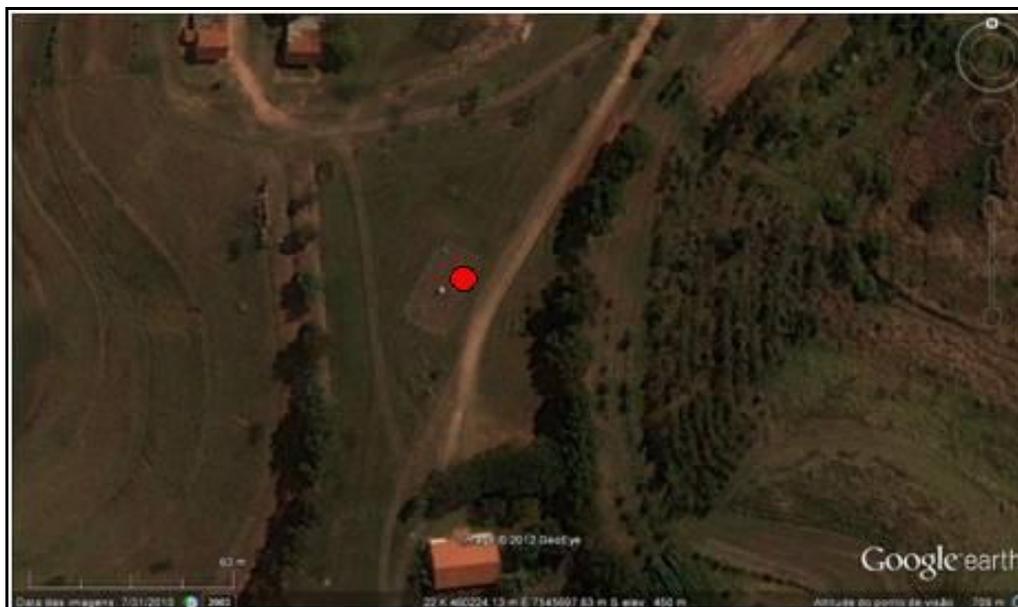


Figura 02 – Imagem do ambiente rural onde foi instalada a estação meteorológica automática.
Fonte: Google Earth TM mapping service/NASA/Terra Métrics copyright (acesso: janeiro de 2014).

Na análise da imagem de satélite, percebeu-se claramente a influência e a importância da presença da vegetação na diminuição da temperatura da superfície. Esses dados referem-se ao grau de emissividade dos objetos da superfície captados pelos sensores a bordo do satélite. Por meio dela, foi possível compreender o desenho das temperaturas intraurbana resultantes da distribuição das fontes de calor que contribuem para a geração das ilhas de calor (Figura 03).

Este tipo de análise foi apontada por Gómez *et al.* (1995), como um importante instrumento para a compreensão das diferenças térmicas entre o campo e a cidade, assim como no interior das áreas urbanas.

A estrutura térmica de Presidente Prudente interpretada na imagem tratada do Landsat 8 traduz a ocupação atual, a densidade de construções, o tipo de material construtivo e a arborização na cidade. No dia da tomada da imagem (09/11/2013), Presidente Prudente estava sob condição atmosférica estável e a temperatura do ar máxima diária registrada na estação meteorológica localizada na Faculdade de Ciências e Tecnologia foi de 34,6°C e a mínima de 21,4°C.

A Figura 3 mostra temperaturas muito diferentes entre a área urbana de Presidente Prudente e o ambiente rural próximo, sendo as mais elevadas registradas nas áreas densamente edificadas, com temperaturas de 35°C e as menores nas áreas não edificadas



e densamente vegetadas, com 26°C. As temperaturas entre 35°C e 39°C foram registradas nos solos expostos do ambiente rural e entre 24°C e 25°C nas áreas densamente vegetadas e nas superfícies líquidas. No ambiente intraurbano as temperaturas mais elevadas mostraram-se diretamente relacionadas à densidade de construções e ao tipo de telhados, particularmente os de fibrocimento e de zinco. A diminuição na densidade de construções e a presença de vegetação produz um efeito pronunciado no que se refere à quebra de continuidade da distribuição das temperaturas mais elevadas.

