

DETECÇÃO REMOTA DE ILHAS DE CALOR SUPERFICIAIS: EXEMPLOS DE CIDADES DE PORTE MÉDIO E PEQUENO DO AMBIENTE TROPICAL, BRASIL

MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM¹

RESUMO – O objetivo deste artigo é identificar como as ilhas de calor de superfície se espacializam em cidades de porte médio e pequeno por meio da utilização de imagens do canal infravermelho termal do satélite Landsat 8. Pretende-se, portanto, analisar as características das temperaturas superficiais e a distribuição espacial da cobertura vegetal arbórea, da densidade de construções e dos tipos de materiais dos telhados, em cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical. Foram diagnosticadas ilhas de calor de superfície de forte magnitude (entre 8°C e 11°C) e as áreas com as maiores temperaturas estiveram associadas com os materiais construtivos utilizados nas coberturas, particularmente os telhados de fibrocimento e de zinco, com a densidade das construções e a carência de cobertura vegetal arbórea.

Palavras-chave: Clima urbano; ilha de calor de superfície; Landsat 8; sensoriamento remoto; cidades tropicais.

ABSTRACT – REMOTE SENSING OF SURFACE HEAT ISLANDS: EXAMPLES OF SMALL – AND MEDIUM – SIZED CITIES IN THE TROPICAL ENVIRONMENT, BRAZIL. The purpose of this article is to identify how island surface heat is spatialized in small – and medium – sized cities through the use of images of the thermal infrared channel of the Landsat 8 satellite. It thus intends to assess the characteristics of surface temperatures and the spatial distribution of woody vegetation, construction density and the types of rooftop materials in small – and medium-sized cities in a tropical environment. We diagnosed surface heat islands of strong magnitude (8-11°C), and the areas with the highest temperatures were associated with construction materials used in rooftops, particularly asbestos cement and zinc, construction density and lack of woody vegetation.

Keywords: Urban climate; surface heat island; Landsat 8; remote sensing; tropical cities.

Recebido: maio 2015. Aceite: dezembro 2016.

¹ Bolsista de Produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Rua Roberto Simonsen, 305, CEP 19060-900, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil. E-mail: mccta@fct.unesp.br

RÉSUMÉ – TÉLÉDETECTION DES ÎLES DE CHALEUR SUPERFICIELLES: L'EXEMPLE DES VILLES DE TAILLE MOYENNE OU PETITE, EN MILIEU TROPICAL, AU BRÉSIL. En utilisant les images du canal infrarouge thermique du satellite Landsat 8, on a recherché la localisation des îles de chaleur superficielles dans les villes petites ou moyennes soumises à un climat tropical. On y a analysé les caractéristiques des températures superficielles et la distribution spatiale de la couverture arborée, des constructions et des types de matériaux servant de toits. On a ainsi observé que les îles de chaleur accentuées (de 8 à 11°C) étaient associées à certains matériaux constituant les toits, comme le fibrociment et le zinc, ainsi qu'à la forte densité des constructions et à l'absence de couverture arborée.

Mots clés: Climat urbain; île de chaleur superficielle; Landsat 8; télédétection; villes tropicales.

I. INTRODUÇÃO

O avanço nas tecnologias de sensoriamento remoto tem proporcionado o conhecimento cada vez mais detalhado da superfície terrestre. Tais tecnologias permitem a aquisição de informações sobre objetos sem contato físico direto e se utiliza de sensores para coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal possível de ser registrado e apresentá-la em forma adequada à extração da informação (Jensen, 2009).

Nos estudos de climatologia urbana, o sensoriamento remoto, através da aquisição da temperatura da superfície, tem auxiliado na compreensão da distribuição das fontes de calor dentro de uma área urbana que contribuem para a formação das ilhas de calor urbanas – ICU (Mendonça & Dubreuil, 2002; Arnfield, 2003; Voogt & Oke, 2003; Weng, 2003; Dubreuil, Quenol, Foissard, & Planchon, 2010; Amorim, 2013; Lucena, Rotunno Filho, Almeida França, Faria Peres, & Xavier, 2013).

Este artigo tem como objetivo identificar como as ilhas de calor de superfície se espacializam em cidades brasileiras de porte médio e pequeno por meio da utilização de imagens do canal infravermelho termal do satélite Landsat 8. Relacionam-se as temperaturas superficiais e a distribuição espacial da cobertura vegetal arbórea, da vegetação rasteira, das construções e dos tipos de materiais dos telhados.

O crescimento urbano no Brasil acarretou a derrubada de grandes áreas florestais em várias regiões do país. No oeste do Estado de São Paulo, norte do Paraná e sul de Mato Grosso do Sul isso não foi diferente, pois além do surgimento dos centros urbanos, o uso do solo rural predominantemente voltado para a agropecuária, resultou em fortes transformações em sua vegetação natural ao longo dos anos. Há indícios de que este processo de ocupação tenha provocado aumento da temperatura e concentração pluvial, modificando o regime climático (Amorim, Dubreuil, Quenol, & Sant'anna Neto, 2009).

As cidades escolhidas para este estudo – Presidente Prudente, Rosana, Paranavaí e Nova Andradina (fig. 1) – foram selecionadas porque fazem parte da Raia Divisória São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, definida por Passos (2006), como sendo áreas de fronteiras, onde os processos se manifestam segundo uma lógica de descontinuidade

objetiva da paisagem ou, ainda, segundo uma impermeabilidade muito acentuada entre as parcelas do território submetidas às definições e redefinições territoriais mais ou menos independentes. Segundo o mesmo autor, as cidades estão inseridas em uma região que necessita de estudos que possam revelar suas potencialidades paisagísticas com o objetivo de subsidiar o desenvolvimento regional e local.

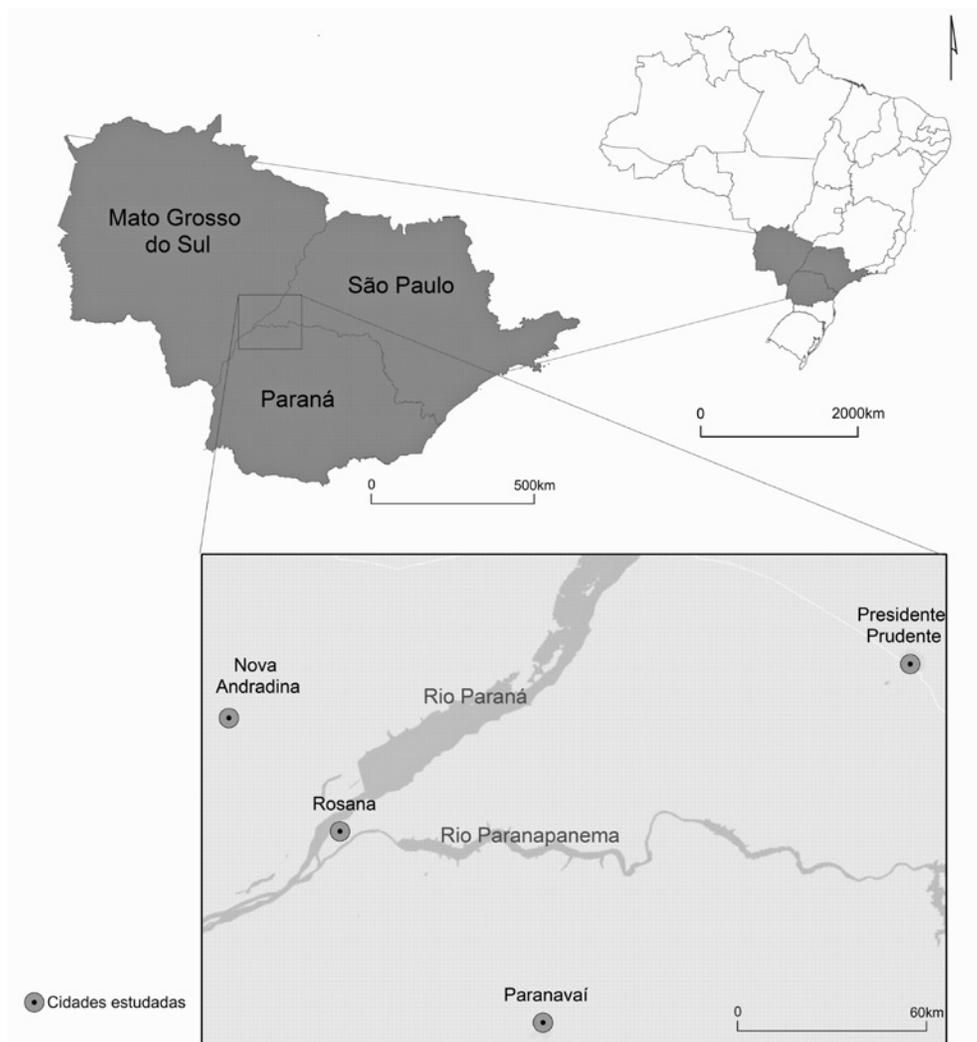


Fig. 1 – Localização de Presidente Prudente (SP), Rosana (SP), Paranavaí (PR) e Nova Andradina (MS) na raia divisória São Paulo – Paraná – Mato Grosso do Sul.

