

# USO DO SOLO E TEMPERATURA SUPERFICIAL EM ÁREA URBANA

*relation between land use and land cover and superficial temperature in urban areas*

Ivan Júlio Apolônio Callejas\*  
Luciane Cleonice Durante\*\*  
Angela Santana de Oliveira\*\*\*  
Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira\*\*\*\*

## Resumo

Este estudo avalia a ilha de calor da superfície urbana e a relação espaço-temporal entre o uso da terra e a temperatura da superfície (Ts) na cidade de Várzea Grande, que juntamente com Cuiabá (capital do estado) formam um dos maiores conglomerados da região Centro-Oeste do Brasil, cujo processo de urbanização tem sido intenso desde a década de 60. Utilizou-se neste trabalho imagens multiespectrais do satélite LANDSAT-5 TM para elaborar mapas de uso e ocupação do solo e de temperaturas superficiais (Ts) e detectou-se a presença de ilha de calor urbana superficial (ICUS) na região central da cidade de Várzea Grande. Os resultados obtidos demonstram que os maiores valores médios de Ts foram encontrados em solos expostos (2,0°C) e em áreas construídas (2,13°C). No entanto, não se pode afirmar que o ICUS seja um fenômeno consolidado na região. Com intuito de reduzir as Ts nas áreas urbanas da cidade, recomenda-se revisão nos índices urbanísticos e a promoção de ações que visem preservar a vegetação remanescente e implantar novas áreas verdes em posições estratégicas na cidade, bem como utilizar materiais alternativos que reduzam o armazenamento de energia.

**Palavras-chave:** Uso e ocupação do solo, Sensoriamento remoto, Ilha de calor urbana.

## Abstract

This study focuses on the surface urban heat island and the spatio-temporal relationship between land use and surface temperatures (Ts) for the city of Várzea Grande, State of Mato Grosso, Brasil. The Cuiabá and Várzea Grande city together became one of the major urban agglomerations of central-western Brazil and suffered intense processes urbanization since the 1960s. Multispectral Landsat-5 TM satellite imagery was used to elaborate maps of land use and cover and surface temperatures (Ts) and surface urban heat islands were detected in the Várzea Grande's downtown, but it cannot be considered a consolidated phenomenon. Highest Ts values were found in open soil (2.0°C) and urbanized areas (2.13°C). In order to reduce Ts, it is recommended to review urban indexes, and promote actions to preserve remnant vegetation, introduce green areas in strategic position in the city and utilize alternative materials that reduce the energy storage like cool paving and cool roofs.

**Key words:** Use and land cover, Remote sensing, Urban heat island.

## Resumen

Este estudio evalúa la isla de calor de la área urbana y el relación espacio-temporal entre el uso del suelo y la temperatura superficial (Ts) en la ciudad de Várzea Grande, quien junto a Cuiabá (capital del estado) forman uno de los conglomerados más grandes de la zona Centro-Oeste de Brasil, donde la urbanización ha sido intensa desde los años 60. Se utilizó imágenes multiespectrales de satélite Landsat-5 TM para preparar mapas del uso y ocupación del suelo y temperaturas de la superficie (Ts) y se detectó la presencia de isla de calor de la superficie urbana en la ciudad de Várzea Grande. Los resultados muestran que los mayores valores medios de Ts se encuentran en los suelos expuestos (2.0°C) y en las zonas urbanizadas (2.13°C). Sin embargo, no podemos decir que la isla de calor urbano es un fenómeno consolidado en la región. A fin de reducir las Ts en zonas urbanas de la ciudad, se recomienda la revisión de las tasas de urbanización y las acciones de promoción destinadas a preservar la vegetación restante y desplegar nuevas zonas verdes en lugares estratégicos de la ciudad, y utilizar materiales alternativos que reducen el almacenamiento energía.

**Palabras clave:** Uso y ocupación del suelo, Sensores remotos, Isla de calor urbano.

(\*) Doutorando na Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal do Mato Grosso - Av. Fernando Correa da Costa, nº 2367, CEP: 78060-900, Cuiabá (MT), Brasil, Tel.: (+ 55 65) 3615-8974 – ivancallejas@ig.com.br

(\*\*) Doutorando na Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal do Mato Grosso - Av. Fernando Correa da Costa, nº 2367, CEP: 78060-900, Cuiabá (MT), Brasil, Tel.: (+ 55 65) 3615-8974 – luciane.durante@homail.com

(\*\*\*) Doutoranda da Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal do Mato Grosso, Profª Msc. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato-Grosso, Campus Cuiabá - Rua Zulmira CAnavarros, 95, CEP: 78.005-390 - Cuiabá (MT) - Brasil, Tel: (+55 65) 33143597 - angela.oliveira@cba.ifmt.edu.br

(\*\*\*\*) Profª. Drª. da Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal do Mato Grosso - Av. Fernando Correa da Costa, nº 2367, CEP: 78060-900, Cuiabá (MT), Brasil, Tel.: (+ 55 65) 3615-8974 – mcjanp@gmail.com

## INTRODUÇÃO

O estado de Mato Grosso, localizado na região central do Brasil, a partir da segunda metade da década de 1960, passou a ser considerado “Portal da Amazônia”, devido à sua posição estratégica de única alternativa de acesso por terra para ocupação da região norte do país. O intenso crescimento e a concentração populacional dos seus centros urbanos têm favorecido o processo acelerado de mudanças ambientais, em função das alterações nas coberturas das superfícies do solo.