Presidente Prudente possui em seu entorno, um ambiente rural com o predomínio de pastagens. Comparando-se o rural e o urbano verifica-se que há várias formas e elementos naturais e antrópicos que configuram os espaços e territórios bastante diferenciados, que interagem modificando os elementos do clima por meio da relação entre o balanço de energia e a composição dos sistemas naturais, urbanos e agrícolas.

Considerando-se as características das habitações populares, estas possuem pequena quantidade de vegetação arbórea nas calçadas e os terrenos são completamente impermeabilizados. Como consequência dessas características as temperaturas detectadas nos alvos foram as mais elevadas e atingiram 35°C (Figura 03).

Nos bairros densamente edificados e com terrenos maiores (como no Bairro Santa Helena), as construções não ocupam todas as áreas dos lotes e há presença de vegetação arbórea nas calçadas. Essas características resultaram em temperaturas dos alvos menores (33°C) em relação aos conjuntos habitacionais populares.

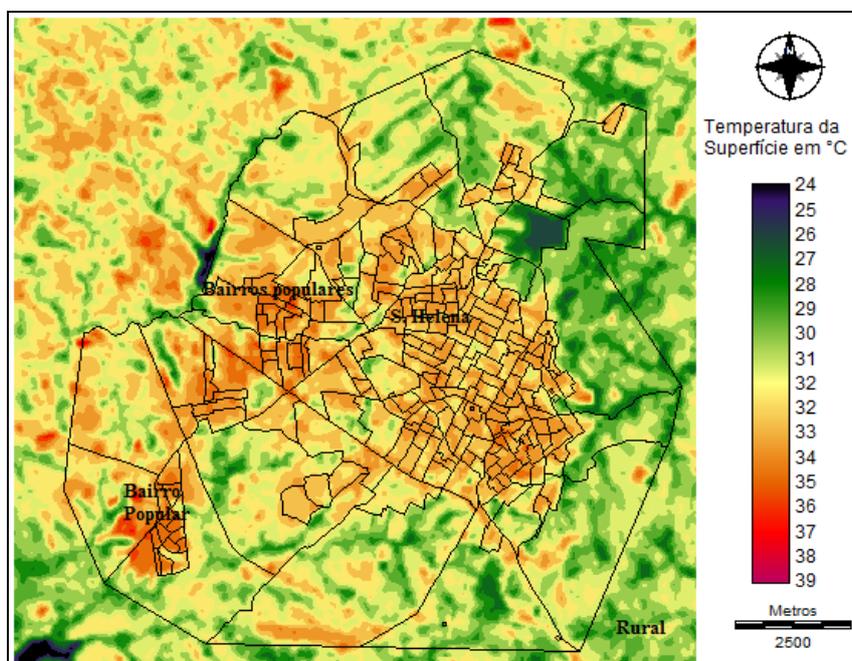


Figura 03 – Presidente Prudente: Carta de temperatura da superfície gerada a partir da imagem do infravermelho termal (banda 10) do Landsat-8 de 09/11/2013.
Fonte da imagem original: <http://earthexplorer.usgs.gov/> - WRS 222-075



Nas áreas verdes urbanas e no ambiente rural com maior densidade de cobertura vegetal arbórea, particularmente em alguns fundos de vale, as temperaturas da superfície variaram entre 26 e 31°C, em função do tipo de vegetação rasteira ou arbórea.

Desta forma, as áreas urbanas se apresentaram com temperaturas dos alvos mais elevadas do que no ambiente rural (com exceção das áreas com solo exposto). Este fato ocorre, principalmente, em função da substituição da vegetação, por materiais construtivos com albedo mais baixo que são capazes de armazenar maior quantidade de energia, se aquecendo durante o dia e liberando o calor lentamente durante a noite.