Fig. 1 – Location of Presidente Prudente (SP), Rosana (SP), Paranavaí (PR), and Nova Andradina (MS) in frontier parting São Paulo – Paraná – Mato Grosso do Sul.

Fonte: Adaptado de Passos (2006)

Neste sentido, o estudo das ilhas de calor superficiais nas quatro cidades justifica-se pela necessidade de se oferecer subsídios para o planejamento territorial das mesmas, porque pouco se conhecia sobre o papel que elas desempenham na alteração das temperaturas superficiais. Este estudo está inserido em um projeto mais amplo, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), intitulado “Dinâmicas Socioambientais, Desenvolvimento Local e Sustentabilidade na Raia Divisória São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul”, que visa contribuir para o planejamento e para a gestão de uma porção do território que teve suas paisagens naturais drasticamente alteradas e são carentes de estudos.

As referidas cidades possuem médio e pequeno porte e se caracterizam pelo clima tropical continental em área de transição entre as massas de ar tropicais (Atlântica e Continental), polares e equatoriais. Possuem duas estações definidas, um período de verão/outono, quente (temperaturas médias das máximas entre os 27°C e 29°C) e muito chuvoso (entre 150 e 200mm mensais); e invernos amenos (com temperaturas médias das mínimas entre os 16°C e 18°C) e menos úmidos (chuvas mensais entre os 20 e 50mm). Diante da forte irregularidade climática da região, explicada pela proximidade da latitude do Trópico de Capricórnio, área de conflito entre os sistemas tropicais e extratropicais, as cidades apresentam variabilidade interanual bastante acentuada. De modo geral, as massas tropicais prevalecem na região a maior parte do ano, ora com origem no atlântico, mais úmidas, ora com trajetórias continentais, mais quentes e secas (Amorim, *et al.* 2009; Sant’Anna Neto & Tommaselli, 2009).

Como as cidades tropicais são naturalmente quentes a produção do clima urbano e a geração das ilhas de calor são responsáveis pela intensificação do desconforto térmico e pela diminuição da qualidade ambiental e de vida das pessoas.

II. CARACTERÍSTICAS DAS CIDADES ESCOLHIDAS PARA ESTUDO

A retirada da cobertura vegetal original associada à impermeabilização das superfícies urbanas e a concentração de edificações, resultam no aumento das temperaturas atmosféricas e superficiais (Amorim, 2000; Amorim, *et al.* 2009). Além desses fatores, devem ser considerados os materiais construtivos utilizados, que em muitos casos geram maior inércia térmica e desconforto humano.

Na maioria dos municípios brasileiros a vegetação natural ficou restrita a pequenas parcelas do território e mesmo nas cidades de pequeno e de médio porte, as características do clima local estão diretamente ligadas às formas de uso e ocupação da terra (Cruz, 2009; Frasca Teixeira & Amorim, 2013).

Rosana encontra-se a 22° 34’ 47” de latitude sul e 53° 03’ 33” de longitude a oeste. A sede municipal localiza-se a 236 metros de altitude e, aproximadamente, a 10km da confluência dos rios Paraná e Paranapanema, a 7km da margem do Paranapanema e a 1km do rio Paraná (fig.1). O rio Paraná é o limite territorial natural com o Estado do Mato Grosso do Sul a oeste, e o rio Paranapanema é o limite com o Estado do Paraná ao sul.

Segundo o Censo de 2010, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população de Rosana é de 19 691 habitantes, sendo que apenas 26% da população reside na sede do município e o restante, os outros 74% no distrito e em áreas rurais. O motivo pelo qual a população rural é maior que a urbana, deve-se ao fato de um distrito estar localizado aproximadamente a 15km da sede municipal, fora do núcleo urbano de Rosana. Esse distrito foi fundado para receber a população que serviu como mão de obra na construção da hidrelétrica de Primavera e é onde vive, portanto, a maior parte da população do município.

Presidente Prudente localiza-se à 22° 07' 04" de latitude sul e 51° 22' 57" de longitude oeste, com população de 207 610 habitantes (IBGE, 2010) e é sede da 10ª região administrativa do Estado de São Paulo. A paisagem urbana apresenta grande diversidade de ocupação da terra. Os bairros mais antigos (construídos entre as décadas de 1950 e 1970) são densamente construídos e com significativa cobertura vegetal arbórea nas calçadas e nos quintais. Por outro lado, as áreas residenciais que surgiram nas décadas de 1980/1990 são a grande maioria e apresentam-se com edificações esparsas, com gramado e vegetação arbórea. Neste grupo prevalecem os conjuntos habitacionais e loteamentos destinados à população de baixa renda com terrenos menores e materiais construtivos menos adequados ao conforto térmico e ambiental (paredes finas e coberturas de fibrocimento).

A cidade de Paranavaí localiza-se na porção noroeste do Estado do Paraná e possui população de 81 590 habitantes (IBGE, 2010). De acordo com Passos (2006), o noroeste do Paraná foi contemplado com uma concepção moderna de colonização: a construção de vias de circulação e o desenho de pequenos centros urbanos, “coordenados” por cidades de porte médio (Maringá, Paranavaí, Cianorte, Umuarama); ao mesmo tempo, o parcelamento dos lotes rurais obedeceu a uma concepção, cujo objetivo maior era o dinamismo da economia e das relações amplas determinantes para o desenvolvimento regional.

A cidade de Nova Andradina localiza-se na porção sudeste do Estado do Mato Grosso do Sul, com total de 45 585 habitantes (IBGE, 2010). Conforme esclarece Passos (2006) a ocupação do sudeste/sul mato-grossense foi consequência da capitalização observada nas áreas próximas e de ocupação anterior. O fato do capital “externo” se apropriar, majoritariamente, do espaço, tem um peso significativo (negativo) na gestão do território, ainda hoje. As desigualdades territoriais permanecem nas condições atuais e podem ser observadas, por exemplo, nos diferentes padrões construtivos verificados no ambiente intraurbano.

A preocupação em realizar estudos de clima nestas cidades justifica-se pela necessidade de se auxiliar o ordenamento territorial das mesmas, podendo, portanto, resultar em ações efetivas para a melhoria da qualidade ambiental urbana.

III. AS DIFERENTES ILHAS DE CALOR URBANAS

A ilha de calor urbana é definida como sendo uma área mais quente do que seus arredores. Ela é calculada considerando-se a diferença da temperatura entre o ambiente construído e o não construído no mesmo instante.

A literatura aponta três tipos de ilhas de calor urbanas em função da camada onde são encontradas: 1 – a ilha de calor superficial diagnosticada por meio do sensoriamento remoto, objeto deste artigo; 2 – a ilha de calor atmosférica inferior, que Oke (1978) denominou *urban canopy layer*, compreendida entre o nível do solo e o nível médio dos telhados. Neste caso, as temperaturas são medidas abaixo do nível do topo dos edifícios, por meio de diferentes procedimentos, tais como, transectos móveis (medidas itinerantes com veículos) e pontos fixos por meio de uma rede de estações meteorológicas inseridas na malha urbana e no ambiente rural ou apenas com registradores automáticos de temperatura instalados em locais escolhidos no intraurbano e rural de acordo com os objetivos e características das áreas; 3 – a ilha de calor da atmosfera urbana superior, denominada por Oke (1978) *urban boundary layer*. Esta se sobrepõe à anterior e se estende por vezes até à atmosfera livre. Trata-se, portanto, da parte superior da camada limite urbana, em que particularmente as características de temperatura, umidade, turbulência e composição da atmosfera são influenciadas pela presença da cidade (Oke, 1995).

No Brasil a Ilha de Calor Urbana (ICU) da atmosfera inferior tem sido a mais estudada e é, por essa razão, a mais conhecida. Os trabalhos realizados buscaram compreender os ritmos térmicos urbanos, assim como a intensidade e magnitude das ilhas de calor, além de sua distribuição espacial (Monteiro, 1990; Mendonça, 2015).