O crescimento da cidade de Várzea Grande está associado ao desenvolvimento do Estado de Mato Grosso e da cidade de Cuiabá, pois estas cidades juntas formam um importante conglomerado urbano. O processo de transformação das duas cidades iniciou-se na década de 1930 e intensificou-se durante a década de 1960, fazendo com as mesmas se tornassem um dos principais centros de abastecimento para as áreas de alta produtividade agrícola da região do Cerrado e do Sul da Amazônia. Em 1970, a população de Várzea Grande era de 18.146 habitantes e em 2007 alcançou 230.307, um aumento de mais de 1269% (IBGE, 2007) e em 2010, é de 252.709 habitantes (IBGE, 2010). Como consequência, a cidade teve áreas de vegetação preservadas substituídas gradativamente por áreas construídas e impermeabilizadas. Diversos autores afirmam que transformações das superfícies dos solos são responsáveis por profundas mudanças no balanço de energia, causando, dentre outras consequências, influência na dinâmica do movimento do ar, aumento da temperatura nas cidades e o fenômeno da Ilha de Calor Urbana (ICU) (AYOADE, 2001; SANT’ANNA NETO, 2000; LOMBARDO, 1985; MENDONÇA, 2000; CARNAHAM & LARSON, 1990; KIM & BAIK, 2005).

O ICU é conhecido como o acréscimo da temperatura do ar de regiões urbanizadas em relação às regiões rurais em seu entorno, em virtude da modificação e substituição de áreas de cobertura vegetal pela ocupação urbana e o excessivo adensamento das cidades (LI et al., 2009). Estudos sobre ICU na Cidade de Várzea Grande foram iniciados por Souza e Maitelli (2005), que inicialmente obtiveram uma diferença de 7°C de diferença da área densamente ocupada e áreas suburbanas. Cox (2008) realizou novo estudo de ICU na cidade de Várzea Grande e encontrou resultados inferiores aos apresentados por Souza e Maitelli (2005), sendo que maior diferença encontrada foi de 4,7 °C entre áreas urbanas densamente ocupadas e vegetadas.

A ICU em Várzea Grande, apesar de constituir-se em cidade de médio porte, apresenta-se como um dos problemas gerados pela urbanização, sendo que os estudos de clima urbano, como este, a partir do sensoriamento remoto podem auxiliar significativamente no planejamento da cidade, na elaboração das leis de parcelamento, uso e ocupação do solo e nas revisões do Código de Obras municipal.

O sensoriamento remoto e geoprocessamento tornaram-se ferramentas importantes nos estudos das ICU (XIAN, 2008; XIAN & CRANE, 2006). Diversos autores (XIAN, 2008; XIAN & CRANE, 2006, VOOGT & OKE, 1998) discutem a aplicabilidade de sistemas de imagens termais para o mapeamento da distribuição espacial da temperatura. Rao (1972) foi o primeiro a demonstrar que as áreas urbanas poderiam ser identificadas a partir de dados da banda termal de satélites e Gallo et al. (1995) introduziu o uso de imagens de satélite para fins de estudo de ilhas de calor. Em seguida sistemas de sensoriamento remoto infravermelho termal têm sido utilizados para documentar o efeito de ilha de calor no meio urbano (ICU), em escala regional a partir de dados NOAA AVHRR (STREUTKER 2003) ou MODIS (OCHI et al., 2002) e em escala local utilizando a banda 6 do Landsat (E)TM (YUAN & BAUER 2006), e as bandas 10 a 14 do ASTER (NICHOL, 2005) ou sistema sensores aerotransportados (SOBRINO et al. 2006, XU et al. 2008). Mendonça e Dubreuil (2005) utilizaram dados provenientes de imagem de satélite (Landsat TM Canal 6) e dados meteorológicos aplicados à Região Metropolitana de Curitiba/PR e os resultados revelaram as diferenças teoricamente conhecidas entre os processos de aquecimento das superfícies naturais e das artificializadas (balanço de radiação).

Ressalta-se que o estudo de ICU refere-se ao aquecimento da atmosfera urbana detectado por sensores meteorológicos fixos ou móveis, enquanto as medidas realizadas através de sistemas de sensoriamento remoto avaliam a Ilha de Calor Urbana Superficial (ICUS ou SUHI) (OKE & VOOGT, 2003). Os principais parâmetros dos estudos de ICU são temperatura e umidade do ar, enquanto que na ICUS é a temperatura superficial ( $T_s$  ou LST).