Assim, a água, o solo, a vegetação e os materiais construtivos presentes na superfície tem capacidades diferenciadas de conduzem calor diretamente através deles para outras superfícies e de armazenarem calor.

Como destaca Jensen (2009), alguns materiais respondem a mudanças na temperatura mais rápida ou mais lentamente que outros. Segundo este autor, as áreas rurais por suas características termodinâmicas, se aquecem com maior rapidez, em comparação com as áreas urbanas, que levam mais tempo para se aquecer, porém, a zona rural também perde calor com maior velocidade. A diferença termodinâmica entre os materiais existentes nas áreas rurais e urbanas geram as ilhas de calor atmosféricas e essas apresentam a maior magnitude no período noturno, por volta de 3 a 5 horas, após o por do sol (OKE, 1978).

Assim, a inércia térmica é maior no campo se comparada com a cidade e esta é definida através da relação entre a densidade, a capacidade térmica e o calor específico dos materiais que compõem a superfície (Jensen, 2009). Os elementos com maior inércia térmica tendem a se aquecer menos e apresentam menor amplitude térmica diária, como é o caso das áreas rurais. Por outro lado, as áreas urbanas, possuem menor inércia térmica e tendem a se aquecer mais e apresentam maior amplitude térmica diária.

Dessa maneira, o campo apresenta menor amplitude térmica, pois, salvo as áreas de solo exposto, o solo coberto por vegetação tem maior capacidade térmica, ou seja, precisa de uma quantidade maior de energia para que sua temperatura se eleve 1°C, se comparado aos elementos construtivos urbanos (Jensen, 2009). Isso ocorre, porque o solo coberto por vegetação perde energia através da evaporação e da evapotranspiração, que transforma calor sensível em calor latente e o exporta para a atmosfera, sem que ocorra aumento de temperatura.

Com base nesse princípio, Ugeda (2013) demonstrou que o campo permanece mais aquecido do que a cidade nos períodos de estiagem prolongada, pois, com a queda da



umidade do solo e, conseqüentemente, com o declínio da vegetação, da evaporação e da evapotranspiração, ou com o solo exposto, a temperatura da superfície tende a ser mais elevada do que as registradas na cidade.

As temperaturas dos alvos e do ar no urbano e no rural, apresentaram um tempo de resposta diferente entre elas quando se considera os valores absolutos.

Na tabela 1 são apresentados os valores de temperaturas registrados nos alvos por meio da imagem de satélite e os valores de temperatura do ar registrados nas estações meteorológicas automáticas localizadas nos mesmos pontos.

No que se refere ao tempo de resposta entre as temperaturas dos alvos e a temperatura do ar, verificou-se que no ambiente rural o valor medido na estação meteorológica e no alvo foi praticamente o mesmo, ou seja registrou-se 27°C no alvo (às 10h24) onde a estação meteorológica estava instalada e a temperatura do ar medida às 10h foi de 27,6°C. No ponto urbano o tempo de resposta entre o ar e os alvos foi diferente. A temperatura do ar medida nessa área densamente construída e com presença de vegetação ficou muito próxima ao que foi registrado nos alvos apenas duas horas depois da captura da imagem de satélite (12h). Este fato confirma o que foi descrito anteriormente no que diz respeito às características termodinâmicas das superfícies nas áreas construídas, não construídas e com vegetação.

Pontos	Temperatura da superfície 10h24	Temperatura do ar (°C) 10h	Temperatura do ar (°C) 11h	Temperatura do ar (°C) 12h	Temperatura do ar (°C) 13h
Santa Helena	33	29,5	31,4	33,0	34,0
Rural	27	27,6	28,9	29,9	31,2

Tabela 01 - Temperatura da superfície e temperatura do ar

Assim, os dados das temperaturas tanto do ar como da superfície, nos pontos onde as estações meteorológicas foram instaladas, demonstraram as relações existentes entre os dados registrados pelos dois procedimentos, evidenciando-se as diferenças em relação ao tempo de resposta para os valores absolutos registrados.