Os estudos sobre ilhas de calor de superfície são menos comuns no Brasil e podem ser realizados por meio de imagens de satélites ou por sensores termais instalados em aeronaves. O uso de imagens de satélite tem crescido devido ao desenvolvimento de satélites com alta resolução espacial. No Brasil, Lombardo (1985, p. 132), realizou estudo pioneiro utilizando-se de imagens do satélite NOAA/AVHRR, com a identificação de pico da temperatura de 25°C no centro da cidade de São Paulo em comparação com o ambiente do entorno densamente vegetado. Devido à resolução espacial desse satélite (1,1km), não foi possível o detalhamento das características térmicas intraurbanas. Voos em aeronaves especiais possibilitam análises mais detalhadas de temperaturas das superfícies, pois essas podem voar mais próximas ao solo e assim viabilizam a coleta de imagens com maior resolução, entretanto são caros e necessitam de autorização para voar a altitudes mais baixas do que é normalmente permitido.

Diversos autores (Sobrinho, Jiménez-Muñoz, & Paolini, 2004; Stathopoulou & Cartalis, 2007; Yuan & Bauer, 2007; Amorim *et al.*, 2009) tem utilizado imagens do Landsat (Land Remote Sensing Satellite) 5 e 7 (banda 6 do canal infravermelho termal com resoluções espaciais de 120 e 60 metros, respectivamente) e do Landsat 8, bandas 10 e 11, do 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). Voogt e Oke (2003) evidenciam que o sensoriamento remoto termal, tanto por meio de aeronaves como por satélites, tem propiciado novas formas de observações sobre as ilhas de calor, bem como a compreensão de suas causas e características. O sensoriamento remoto tem sido utilizado para avaliar temperaturas e outras características das superfícies, tais como, tipos de coberturas e pavimentos,

vegetação e solo nu. Isso é possível por meio da medição de energia refletida e emitida a partir dos objetos presentes na superfície. Mede-se com esses sensores a energia visível refletida e a radiação infra-vermelha térmica emitida pelos alvos.

A principal vantagem de se utilizar o sensoriamento remoto é sua capacidade de permitir a visualização de temperaturas em grandes áreas; entretanto, é possível obter apenas uma vista panorâmica de temperaturas superficiais, sem que seja viável se obter as temperaturas de paredes e sob a vegetação, por exemplo.

Voogt e Oke (1997) adicionaram informações verticais da temperatura aos dados coletados por sensoriamento remoto para gerar uma temperatura tridimensional.

No Brasil o número de trabalhos relacionados à ilha de calor que se utilizam do sensoriamento remoto tem crescido, particularmente nas regiões metropolitanas e em cidades de grande porte (Lombardo, 1985; Sousa & Baptista, 2005; Bias & Baptista, 2005; Andrade, Souza, Sakuragi, & Castro, 2007; Coltri, Velasco, Polizel, Demétrio, & Ferreira, 2007). Nos últimos anos as cidades de porte médio e pequeno têm sido alvo de estudos das temperaturas superficiais; dentre eles destacam-se: Amorim, *et al.* (2009), Cruz (2009), Amorim e Monteiro (2011), Amorim (2013), Dorigon e Amorim (2013), Ugeda (2013), Ortiz e Amorim (2013), Frasca e Amorim (2013), dentre outros. Dos trabalhos citados, Amorim, *et al.* (2009), Dorigon e Amorim, (2013), se referem a estudos realizados nas cidades objeto deste artigo. O primeiro analisa as características térmicas do clima urbano em duas cidades de médio porte: Rennes (França) e Presidente Prudente (Brasil), por meio de registros da temperatura do ar (pontos fixos e medidas itinerantes) e dados térmicos de superfície obtidos pelo tratamento de imagens do satélite Landsat 7, sendo diagnosticado o aumento das temperaturas, ligeiramente maiores em Rennes do que em Presidente Prudente e a geração de ilhas de calor urbanas (ICU), decorrentes do processo de urbanização nas duas cidades. O segundo mostrou as diferenças térmicas dos alvos em Paranavaí, que atingiram mais de 13°C em relação ao ambiente rural.

IV. OS PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

Para a geração dos mapas de temperatura da superfície das cidades em questão foram utilizadas imagens 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 United States Geological Survey (USGS).

Os procedimentos para a obtenção das temperaturas em grau Celsius (°C) na imagem de satélite foram realizados no software IDRISI Taiga, 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.

As equações e parâmetros foram obtidos no sítio da USGS e serão apresentados a seguir.

$$L\lambda = MLQcal + AL \quad (1)$$

Onde:

$L\lambda$ = Radiância do topo da atmosfera (Watts/(m² * srad * μm));

ML = Fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (Radiance_Mult_Band_x, onde x é o número da banda);

AL = Fator aditivo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (Radiance_Add_Band_x, onde x é o número da banda);

Qcal = Valores de pixel quantificados e calibrados do produto padrão (DN).

Depois desta primeira fórmula foi feita a correção atmosférica das imagens segundo os princípios disponibilizados pela *Atmospheric Correction Parameter Calculator*, a qual fornece valores locais para *Transmittance*, *Upwelling Radiance* e *Downwelling Radiance*. Para isso foram incluídos os dados da estação meteorológica automática do INMET localizada na FCT/UNESP de Presidente Prudente. De acordo com Coll, *et al.* (2010), a equação 2 se aplica à correção atmosférica específica da cena.

$$CV_{R2} = \frac{CV_{R1} - L\uparrow}{\epsilon\tau} - \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} L\downarrow \quad (2)$$

Onde (Coll *et al.* (2010):

CV_{R2} – valor da célula da correção atmosférica como radiância

CV_{R1} – valor da célula como radiância da seção 1

$L\uparrow$ – upwelling radiance

$L\downarrow$ – downwelling radiance

τ – transmitância

ϵ – emissividade (0,95).

Após a correção atmosférica, aplicou-se a equação 3 para converter os valores em temperatura Kelvin:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

Onde (USGS, 2015),

T = Temperatura efetiva no satélite em Kelvin;

K2 = Constante de calibração 2 – valor – 1 321,08;

K1 = Constante de calibração de 1 – valor – 774,89;

L = Radiância espectral, em Watts / (metro quadrado ster * * mm).

Para gerar a grade de temperatura da superfície em graus Celsius (°C), os valores de temperatura em Kelvin foram subtraídos de 273.15.

Neste artigo, optou-se por apresentar as intensidades das ilhas de calor superficiais nas quatro cidades estudadas. Para isso, foram consideradas as diferenças das temperaturas intraurbanas em relação aos ambientes rurais próximos, e não os valores absolutos das temperaturas superficiais. Portanto, partiu-se da menor temperatura registrada na cena, sendo esta considerada como o ponto “0” e, a partir dela, foram calculadas as diferenças de temperaturas dos alvos (por pixel), para que fosse possível reconhecer um padrão de aquecimento nos ambientes intraurbanos e rurais próximos.

Para a elaboração dos mapas de uso da terra foram utilizadas as bandas 3, 5 e 4 do Landsat 8, respectivamente *Green*, *Near Infrared* e *Red*, com o objetivo de elaborar mapas de composição colorida que diferenciam as áreas urbanas e rurais e, juntamente com trabalhos de campo e conhecimento das cidades, auxiliaram na classificação do uso da terra.

Na sequência, por meio da junção das bandas 4 e 5 foram geradas os mapas de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), que permitiram identificar a densidade de vegetação e sua distribuição.

Utilizando-se das bandas 3, 5, e 4 do Landsat 8 e das cartas de NDVI se processou a classificação automática do uso da terra, no Idrisi, por *Cluster*.

A partir da classificação inicial se realizou o agrupamento das classes e a classificação final foi reduzida em três classes levando-se em consideração o elemento que predominou em cada pixel: construções, vegetação rasteira e vegetação arbórea. Essas classes foram escolhidas por serem fundamentais para diferenciarem as temperaturas e contribuir para a geração das ilhas de calor urbana. A classe “vegetação arbórea” reuniu as áreas verdes urbanas nos parques e nos fundos de vale. A “vegetação rasteira” considerou as pastagens, os terrenos urbanos sem construções e com presença de gramados. A classe “construções” agrupou todas as áreas impermeabilizadas tanto com alta, média e baixa densidade de construções como as vias pavimentadas.

Para a delimitação das áreas onde as cidades estão inseridas nas imagens de satélite, foram importadas e sobrepostas as bases cartográficas contendo os limites dos setores censitários, disponibilizadas pelo IBGE.

Com a disponibilidade de informações geradas através do sensoriamento remoto do canal infravermelho termal e por meio dos mapas de uso da terra, foram verificadas as diferenças das temperaturas dos alvos no ambiente urbano da imagem tomada no dia 19/01/2014, para as cidades de Paranavaí, Nova Andradina e Rosana, da órbita 223, ponto 76 (13h30m GMT). Cabe informar que estas três cidades localizam-se na mesma cena e para Presidente Prudente não havia imagem do mesmo dia, pois ela está em outra cena mais precisamente na órbita 222, ponto 75, sendo utilizada, portanto, a imagem disponível do dia 28/01/2014 às 13h23m (GMT).