A  $T_s$  é determinada a partir da detecção da radiação de ondas longas emitida na faixa do infravermelho e detectada por sensores orbitais (GUSSO et al., 2007), sendo um parâmetro físico que diz respeito ao fluxo de calor dado em função de balanço de radiação de um corpo (AYOADE, 2001). Para a estimativa da temperatura superficial a partir de imagens de satélite, é necessário avaliar a emissividade da superfície e corrigir o efeito atenuante da atmosfera, visto que seus componentes (vapor d'água, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, aerossóis e outros gases de menor influência) diminuem a intensidade da radiação detectada pelos sensores do satélite. A emissividade depende da composição do objeto, da forma de sua superfície e de suas características físicas. Outro aspecto importante, é que seu valor se modifica em função do comprimento de onda e com o ângulo de observação do objeto. Estimativa da  $T_s$  permitem estabelecer correlações entre os diversos tipos de uso e ocupação do solo, o que viabiliza diversos estudos em meso e micro escalas na área de meio ambiente, planejamento urbano, arquitetura e urbanismo, dentre outras.

Vários métodos têm sido desenvolvidos para obter emissividade e temperatura da superfície a partir de dados de satélite. Devido à dificuldade de ser determinada, a emissividade da superfície é frequentemente fixada como constante. Para áreas com pequena variação de emissividade, esta aproximação é justificada, como cita Shädlich et al. (2001), que determinou a emissividade para superfícies vegetadas em baixa variação de altura da superfície, como sendo tipicamente  $\pm 0,01$ , o que causa erro na  $T_s$  de  $\pm 2K$ . Em ambientes urbanos, contudo, a emissividade sofre muita variação devido a geometria complexa e dos diferentes materiais componentes do meio. De acordo com Oke & Voogt (2003), a emissividade urbana pode variar entre 0,87 a 0,97, com maior ocorrência na faixa de 0,92 a 0,95.

Segundo Goïta et al. (1997), tem-se que, geralmente, a emissividade da superfície aumenta com a densidade de cobertura vegetal. Caselles & Sobrino (1989) estimaram a  $T_s$  a partir do arranjo espacial e da emissividade em pomares de laranja. Van de Griend & Owe (1993) encontraram forte correlação entre Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a emissividade. Valor & Caselles (1996) desenvolveram um modelo teórico que justifica a associação encontrada por Van de Griend & Owe (1993) para obter estimativas precisas de emissividade em diferentes tipos de superfície.

Neste contexto, uma investigação das temperaturas superficiais para Várzea Grande-MT em termos de intensidade e padrões espaciais é relevante, uma vez que os citados processos de urbanização vêm alterando as dimensões higrótérmicas e antropogênicas e, conseqüentemente, o balanço de energia e das condições de conforto que ocorrem a nível urbano. Para a região, os estudos são incipientes, podendo-se citar Zeilhofer et al. (2009), que utilizando técnicas de geoprocessamento, modelaram anomalias de temperaturas nos perímetros urbanos de Cuiabá e Várzea Grande-MT e Cochev et al. (2009) que realizaram análise da evolução do uso do solo urbano do município de Cáceres-MT através de imagens de satélite LandSat-5 TM, no período de duas décadas (1986 e 2008).

Assim, tendo como base os escassos trabalhos realizados nesta área para a região em estudo, o objetivo deste trabalho é analisar temporal e espacialmente a relações entre temperatura superficial e uso e ocupação do solo na cidade de Várzea Grande – MT a partir de imagens multiespectrais do LandSat 5 TM, de modo a fornecer subsídios para pesquisas subsequentes no campo do planejamento urbano e do conforto térmico em ambientes externos e internos.



## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo e Imagens de Satélite

A cidade de Várzea Grande está localizada na região central do Brasil, no estado de Mato Grosso, a 15°32'30" de latitude sul e 56°17'18" de longitude oeste na microrregião da Baixada Cuiabana, em clima tropical sub-úmido (classificação de Köppen -Aw savana) e em baixas altitudes, entre 150 e 240 m acima do nível do mar. A precipitação anual é de cerca de 1.750 mm e a temperatura média anual de 26,5°C (IBGE, 2007). A cidade tem uma extensão territorial de 949,53 km<sup>2</sup>.

Para o estudo espaço-temporal da ICUS com o objetivo de elaborar os mapas de uso e ocupação do solo e estimar a temperatura superficial terrestre (TST or Ts) na região de estudo, foram utilizadas duas imagens multiespectrais (banda termal do satélite LandSat 5), datadas do dia 9/08/86 e 2/09/07. As imagens foram disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo as mesmas processadas com auxílio do programa ArcGIS 9.3 (ESRI).