3 – Conclusões

A imagem termal gerada a partir do satélite mostrou que em Presidente Prudente, os limites das áreas construídas em direção ao rural, definiram claramente o limite das temperaturas elevadas. As áreas intraurbanas com menor densidade de construções e com presença de cobertura vegetal arbórea estiveram sujeitas às temperaturas mais baixas,



quando comparadas com as habitações populares densamente construídas, com cobertura vegetal escassa e com telhados inadequados (zinco e fibrocimento).

Os dados das estações meteorológicas automáticas mostraram que as temperaturas do ar registradas no urbano (Bairro Santa Helena) também foram mais elevadas em relação ao rural.

Este trabalho também demonstrou que a utilização do canal infravermelho termal é uma técnica importante para fornecer a temperatura qualitativa da cidade, que muito pode contribuir na perspectiva do planejamento urbano, na medida em que são definidos padrões na distribuição da temperatura da superfície de acordo com o uso e a ocupação do solo.

A associação desses dois procedimentos (medição em pontos fixos e sensoriamento remoto no infravermelho termal) auxiliou no conhecimento mais detalhado do ambiente urbano, pois possibilitou a identificação dos locais na cidade que se apresentam mais aquecidos. A imagem tratada do canal infravermelho termal do Landsat 8 fornece importantes informações sobre a temperatura dos alvos que se relacionam com a temperatura do ar e dependem das características termodinâmicas dos materiais. Assim, o tempo de transferência de calor do alvo para o ar dependerá das propriedades térmicas dos materiais.

Assim, a produção do espaço urbano precisa ser repensada para que situações de desconforto térmico, que ocorrem naturalmente no ambiente tropical e são intensificadas pela geração do clima urbano, sejam amenizadas. Algumas medidas como: o plantio de árvores nas áreas verdes, nas calçadas e no interior dos terrenos; a utilização de materiais construtivos capazes de armazenar menos calor; a não aprovação de loteamentos com terrenos muito pequenos para se evitar que toda a área seja impermeabilizada e a não canalização fechada de rios e córregos, podem contribuir para a melhoria da qualidade dos ambientes urbanos e, conseqüentemente, da qualidade de vida das pessoas que neles vivem.

4 - Referências Bibliográficas

AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. Tese de doutoramento. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo/Brasil, 2000, 322p.

AMORIM, M. C. C. T. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP: episódios de inverno. **Geosul**, Florianópolis, v. 20, n. 39, p 65-82, jan./jun. 2005.



AMORIM, M. C. C. T., DUBREUIL, V., QUENOL, H., SANT'ANNA NETO, J. L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins (Paris)**, v.7, p.1-16, 2009. <http://confins.revues.org/index6070.html>

BRASIL, (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **IBGE** – Cidades. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm>>. Acesso em 06/04/2014.

GÓMEZ, A. L.; GARCÍA, F. F.; ILERA, F. A. **Teledetección y clima urbano**. Variaciones nocturnas y diurnas de La isla de calor en Madrid. Madrid: Instituto de Economía y Geografía – Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1995. 75p.

JENSEN, John R. **Sensoriamento Remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2 ed. São José dos Campos: Parenteses, 2009.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. São Pulo: IGEOG/USP, 1976. 181p. (Série Teses e Monografias, 25).

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuem & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978, 372p.

UGEDA JÚNIOR, J. C. Correlação entre a temperatura da superfície e temperatura do ar na cidade de Jales-SP. In: Margarete Cristiane Trindade Amorim, João Lima Sant'Anna Neto e Ana Monteiro. (Org.). **Climatologia Urbana e Regional: questões teóricas e estudos de caso**. São Paulo: Outras Expressões, 2013, v.1 , p. 291-316.