As informações sobre o horário da captura das imagens e os dados registrados em estações meteorológicas são importantes porque nas termais tomadas em um dia de fraca insolação, as superfícies dos materiais terão temperaturas mais baixas e emitirão intensidades menores de energia radiante do que num dia de alta insolação. Consequentemente,

as duas imagens apresentarão diferentes tons de cinza para os mesmos alvos, dando a impressão que ocorreu alguma variação ou mudança dos alvos entre as duas datas de tomadas das imagens (Baptista, 2012). Deste modo, a viabilidade do uso das imagens termais em dias diferentes depende do conhecimento das condições atmosféricas no momento da tomada da imagem, a fim de se corrigir a radiância da cena (Coll, *et al.*, 2010), conforme descrito anteriormente.

V. TEMPERATURAS DA SUPERFÍCIE EM CIDADES DE PORTE MÉDIO E PEQUENO DO AMBIENTE TROPICAL

Nos dias de tomada das imagens de satélite do Landsat 8 utilizadas nesta pesquisa, não houve registro de precipitação, o céu estava sem nuvens e segundo os dados da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada em Presidente Prudente (quadro I), as temperaturas máximas se aproximaram dos 33°C e a umidade relativa em torno de 60%. No horário próximo à passagem do satélite (10h00m – hora local), as temperaturas estavam em torno de 26,5°C. As condições atmosféricas estavam muito parecidas nos dois dias, com ventos fracos do quadrante sudeste, o que permite a comparação das diferenças de temperaturas dos alvos entre as cidades com cenas tomadas em dias diferentes.

Quadro I – Dados Diários da Estação Meteorológica do INMET localizada em Presidente Prudente.

Table I – Daily Data of the INMET Meteorological Station located in Presidente Prudente.

Data	T Média °C	T 10h °C	UR Média %	T Min °C	T Max °C	Pressão atm hPa	Vel. Vento m/s	Prec. mm	Dir. Vento Grau	Vel. Max m/s
19-jan-2014	26,9	26,7	58,8	21,7	32,8	962,7	1,5	0,0	109,9	6,4
28-jan-2014	25,9	26,6	63,5	21,3	32,9	964,9	0,9	0,0	100,2	8,5

Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

As imagens do satélite meteorológico GOES, disponibilizadas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) mostraram que nos dias 19 e 28 de janeiro de 2014, os estados de São Paulo, Paraná e sudeste do Mato Grosso do Sul, onde estão localizadas as cidades estudadas, não havia cobertura de nuvens, possibilitando a tomada das imagens com boa qualidade.

O total de precipitação no mês de janeiro de 2014 foi de 188,4mm, distribuídos em 17 dias. No mês de dezembro de 2013, o total foi de 127,2mm. Essas informações são importantes porque a vegetação depende da precipitação para não secar. Portanto, a vegetação cobrindo o solo e as árvores com folhas bem desenvolvidas possibilitam que o

campo apresente menor amplitude térmica, com exceção das áreas com solo exposto. A superfície coberta por vegetação tem maior capacidade térmica e precisa de maior quantidade de energia para que sua temperatura aumente 1°C quando comparados com os materiais presentes no ambiente urbano.

Segundo Jensen (2009) o solo coberto por vegetação perde energia através da evaporação e da evapotranspiração que transforma calor sensível em calor latente e o transfere para a atmosfera sem que ocorra aumento de temperatura. Desta forma, no campo coberto pela vegetação, mesmo que predominantemente rasteira, a temperatura será menor. Já nos períodos de estiagem, além da diminuição da umidade do solo, há o declínio da vegetação e, conseqüentemente, da evaporação e da evapotranspiração. Com o solo exposto a temperatura da superfície tende a ser mais elevada do que as do ambiente urbano. O albedo é reduzido em superfícies de solo exposto e reflete menos radiação de pequeno comprimento de onda.

Todos os objetos que compõem a superfície terrestre são fontes emissoras de radiação eletromagnética com intensidades de emitância proporcionais à sua temperatura de superfície (Baptista, 2012). Deste modo, o uso do sensoriamento remoto permite verificar a temperatura dos alvos dependendo do tipo de uso e cobertura da terra. Com a disponibilidade de informações geradas através do tratamento da imagem do canal infravermelho termal foi possível calcular as diferenças das temperaturas dos alvos nos ambientes urbanos, com o propósito de diagnosticar a intensidade das ilhas de calor superficiais nas quatro cidades em questão. Jensen (2009), exemplifica através de algumas avaliações realizadas em pesquisas utilizando essas técnicas que as áreas comerciais podem apresentar durante o dia temperaturas mais altas e as mais baixas podem ficar restritas aos corpos d'água, vegetação e terras de uso agrícola. Entretanto, salienta que áreas residenciais podem apresentar temperaturas intermediárias pela composição heterogênea de casas, gramas e coberturas arbóreas.

Os contrastes de temperaturas entre os ambientes rurais e urbanos ficaram evidentes neste estudo e podem ser entendidos quando são analisados os mapas de uso da terra gerados a partir das bandas 3, 4, 5 do satélite Landsat 8, conforme descrito nos procedimentos da pesquisa. Para se identificar as diferenças de temperaturas dos alvos entre as cidades e para se avaliar a capacidade de cada uma delas em propiciar o aumento das temperaturas, subtraiu-se de cada pixel dos recortes utilizados para cada cidade a menor temperatura absoluta registrada nas áreas arborizadas, normalmente localizadas nos ambientes rurais próximos às malhas urbanas, chegando-se, portanto, nas intensidades das ilhas de calor superficiais urbanas. Deste modo, a temperatura "0"°C foi atribuída para o menor valor absoluto registrado em cada recorte e a partir dela foram calculadas as diferenças produzidas em cada alvo.

Na comparação dos mapas de uso da terra (fig. 2, 4, 6, 8) e de intensidade das ilhas de calor superficiais (fig. 3, 5, 7, 9), percebeu-se claramente a influência e a importância da presença da vegetação para a diminuição da temperatura da superfície.

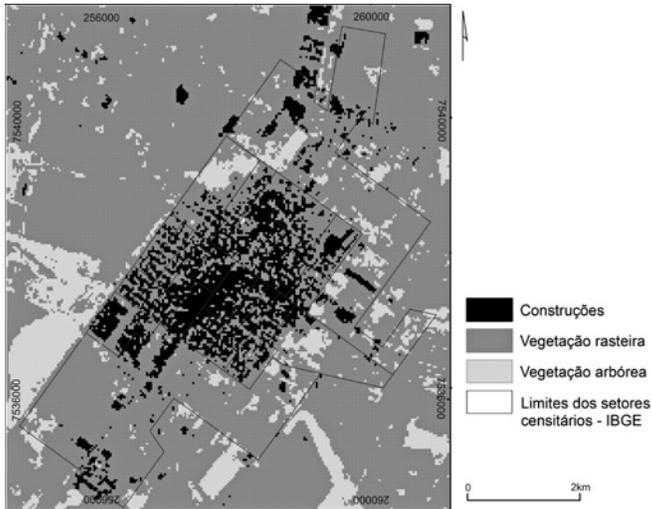


Fig. 2 – Nova Andradina (MS): Carta de uso da terra gerada a partir das bandas 3, 4 e 5 do Landsat-8 de 19/01/2014.

Fig. 2 – Nova Andradina (MS): Land use chart generated based on band 3, 4 and 5 of Landsat-8 of 1/19/2014.

Fonte: Original image source: <http://earthexplorer.usgs.gov/> – WRS 223-076

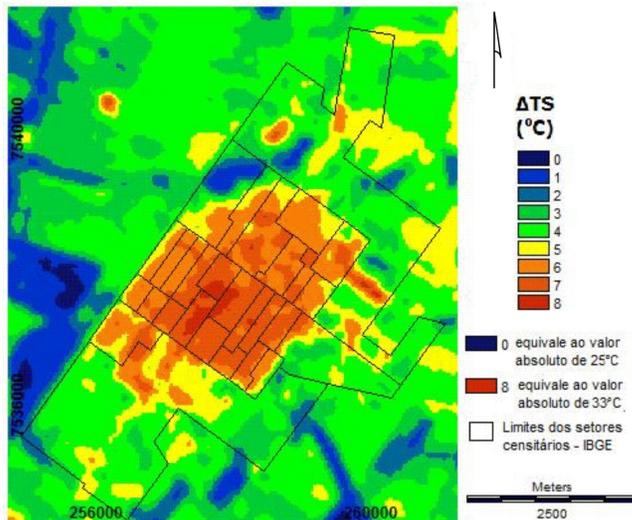


Fig. 3 – Nova Andradina (MS): Carta da intensidade da ilha de calor superficial gerada a partir da imagem do canal infravermelho termal (banda 10) do Landsat-8 de 19/01/2014.