### Mapas de Uso Ocupação do Solo e Estimativa da Emissividade da Superfície

Os mapas de uso e ocupação do solo para os anos em estudo foram obtidos a partir do procedimento de classificação supervisionada por meio do algoritmo estatístico de máxima verossimilhança, a partir de imagens RGB (bandas #3, #4 e #5 do Satélite LandSat 5). Para diferenciação do uso e ocupação do solo, foram definidas cinco classes: água, vegetação, solo nú, baixa densidade de urbanização e alta densidade de urbanização. Para a validação dos mapas elaborados, selecionou-se aleatoriamente 1084 pixels através da interpretação visual com auxílio das próprias imagens do LandSat TM, e complementarmente, com auxílio de imagens do satélite Quickbird. As matrizes de erro foram calculadas pelo cruzamento de polígonos de validação com resultados da classificação supervisionada, sendo em seguida calculada a exatidão geral e a estatística Kappa.

A emissividade foi estimada utilizando-se o índice de Vegetação Normalizada (NDVI) proposto por Van de Griend & Owen (1993) através Equação 1.

$$\varepsilon = 1,0094 + 0,047 \ln (\text{NDVI}) \quad (1)$$

Para tanto, foi necessário converter os Números Digitais (ND) para valores de radiância nas bandas #3 (0,63-0,69 μm) e #4 (0,76-0,9 μm) do sensor TM do satélite LandSat 5, através do procedimento denominado de Calibração Radiométrica. De acordo com Chander & Markham (2003), a radiância  $L_\lambda$  registrada pelo satélite é obtida pela conversão do nível de cinza ND de acordo com a Equação 2, sendo  $Q_{\max}=255$ , o valor ND máximo para a conversão AD de 8 bits; QND o nível de cinza de cada pixel;  $L_\lambda \text{ MIN}$  e  $L_\lambda \text{ MAX}$ , os índices de radiâncias espectrais mínimo e máximo associado ao ND mínimo e máximo para cada banda utilizada do satélite.

$$L_\lambda = L_{\lambda \text{ MIN}} + (L_{\lambda \text{ MAX}} - L_{\lambda \text{ MIN}}) Q_{\text{ND}} / Q_{\text{MAX}} \quad [\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}] \quad (2)$$

Admitindo-se que a superfície terrestre obedece a Lei de Planck, os valores de radiância obtidos na transformação anterior, são então convertidos em refletância aparente através da Equação 3, onde  $\rho_{\text{ap}}$  é a refletância exoatmosférica;  $L_\lambda$  a radiância espectral avaliada no sensor do satélite em uma dada banda;  $d$  a distância terra-sol em unidades astronômicas;  $E_{\text{sol}\lambda}$  a irradiância solar atmosférica média em  $\text{W.cm}^{-2}.\mu\text{m}^{-1}$  e  $\theta_s$ , o ângulo zenital solar em graus (CHANDER & MARKHAM, 2003).

$$\rho_{\text{ap}} = \frac{\pi L_\lambda d^2}{E_{\text{sol}\lambda} \cos \theta_s} \quad (3)$$

Avaliados os valores de refletância aparente para as bandas 3 e 4, calculou-se o NDVI pela Equação 4, sendo  $\rho_4$  e  $\rho_3$  os valores da refletância aparente para as bandas 4 e 3, respectivamente.

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (4)$$

Conforme apresentado por Van de Griend & Owe (1993), a Equação (1) apresenta resultados satisfatórios para valores de NDVI entre 0,157 a 0,727, ou seja, em locais onde as superfícies estão parcialmente ou completamente cobertas por vegetação. No presente trabalho, utilizou-se a classificação do uso e ocupação do solo para definir os valores de emissividade da superfície em estudo. Em locais onde os pixels foram classificados como água, a emissividade foi assumida ser igual a 0,9925 de acordo com os resultados experimentais encontrados por Masuda et al. (1988).

Artis & Carnahan (1982) estudando áreas urbanas encontraram um valor médio de emissividade igual a 0,923, este valor foi assumido para os pixels classificados como áreas de baixa e alta densidade urbana. Para as áreas classificadas como solo nú, solo parcialmente ou totalmente vegetado, foi utilizada a Equação 1 para estimar a emissividade do terreno. Os valores utilizados para a emissividade no presente trabalho estão coerentes com os resultados apresentados por Peng et al. (2008) e Voogt & Oke (2003).

#### *Avaliação da Temperatura Superficial*

Inicialmente, os valores dos números digitais (DN) registrados na banda 6 do satélite LandSat 5 foram convertidos em radiância termal  $L_\lambda(T_s)$  utilizando-se a Equação 2. De acordo com Chander & Markham (2003), a radiância termal  $L_\lambda(T_s)$  emitida pela superfície terrestre pode ser convertida em temperatura superficial (Ts) a partir da inversão da fórmula de Plank (Equação 5), sendo Ts, a temperatura superficial terrestre em Kelvin,  $K_1=607,76 \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$ , a constante de calibração do LandSat 5;  $K_2=1260,56 \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ , a segunda constante de calibração e  $L_\lambda(T_s)$ , a radiância termal superficial corrigida pelos efeito da atmosfera e  $\epsilon_\lambda$ , a emissividade superficial definida a partir do uso e ocupação do solo conforme descrito em 2.2.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda(T_s)} + 1\right)} \quad (5)$$