Figura a cores disponível online.

Fig. 3 – Nova Andradina (MS): Intensity of surface heat island chart generated based on image of the thermal infrared channel (band 10) of Landsat-8 of 1/19/2014. Colour figure available online.

Fonte : Original image source: <http://earthexplorer.usgs.gov/> – WRS 223-076

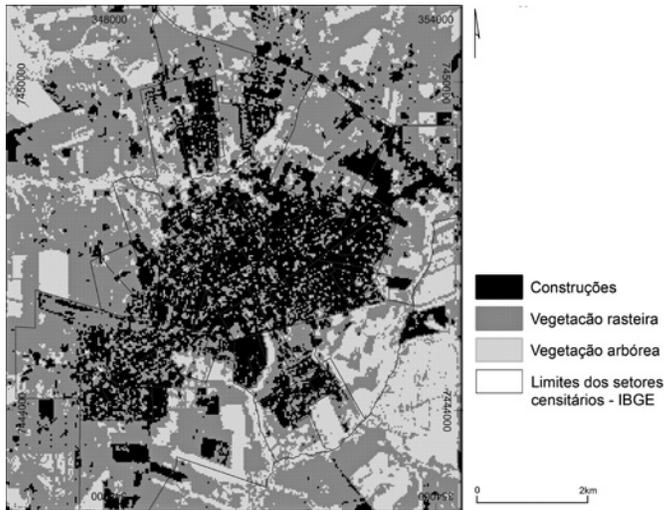


Fig. 4 – Paranavaí (PR): Carta de uso da terra gerada a partir das bandas 3, 4 e 5 do Landsat-8 de 19/01/2014.

Fig.4 – Paranavaí (PR): Land use chart generated based on band 3, 4 and 5 of Landsat-8 of 1/19/2014.

Fonte: Original image source: <http://earthexplorer.usgs.gov/> – WRS 223-076

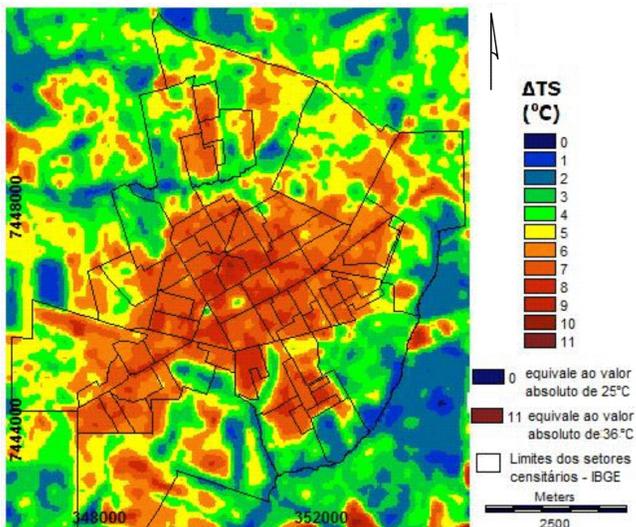


Fig. 5 – Paranavaí (PR): Carta da intensidade da ilha de calor superficial gerada a partir da imagem do canal infravermelho termal (banda 10) do Landsat-8 de 19/01/2014.

Figura a cores disponível online.

Fig. 5 – Paranavaí (PR): Intensity of surface heat island chart generated based on image of the thermal infrared channel (band 10) of Landsat-8 of 1/19/2014. Colour figure available online.

Fonte : Original image source: <http://earthexplorer.usgs.gov/> – WRS 223-076

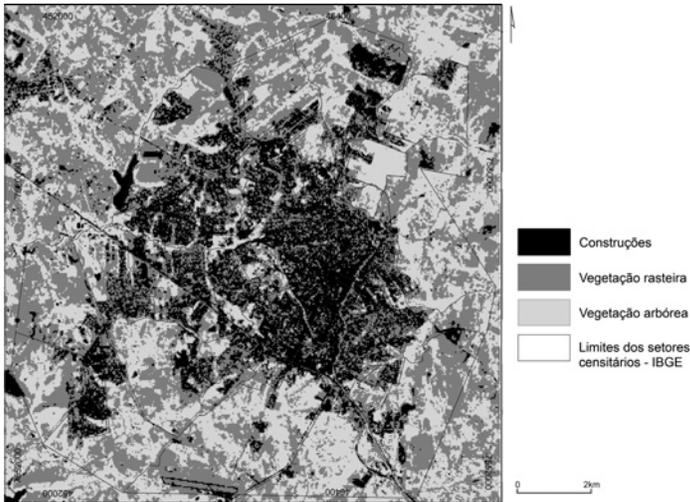


Fig. 6 – Presidente Prudente (SP): Carta de uso da terra gerada a partir das bandas 3, 4 e 5 do Landsat-8 de 28/01/2014.

Fig.6 – Presidente Prudente (SP): Land use chart generated based on band 3, 4 and 5 of Landsat-8 of 1/28/2014.

Fonte: Original image source: <http://earthexplorer.usgs.gov/> – WRS 223-076

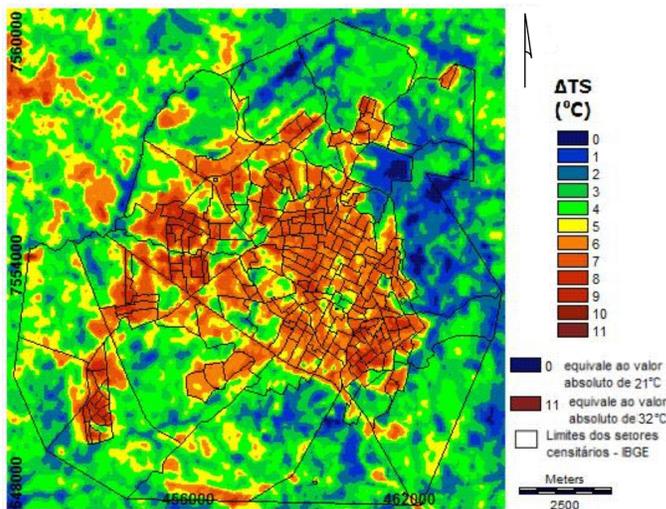


Fig. 7 – Presidente Prudente (SP): Carta da intensidade da ilha de calor superficial gerada a partir da imagem do canal infravermelho termal (banda 10) do Landsat-8 de 28/01/2014.

Figura a cores disponível online.

Fig. 7 – Presidente Prudente (SP): Intensity of surface heat island chart generated based on image of the thermal infrared channel (band 10) of Landsat-8 of 1/28/2014. Colour figure available online.

Fonte : Original image source: <http://earthexplorer.usgs.gov/> – WRS 222-075

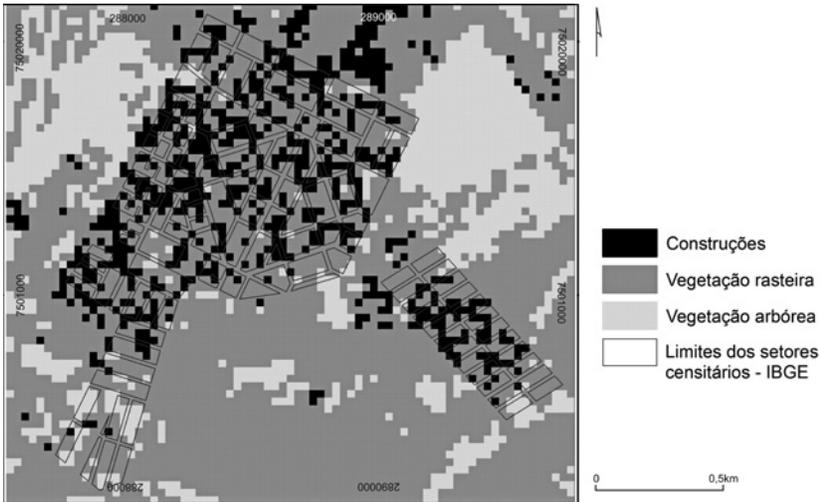


Fig. 8 – Rosana (SP): Carta de uso da terra gerada a partir das bandas 3, 4 e 5 do Landsat-8 de 19/01/2014.

Fig. 8 – Rosana (SP): Land use chart generated based on band 3, 4 and 5 of Landsat-8 of 1/19/2014.

Fonte: Original image source: <http://earthexplorer.usgs.gov/> – WRS 223-076

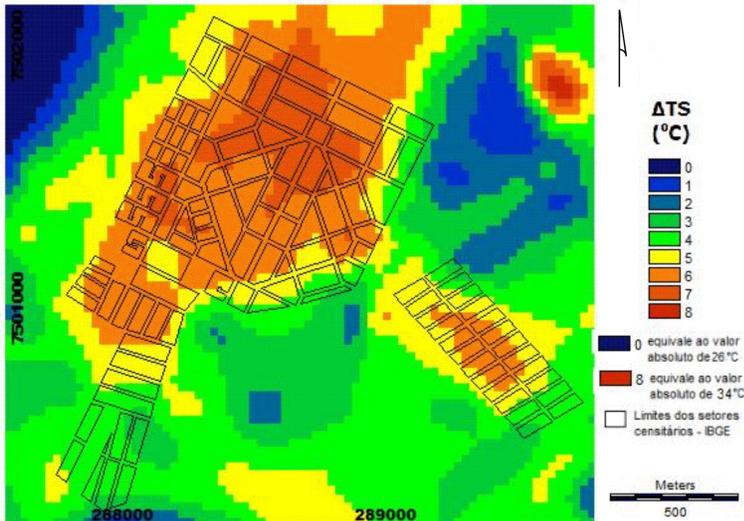


Fig. 9 – Rosana (SP): Carta da intensidade da ilha de calor superficial gerada a partir da imagem do canal infravermelho termal (banda 10) do Landsat-8 de 19/01/2014. Figura a cores disponível online.

Fig. 9 – Rosana (SP): Intensity of surface heat island chart generated based on image of the thermal infrared channel (band 10) of Landsat-8 of 1/19/2014. Colour figure available online.

Fonte: Original image source: <http://earthexplorer.usgs.gov/> – WRS 223-076

As imagens termais originalmente tratadas apresentaram temperaturas absolutas que variaram entre 25°C e 33°C para Nova Andradina, entre 25°C e 36°C para Paranavaí, entre 21°C e 32°C para Presidente Prudente e entre 26°C e 34°C para Rosana, conforme indicados nas legendas dos mapas de intensidade das ilhas de calor (fig. 3, 5, 7, 9).

Uma observação importante a ser feita é que as imagens apresentaram valores absolutos de temperaturas dos alvos que se assemelharam entre si e as diferenças intraurbanas (entre os pontos mais quentes e mais frios) estiveram relacionadas com os tipos de materiais de cobertura da superfície. Por exemplo, em Presidente Prudente e Paranavaí, as maiores cidades dentre as quatro analisadas, foram constatadas as maiores intensidades das ilhas de calor superficiais que atingiram 11°C (fig. 7 e 5). Esse fato decorre das menores temperaturas (21°C e 25°C) terem sido registradas em áreas de cobertura vegetal arbórea, localizadas em áreas do ambiente rural próximo (fig. 6 e 4). As outras duas cidades apresentaram temperaturas mínimas dos alvos de 25°C (Nova Andradina) e 26°C (Rosana). Em todos os mapas de intensidade das ilhas de calor superficiais foram registradas as menores temperaturas nas áreas com as maiores densidades de cobertura vegetal. Já no que diz respeito às maiores temperaturas, todas as cidades apresentaram valores muito próximos (34°C para Rosana, 33°C para Nova Andradina, 32°C para Presidente Prudente e 36°C para Paranavaí), porque os materiais utilizados nas coberturas dos telhados são muito parecidos (cerâmica, telhados metálicos e de fibrocimento).

Deste modo, as cartas de intensidades das ilhas de calor superficiais representativas do verão mostram que as áreas urbanas se apresentaram mais aquecidas do que as rurais. Esta característica é decorrente da substituição dos elementos naturais como a vegetação, por materiais construtivos que armazenam maior quantidade de energia, tendo, portanto, albedo mais baixo.

Devido à propriedade de emissividade dos materiais presentes nas superfícies, os sensores do infravermelho termal registram a intensidade da radiação equivalente à temperatura radiante aparente do terreno, e não a temperatura cinética verdadeira. A temperatura cinética verdadeira, que é medida com um termômetro é a que mede o grau de movimento ou de agitação das moléculas. Como efeito desse fenômeno, os objetos emitem radiação eletromagnética (Baptista, 2012).

Portanto, quando o sensor termal mede essa energia emitida, ele não está medindo a temperatura cinética do objeto, como se faz com o termômetro, mas a temperatura radiométrica. Segundo Baptista (2012), a lei de Stefan-Boltzmann é válida para objetos que são emissores perfeitos (corpos negros). Para compensar a diferença das fontes corpos negros com as fontes naturais, basta acrescentar a ela o valor de emissividade correspondente a cada material.

A emissividade varia entre 0 a <1, deste modo, a temperatura radiométrica medida no sensor sempre será inferior à temperatura cinética real do objeto. Os materiais com emissividades próximas a 1 exibem temperaturas radiométricas mais próximas a de suas temperaturas cinéticas (Baptista, 2012).

Na ausência de nuvens, a radiação emitida pela atmosfera em comprimento de onda longa e recebida pela superfície depende da temperatura e da emissividade da atmosfera

de acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann (Lopes, 2003). A radiação emitida pela superfície é governada pela mesma lei e depende também da sua emissividade e temperatura. Deste modo, há uma parte da radiação em onda longa incidente que é refletida pela superfície. Como a emissividade das superfícies na cidade é tipicamente superior a 0,90 a reflexão em onda longa é muito fraca.

Em estudo realizado por Amorim (2014), verificou-se que o tempo de resposta entre as temperaturas dos alvos e a temperatura do ar é diferente entre o ambiente rural e o urbano. As temperaturas do ar e do alvo no pixel onde a estação meteorológica estava instalada no ambiente rural, com predomínio de vegetação rasteira, foram praticamente as mesmas, ou seja, registrou-se 27°C no alvo (às 10h24m hora local) e 27, 6°C no ar às 10h00m. No ambiente urbano o tempo de resposta entre o ar e o alvo foi diferente. A temperatura do ar medida na área construída ficou muito próxima ao que foi registrado no alvo apenas duas horas depois da captura da imagem de satélite (12h00m), sendo que no horário da passagem do satélite (10h24m hora local) a temperatura do alvo estava em 33°C e a do ar em 29,5°C. Esta diferença no tempo de resposta é consequência das características termodinâmicas das superfícies nas áreas construídas e não construídas.

A reflexão terrestre e a radiação emitida pela superfície são comandadas por fatores locais, a primeira pelo albedo e a segunda pela temperatura de superfície e emissividade (Lopes, 2003). O balanço radiativo é a principal entrada de energia de um sistema, mas não é o seu resultado final. Ele é contrabalançado pelas trocas energéticas entre as superfícies e a atmosfera efetuadas pelos fluxos convectivos de calor sensível, de calor latente e pela condução de calor do, ou para o solo (Lopes, 2003).

Devido a cor escura do solo exposto, ele tem albedo reduzido e retém mais calor e por este motivo, suas temperaturas se assemelham às áreas densamente construídas e com materiais de cobertura inadequados ao ambiente tropical por armazenarem mais energia.

Os materiais construtivos utilizados nos ambientes urbanos, particularmente nos telhados, são os principais responsáveis pelo calor produzido tanto no interior quanto no entorno das edificações. Este calor é determinado pelo albedo (refletância) e pela emissividade dos materiais. O albedo representa a parte da radiação solar incidente, que é refletida pelo material, enquanto a emissividade determina o desempenho térmico caracterizado pela temperatura superficial (Ferreira & Prado, 2003).

Deste modo, quando expostas à radiação solar, as superfícies com elevado albedo e emissividade tendem a permanecerem mais frias. Isso ocorre porque elas absorvem menos radiação e emitem mais radiação térmica para o espaço, transmitindo menos calor para seu entorno. Entretanto, quanto menor for o albedo e a emissividade maior será a absorção de calor e sua permanência no ambiente de entorno.

Nas quatro cidades estudadas prevalece o uso de três tipos de materiais de cobertura: as telhas cerâmicas, as de fibrocimento e as metálicas (alumínio, zinco e aço galvanizado). As coberturas cerâmicas são mais utilizadas em residências de classe média e alta, as de fibrocimento prevalecem nos bairros e conjuntos habitacionais de população de baixa renda e as metálicas nas edificações comerciais e industriais.

Devido às suas propriedades físicas, os materiais de cobertura apresentam as respostas térmicas que podem ser observadas na quadro II.

Quadro II – Temperatura superficial dos materiais (ASTM E 1980-98).

Table II – Surface temperature of materials (ASTM E 1980-98).