A Ts registrada pelo satélite foi corrigida pela emissividade através da Equação 6, sendo  $\epsilon_\lambda$ , a emissividade superficial e  $L_\lambda$  a radiância termal registrada no sensor do satélite. Os demais parâmetros são idênticos aos apresentados na Equação 5.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_\lambda K_1}{L_\lambda(T_s)} + 1\right)} \quad (6)$$

O sinal emitido pelo alvo na superfície terrestre e registrado pelo satélite pode ser atenuado ou aumentado pelos efeitos de radiância atmosférica, sendo de fundamental importância remover os efeitos da atmosfera na utilização da imagem da banda termal. Para que estes efeitos possam ser corrigidos, existe a necessidade de estimar a transmitância e as radiâncias ascendentes e descendentes da atmosfera, convertendo a radiância interceptada no espaço pelo sensor do satélite para a radiância que deixa a superfície terrestre. Como esses valores dificilmente são conhecidos durante a passagem do satélite, existe a necessidade de estimar estes parâmetros para que se seja feita a correção atmosférica avaliando, assim, com maior precisão a Ts. No presente trabalho, procurou-se



utilizar o procedimento proposto por Barsi et al (2003), que permite a avaliação dos parâmetros citados para imagens com data superior ao ano de 1998. No entanto, como uma das imagens em estudo é datada do ano de 1986, optou-se por não fazer a correção atmosférica em ambas as imagens.

De acordo com Barsi et al. (2003), caso a correção atmosférica não seja feita, os valores de temperatura de brilho estimados são de 5-10K menores do que quando os valores são corrigidos pelos efeitos da atmosfera. Fazendo-se a correção da temperatura de brilho pela emissividade, sem, no entanto, fazer a correção atmosférica, observa-se um comportamento intermediário da temperatura superficial, conforme apresentado por Souza & Silva (2005). Ao se usar o procedimento proposto por Barsi et al. (2003), a temperatura superficial terrestre pode sofrer ligeiro aumento (0-3K) em relação as temperaturas superficiais verdadeiras. No entanto, recomenda-se fazer a correção atmosférica e analisar as temperaturas superficiais em termos de diferença relativa da temperatura superficial entre as áreas urbanas e suburbanas.

### Correção das Temperaturas Superficiais da Imagem de 2007

Os dias adotados no estudo apresentavam condições meteorológicas semelhantes de alta pressão e céu claro, mas diferentes valores absolutos de variações diárias de temperatura e umidade do ar (Tabela 1). Desta forma, não foi possível uma comparação direta entre as imagens térmicas. Com intuito de resolver este problema, e tornar as imagens comparáveis entre si, realizou-se um ajustamento empírico entre as temperaturas superficiais (Ts) de 1986 e 2007. Para tanto, foram avaliadas as Ts em 61 pontos das classes definidas para mapa de uso e ocupação do solo. Para evitar a influência (tendência ou viés) da ICUS no modelo de regressão, os pontos selecionados nas áreas construídas foram coletados em pontos periféricos na cidade de Várzea Grande. O modelo de regressão linear estimado para corrigir as Ts da imagem de 2/09/07 a partir da imagem de 9/08/86 resultou em uma equação igual a  $T_{s1986} = 1,196 \cdot T_{s2007} - 3,679$ , com coeficiente de correlação de Pearson de 0,913.

Tabela 1—Temperatura e umidade relativa do ar em 08/09/1986 e 02/09/2007

DATA	TEMPERATURA DO AR (°C)						UMIDADE RELATIVA DO AR (%)		
	8:00	14:00	20:00	Tmáx	Tmín	Tmed	8:00	14:00	20:00
8/9/1986	23,5	34,2	26,7	34,6	20,2	26,7	85	29	61
2/9/2007	22,5	36,6	24,4	37,5	15,6	24,9	65	21	63

\*hora local (GMT-4), Tmax – temperatura máxima diária, Tmin – temperatura mínima diária and Tmed – temperatura média diária.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Distribuição Temporal e Espacial do Uso e Ocupação do Solo

Os mapas de uso e ocupação do solo para 1986 e 2007 gerados pelo software ArcGis podem ser visualizados nas Figuras 3 (a) e (b). A exatidão global e índice de Kappa para as classificações foram de 96%/0,956 e 86%/0,817, respectivamente em 1986 e 2007 (Tabela 2 e 3). A classificação apresentou melhor desempenho para a água, vegetação e solo exposto, enquanto que para baixa e densa urbanização o desempenho foi menor. Na classificação de 2007, a presença de áreas com “queimadas” na periferia da cidade fez com que a exatidão da classificação se reduzisse.