Material	Albedo (a)	Emissividade (e)	Temperatura superficial (°C)	Diferença de temperatura entre o ar e o material
Cerâmica vermelha	0,53	0,9	36,8	-0,1
Cerâmica branca	0,54	0,9	36,2	-0,6
Fibrocimento	0,34	0,9	47,1	+10,3
Alumínio s/ pintura	0,57	0,05	69,4	+32,6
Alumínio cores claras	0,40-0,47	0,9	40,1-43,3	de +3,2 a +6,5
Alumínio cores escuras	0,26-0,38	0,9	45,0-51,4	de +8,1 a +14,5
Aço galvanizado s/ pintura	0,57	0,25	57,9	+21,1

Fonte: Adaptado de Ferreira e Padro (2003, p. 10)

Cabe destacar que ao longo do dia as temperaturas das superfícies urbanas são mais variantes do que as temperaturas do ar. À noite essas superfícies liberam o calor acumulado, geralmente voltando à temperatura original do ar (Gartland, 2010). Inversamente, árvores, vegetação rasteira e arbustos tendem a se manter frescos sob a incidência dos raios solares, com temperaturas iguais ou inferiores à temperatura do ar, desde que devidamente hidratadas (Gartland, 2010). Essas características foram claramente verificadas nas cidades objeto desta investigação, conforme pode-se comparar nos mapas de uso da terra e de intensidade das ilhas de calor.

As ilhas de calor de superfície atingiram magnitudes elevadas considerando-se os fragmentos de vegetação do ambiente rural, com as menores temperaturas, e áreas construídas com intensidades de até 8°C para Nova Andradina, 8°C para Rosana, 11°C para Presidente Prudente e Paranavaí. As áreas com as maiores temperaturas nos ambientes urbanos estiveram associadas com os materiais construtivos utilizados nas coberturas, particularmente onde havia o predomínio de telhados de fibrocimento e de zinco, com alta densidade das construções, onde os terrenos são completamente impermeabilizados e carentes de cobertura vegetal arbórea.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos em cidades médias e pequenas têm se pautado no fato de que, assim como nos grandes centros urbanos, em aglomerações com menores dimensões territoriais e complexidades do ponto de vista de sua estruturação, tem sido observado fortes transformações na paisagem natural, materializadas através de diferentes formas de poluição do ar, água, solo e subsolo, além de transformações na morfologia e estrutura do ambiente urbano. Rios e córregos são canalizados ou têm seus cursos alterados; a morfologia é

modificada através de aterros e construções; a vegetação é retirada; e a associação das atividades urbanas com a forma de ocupação da terra, provocam alterações nos elementos climáticos.

Partindo-se do conceito de ilha de calor de superfície (Voogt & Oke, 2003) que considera as diferenças entre as temperaturas dos alvos registradas nos materiais urbanos (pavimentos, telhados das edificações, cobertura vegetal, etc.) e o ambiente rural, por meio do sensoriamento remoto, verificou-se que as cidades estudadas possuem elevadas intensidades de ilhas de calor de superfície, que atingiram 11°C em Presidente Prudente e Paranavaí e 8°C em Nova Andradina e Rosana.

Deste modo, este estudo evidenciou que tanto nas cidades de porte médio (Presidente Prudente e Paranavaí) como nas pequenas (Nova Andradina e Rosana) as alterações na superfície proporcionaram ilhas de calor superficiais com intensidades que se assemelham às grandes cidades.

A geração das ilhas de calor urbanas mesmo em cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical depende da interação entre a radiação recebida e a refletida dos tipos de materiais construtivos de edificações com diferentes usos, tais como, residenciais, comerciais e industriais.

O sensoriamento remoto, por meio das imagens termais, tem se mostrado um importante instrumento para o diagnóstico das ilhas de calor urbanas. As relações entre as ilhas de calor atmosféricas e superficiais não foram objeto de análise neste artigo, entretanto, tais relações já foram comprovadas em diversos estudos (Imamura, 1989; Stoll & Brazel, 1992; Kawashima, Ishida, Minomura, & Miwa, 2000). Diante disto, o desconforto térmico, que em sua análise considera principalmente as características da temperatura do ar e da umidade relativa, é intensificado pela geração das ilhas de calor nessas cidades do ambiente tropical, que são naturalmente quentes, na maior parte do ano.

Deste modo, as ilhas de calor superficiais que também refletem no aumento da temperatura do ar (Stoll & Brazel, 1992), podem contribuir para efeitos diretos sobre a mortalidade e morbidade devido ao grande número de pessoas expostas. Essas relações pouco têm sido estudadas no Brasil, entretanto, a influência das altas temperaturas sobre a morbidade e mortalidade foi demonstrada em diversos estudos, dentre eles destaca-se o realizado por Díaz, *et al.*, 2002. Neste estudo verificou-se a existência de algumas condições críticas a partir das quais a mortalidade aumenta (Garcia, 2009).

Além das questões relacionadas à saúde dos cidadãos, as temperaturas elevadas interferem no aumento do consumo de energia, particularmente no verão.

Na realidade brasileira e, particularmente, nas cidades estudadas, há parcela significativa da população de baixa renda que tem sua situação agravada na medida em que, por falta de opção, se utiliza de materiais construtivos pouco adequados, como os telhados de fibrocimento, além de ocuparem lotes pequenos, completamente construídos, impermeabilizados e sem cobertura vegetal nas calçadas e no interior dos lotes. Tais fatores contribuem para os efeitos adversos do calor armazenado nas edificações, expondo essas pessoas a situações de insalubridade que podem se manifestar na forma de enfermidades como doenças respiratórias e do aparelho circulatório. Características diferentes são verificadas

em bairros ricos, que possuem lotes grandes, coberturas de cerâmica vermelha ou branca, áreas permeáveis e com cobertura de vegetação nas calçadas e no interior dos lotes.

Diante desses fatos, evidencia-se a importância de se realizar o estudo nessas quatro cidades, porque mesmo nas de pequeno porte, existem especificidades climáticas que precisam ser consideradas pelo planejamento territorial para que sejam tomadas medidas que possam amenizar situações de desconforto térmico.

Considerando-se as altas intensidades das ilhas de calor superficiais diagnosticadas nos ambientes urbanos em questão, sugerem-se algumas medidas para amenizá-las e dentre elas destacam-se: a necessidade de plantio de árvores com espécies adequadas ao ambiente tropical; a utilização de materiais construtivos adequados que não exijam tanto a climatização dos ambientes internos; ao se implantar novos loteamentos, deve-se considerar as características climáticas, evitando-se a impermeabilização generalizada do solo e a edificação em toda a área do terreno, propiciando maior quantidade de áreas permeáveis no ambiente urbano.

Tais medidas podem contribuir para que as cidades sejam mais confortáveis e saudáveis resultando na melhoria da qualidade de vida das pessoas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim, M. C. C. T. (2014, outubro). As temperaturas da superfície e do ar: contribuições aos estudos de clima urbano [Surface and air temperatures: contributions to urban climate studies]. In *X Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, V Simpósio Paranaense de Climatologia, Reunião da CoC-UGI, 2014, Curitiba. Anais do X Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica*. Curitiba: UFPR.
- Amorim, M. C. C. T. (2013, abril). O clima urbano a partir do sensoriamento remoto e de registros da temperatura do ar [The urban climate from remote sensing and air temperature records]. In *Anais XIV Encuentro de Geógrafos de América Latina: reencuentro de saberes territoriales latino-americanos, 2013, Lima*. Lima/Peru: UGI.
- Amorim, M. C. C. T. (2000). *O clima urbano de Presidente Prudente/SP* [The urban climate of Presidente Prudente/SP]. (PhD thesis). São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo/Brasil.
- Amorim, M. C. C. T., Dubreuil, V., Quenol, H., & Sant'anna Neto, J. L. (2009). Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França) [Characteristics of heat islands in medium-sized cities: examples of Presidente Prudente (Brazil) and Rennes (France)]. *Confins*, 7, 1-16.
- Amorim, M. C. C. T., & Monteiro, A. (2011). As temperaturas intraurbanas: exemplos do Brasil e de Portugal [The intra-urban temperatures: examples from Brazil and Portugal]. *Confins*, 13, 1-18.
- Andrade, L. L., Souza, L. H., Sakuragi, J., & Castro, R. M. (2007). Estudo de ilhas de calor na cidade de São José dos Campos utilizando o canal infravermelho termal do Landsat-5 e o aerotransportado HSS [Study of heat islands in the city of São José dos Campos using the thermal infrared channel of Landsat-5 and the airborne HSS]. In *Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Santa Catarina, Florianópolis: INPE.
- American Society for Testing and Materials (1996). *Standart test method for solar absorptance, reflectance, and trasmitance or materials using integrating spheres* – ASTM E 903. United States: American Society for Testing and Materials.
- Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *Int. J. Climatol.*, 23(1), 1-26.