Analisando os mapas de uso e ocupação do solo (Figura 1), percebe-se uma nítida expansão na área urbana da cidade de Várzea Grande entre os anos de 1986 e 2007. Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos para as imagens classificadas em termos de percentagem. O primeiro contraste visualizado é a grande presença de área vegetada na imagem de 1986, que cobria quase todo



o entorno da cidade. Ao se comparar a percentagem de área vegetada nas duas épocas, percebe-se uma acentuada redução da mesma, aproximadamente 43,76%, principalmente devido ao intenso processo de urbanização e de ocupação das áreas do entorno da cidade.

Tabela 2 – Avaliação da exatidão do mapa de uso e ocupação do solo para 1986

REFERÊNCIA					
Mapa	Água	Área Vegetada	Solo Nú	Baixa Urbanização	Densa Urbanização
Água	95,2%	0,0%	2,7%	0,0%	2,0%
Área Vegetada	0,0%	99,7%	0,0%	0,0%	0,3%
Solo Nú	0,0%	2,5%	95,5%	1,0%	1,0%
Baixa Urbanização	0,0%	0,0%	4,7%	92,7%	2,6%
Densa Urbanização	0,0%	1,2%	1,2%	0,4%	97,2%

Exatidão global da classificação = 96,6 %, estatística Kappa = 0,956

O planejamento e a implementação de novas áreas residenciais, bem como a ocorrência de assentamentos informais (ZEILHOFER & TOPANOTTI, 2008), são refletidas na classe de baixa urbanização que aumentou de 8,43% para 19,74%. Constata-se que houve intensificação da urbanização nas áreas centrais da cidade e ao longo das avenidas principais da cidade, o que contribuiu para que as áreas de densa urbanização aumentassem de 10,48% para 34,49%. Comparando as percentagens de áreas urbanizadas nos dois anos, percebe-se que houve um acréscimo de 35,00%. É importante mencionar que, grande parte das áreas urbanizadas em 2007, passou a ocupar locais com superfícies anteriormente vegetadas e/ou de solo desnudo.

Tabela 3 – Avaliação da exatidão do mapa de uso e ocupação do solo para 2007

REFERÊNCIA					
Mapa	Água	Área Vegetada	Solo Nú	Baixa Urbanização	Densa Urbanização
Água	99,2%	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%
Área Vegetada	0,0%	99,7%	0,0%	0,0%	0,3%
Solo Nú	0,0%	0,0%	84,6%	2,5%	13,0%
Baixa Urbanização	0,0%	0,0%	23,6%	72,5%	3,8%
Densa Urbanização	3,1%	8,4%	0,0%	15,3%	73,2%

Exatidão global da classificação = 85,8 %, estatística Kappa = 0,818

A análise dos mapas de uso e ocupação do solo demonstra que o processo de urbanização da cidade seguiu eixos preferenciais de desenvolvimento: um eixo na direção oeste (O) e outro eixo na direção sul (S). É importante destacar que nestes eixos de desenvolvimento concentram-se grande parte dos corredores comerciais existentes na cidade (Avenidas da FEB, Couto Magalhães, Av. Gov. Júlio Campos, Senador Filinto Müller, Av. Alzira Santana, dentre outras).

Ao se analisar a percentagem de áreas desnudas, observou-se um aumento de 7,81%. Em 1986, estas se concentravam principalmente na região sul, tendo sido posteriormente ocupadas principalmente por loteamentos e bairros que foram implantados durante os 21 anos. Já em 2007, elas se concentravam na região norte e também na região sul, tendo sido geradas, principalmente devido ao processo de desmatamento que corroborou com a eliminação da grande massa de vegetação que contornava o conglomerado. As áreas classificadas como água nos mapas foram as que sofreram menor acréscimo, apenas 0,69%, principalmente pela criação de tanques e lagoas na região.