- Baptista, G. M. de M. (2012). Sensores Imageadores na Faixa Termal (8 – 14 μm) [Image sensors in the thermal band (8 – 14 μm)]. In P. R. Meneses, & T. Almeida (Org.), *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto* [Introduction to Remote Sensing Image Processing] (pp. 47-56). Brasília: UnB/CNPq.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE – Mapas IBGE – Atlas Escolares [IBGE Maps – School Atlas]. Retrieved from: http://www.ibge.gov.br/mapas_ibge/atlas.php (acesso, janeiro de 2015)
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE – Cidades [Cities]. Retrieved from: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm>
- Bias, E. S., & Baptista, G. M. M. (2005). A análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos [The analysis of the phenomenon of urban heat islands, through the combination of Landsat and Ikonos data]. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia. Goiás: INPE.
- Coll M, Piroddi C, Steenbeek J, Kaschner K, Ben Rais Lasram F, Aguzzi J, et al. (2010) The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats. *PLoS ONE* 5(8): e11842. doi.org/10.1371/journal.pone.0011842
- Coltri, P. P., Velasco, G.D.N., Polizel, J.L., Demétrio, V.A., & Ferreira, N.J. (2007). Ilhas de calor da estação de inverno da área urbana do município de Piracicaba, SP [Heat islands of the winter season the urban area of Piracicaba, SP]. In *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Santa Catarina, Florianópolis: INPE.
- Cruz, G. C. F. (2009). *Clima urbano de Ponta Grossa – PR: uma abordagem da dinâmica climática em cidade média subtropical brasileira* [Urban climate of Ponta Grossa – PR: an approach of climatic dynamics in a Brazilian subtropical middle city]. (PhD thesis). São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo/Brasil.
- Díaz, J., Jordán, A., García, R., López, C., Alberdi, J. C., Hernández, E., & Otero, A. (2002). Heat waves in Madrid 1986-97: effects on the health of the elderly. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 75, 163-70.
- Dorigon, L.P., & Amorim, M.C.C.T. (2013). Estrutura térmica da superfície de Paranavaí/PR através do Landsat 7 [Thermal structure surface of Paranavaí / PR through Landsat7]. *Caderno Prudentino de Geografia*, 2, 110-129.
- Dubreuil, V., Quenol H., Foissard, X., & Planchon, O. (2010). Climatologie urbaine et îlot de chaleur urbain à Rennes [Urban Climatology and Urban Heat Island in Rennes]. In P. Clergeau (Dir.), *Ville et biodiversité: les enseignements d'une recherche pluridisciplinaire* [City and Biodiversity: Lessons of a multidisciplinary research] (pp. 105-122). Presses Universitaires de Rennes.
- Ferreira, F. L., & Prado, R.T.A. (2003). Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil [Measurement of albedo and analysis of its influence on the surface temperature of materials used in roofs of buildings in Brazil]. São Paulo: *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP*, 351, 1-12.
- Frasca Teixeira, D. C., & Amorim, M. C. C. T. (2013). Estudo do Clima Urbano a partir da Análise da Temperatura da Superfície no Município de Rancheira-SP [Study of the Urban Climate from the Analysis of Surface Temperature in the Municipality of Rancheira-SP]. In *XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. Vitória: UFES.
- García, F. F. (2009). Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid [City and climate change: general aspects and application to the metropolitan area of Madrid]. *Investigaciones Geográficas*, 49, 173-195.
- Gartland, L. (2010). *Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas* [Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas]. São Paulo: Oficina de Textos.
- Jensen, J. R. (2009). *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres* [Remote sensing of the environment: an earth resource perspective]. 2 ed. São José dos Campos: Parenteses.
- Kawashima, S., Ishida, T., Minomura, M., & Miwa, T. (2000). Relations between surface temperature and air temperature on a local scale during winter nights. *Journal of Applied Meteorology*, 39, 1570-1579.

- Lombardo, M. A. (1985). *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo* [Heat island in the metropolis: the example of São Paulo]. São Paulo: Hucitec.
- Lopes, A. S. (2003). *Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano: vento, ilha de calor de superfície e balanço energético* [Changes in the Lisbon climate as a consequence of urban growth: wind, surface heat island and energy balance]. (PhD thesis). Lisboa: Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. https://www.researchgate.net/publication/291516544_Modificacoes_no_Clima_de_Lisboa_como_Consequencia_do_Crescimento_Urbano_Vento_Ilha_de_Calor_de_Superficie_e_Balanco_Energetico
- Lucena, A. J., Rotunno Filho, O. C., Almeida França, J. R., Faria Peres, L., & Xavier, L. N. R. (2013). Urban climate and clues of heat island events in the metropolitan area of Rio de Janeiro. *Theoretical and applied climatology*, 111(3-4), 497-511.
- Mendonça, F. A. (2015). O estudo do SCU – Sistema Clima Urbano – no Brasil: aplicações e avanços [The study of the UCS – Urban Climate System – in Brazil: applications and advances.]. In C. A. F. Monteiro, J. L. Sant’anna Neto, F. Mendonça, J. A. Zavatini (Org.), *A construção da climatologia geográfica no Brasil* [The construction of geographical climatology in Brazil] (pp. 155-166). Campinas: Alínea.
- Mendonça, F., & Dubreuil, V. (2002). L'étude du climat urbain au Brésil: Etat actuel et contribution de la télédétection [The study of urban climate in Brazil: Current status and contribution of remote sensing]. In V. Dubreuil (Ed.), *Environnement et télédétection au Brésil* [Environment and Remote Sensing in Brazil] (pp. 135-146). Presses Universitaires de Rennes.
- Monteiro, C. A. de F. (1990). A cidade como processo derivador ambiental e estrutura geradora de um “clima urbano” [The city as environmental deriving process and generating structure of an “urban climate”]. *Geosul*, 5(9), 80-114.
- Oke, T. R. (1995). The heat island of the urban boundary layer: Characteristics, causes and effects. In J. E. Cermak, A. G. Davenport, E. J. Plate, & D. X. Viegas (Eds.), *Wind climate in cities* (pp. 81-107). Dordrecht: Kluwer Academic.
- Oke, T. R. (1978). *Boundary Layer Climates*. London: Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book.
- Ortiz, G. F., & Amorim, M. C. C. T. (2013). Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), temperatura da superfície e do ar na cidade de Tarumã/SP [Normalized Difference Vegetation Index (IVDN), surface and air temperature in the city of Tarumã/SP]. In *Anais XIV Encontro de Geógrafos de América Latina: reencontro de saberes territoriais latinoamericanos*. Lima/Peru: UGI.
- Passos, M. M. (2006). *A Raia Divisória – Geosistema, Paisagem e Eco-História* [Territorial limit – Geosystem, Landscape and Eco-History]. Maringá: EDUEM.
- Sant’Anna Neto, J. L., & Tommaselli, J. T. G. (2009). *O tempo e o clima de Presidente Prudente* [The weather and climate of Presidente Prudente]. Presidente Prudente: FCT/UNESP.
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90, 434-440.
- Sousa, D.O., & Baptista, G.M.M. (2005, abril) Análise da influência da resolução espacial na determinação das ilhas urbanas de calor em São Paulo, por meio dos sensores ASTER e MODIS [Analysis of the influence of spatial resolution in determining the urban heat island in São Paulo, through ASTER and MODIS sensors]. In *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goiânia, Goiás: INPE.
- Stathopoulou, M., & Cartalis, C. (2007). Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: an application to major cities in Greece. *Sol. Energy*, 81, 358-368.
- Stoll, M.J., & Brazel, A.J. (1992). Surface-air temperature relationships in the urban environment of Phoenix, Arizona. *Physical Geography*, 13(2), 160-179.
- Teza, C.T.V., & Baptista, G.M.M. (2005). Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras [Identification of the urban heat island phenomenon by ASTER data on demand 08 – Kinetic Temperature (III): Brazilian metropolises]. In *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goiânia, Goiás: INPE.
- Ugeda Júnior, J. C. (2013). Correlação entre a temperatura da superfície e temperatura do ar na cidade de Jales-SP [Correlation between surface temperature and air temperature in the city of Jales-SP]. In M. C.

- T. Amorim, J. L. Sant'Anna Neto, & A. Monteiro (Org.), *Climatologia Urbana e Regional: questões teóricas e estudos de caso* [Urban and Regional Climatology: theoretical issues and case studies] (pp. 291-316). São Paulo: Outras Expressões.
- USGS-United States Geological Survey *Using the USGS Landsat 8 Product*. Retrieved from: https://land-sat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86, 370-384.
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (1997). Complete urban surface temperatures. *Journal of Applied Meteorology*, 36(9), 1117-1132.
- Weng, Q. (2003). Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(5), 555-566.
- Yuan, F., & Bauer, M.E. (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 106, 375-386.