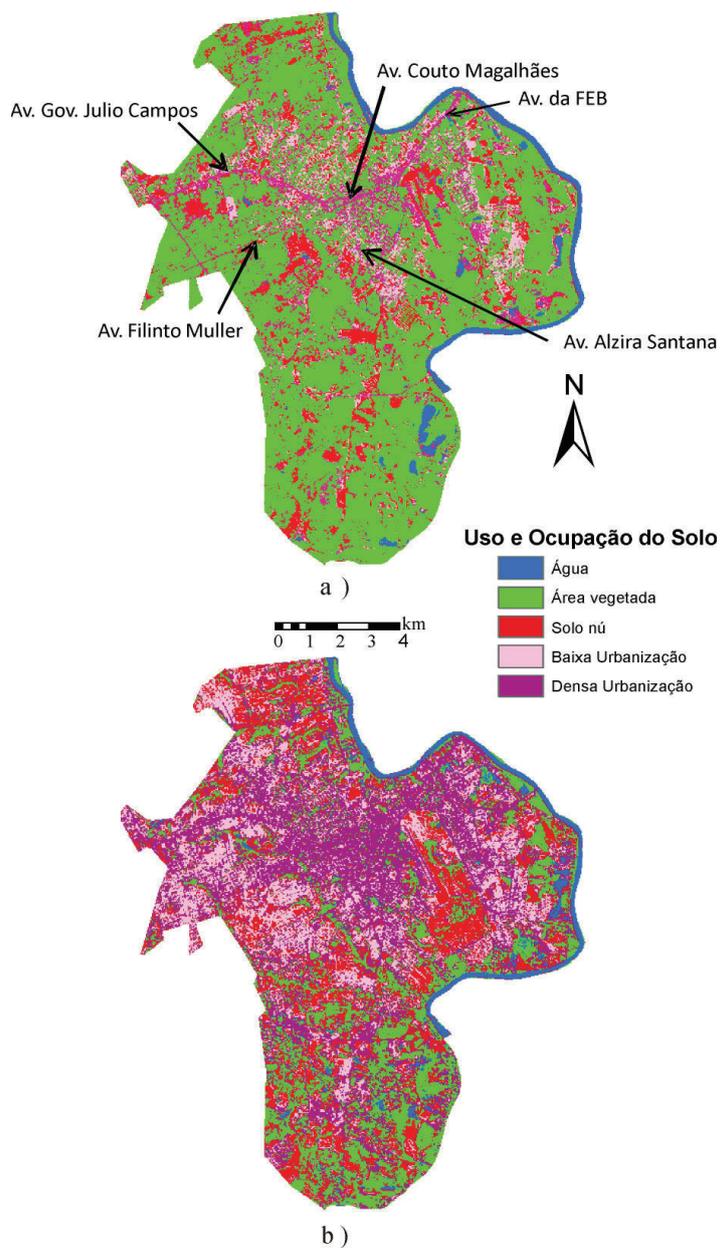


Figura 1 - Mapa de uso e ocupação do solo

Tabela 4 – Áreas em percentagens para os anos de 1986 e 2007

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	ÁGUA (%)	VEGETAÇÃO (%)	SOLO NÚ (%)	BAIXA URBANIZAÇÃO (%)	DENSA URBANIZAÇÃO (%)
1986	3,81	64,70	12,57	8,43	10,48
2007	4,46	20,94	20,37	19,74	34,49
Alteração (%)	0,65	-43,76	7,81	11,30	24,00

A grande expansão da cidade é sustentada pelos dados do censo disponível na SEPLAN (1986), que observou um crescimento populacional de 106.695 habitantes em 1986 para 230.307 em 2007 (IBGE, 2007). A demanda para a expansão foi garantida principalmente pelo desmatamento indiscriminado do cerrado nas periferias da cidade, ignorando a legislação ambiental presente no Plano Diretor da Cidade de Várzea Grande (como por exemplo, o desmatamento de áreas de proteção permanente ao longo de cursos d'água e em rampas íngremes). A expansão observada somente aponta a incapacidade das autoridades públicas em controlar a ocupação informal dos sítios urbanos, bem como os impactos negativos originados por estas ocupações sobre o meio ambiente.

#### *Distribuição Temporal e Espacial da Temperatura Superficial (Ts) e Ilha de Calor no Conglomerado*

O resumo das características da temperatura superficial na cidade obtidas a partir da banda 6 do satélite Landsat 5 para as datas em estudo podem ser visualizados na Tabela 5. Observa-se que as Ts máxima e média em 2007 foram 4,5°C e 1,76°C superiores as do ano 1986, respectivamente, enquanto que a mínima foi de -3,17°C.

Tabela 5 – Estatísticas descritivas - temperatura superficial para os anos de 1986 e 2007

ESTATÍSTICA	T <sub>s</sub> 1986 (°C)	T <sub>s</sub> 2007 (°C)
Mínimo	23,88	20,71
Máximo	36,96	41,46
Média	29,92	31,68
Desvio padrão	1,57	2,93

Em 1986, os maiores valores de Ts estavam concentrados na região sudoeste e sul da cidade de Várzea Grande, e esporadicamente nas áreas mais densamente urbanizadas na região central (Figura 2 a). Nestes locais, a vegetação e o solo natural haviam sido alterados para implantação de novos bairros na cidade, ocasionando a exposição direta destes à radiação solar. Esta aparente contradição da não existência da ICUS nas regiões centrais da cidade pode ter duas causas principais: primeira, imagens Landsat foram adquiridas entre 9h06 – 9h40 (hora local), quando ICUSs só começaram a se desenvolver (OKE, 1987). Segunda, as regiões mais quentes à sudoeste de Várzea Grande estão localizados em altitudes mais elevadas, no topo do terreno montanhoso, com áreas desmatadas e, portanto, mais diretamente expostas à radiação solar nas primeiras horas da manhã. Com poucas exceções, a Ts aumentou entre 1986 e 2007, especialmente a sudoeste, devido ao intenso processo de urbanização sofrido pela cidade naquela região durante o período em análise (Figura 2 b).

Assim como ocorreu em 1986, as áreas com solos expostos apresentaram as mais elevadas temperaturas superficiais em 2007 (setas vermelhas). Comportamento semelhante se observa na maioria das áreas do centro da cidade, principalmente devido ao adensamento provocado pela urbanização, pelo aumento das áreas pavimentadas e pela perda de vegetação remanescente nessas regiões (setas pretas). Observa-se que o surgimento de novos bairros na cidade também corroborou para que as Ts se elevassem nas regiões periféricas ao centro da cidade, sendo que estas muitas vezes alcançaram temperaturas similares ou superiores às da região central da cidade. Os menores valores de Ts durante as duas passagens de satélite foram observadas para as massas de água (alta capacidade térmica), muitos deles criados artificialmente desde 1986 (seta azul).



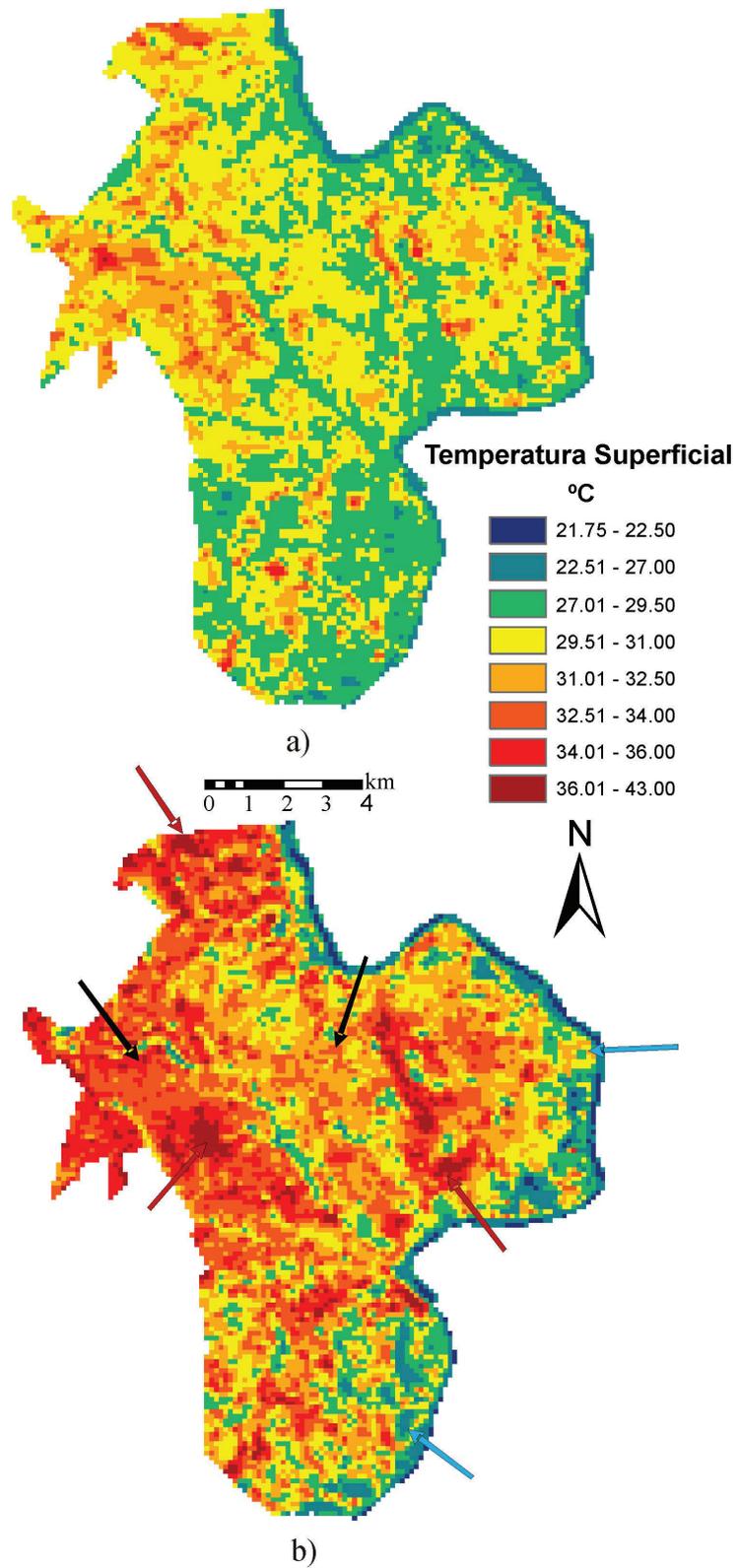


Figura 2 - Temperatura superficial na cidade

*Relação entre Uso e Ocupação do Solo e Temperatura Superficial*

Ao se comparar os mapas de uso e ocupação do solo com os mapas da distribuição da temperatura superficial, constata-se que as Ts mais elevadas foram registradas em locais de baixa urbanização, seguida pelas áreas de solo exposto e de densa urbanização. Os menores valores de Ts foram observados nas áreas vegetação remanescentes e dos cursos d'água (Tabela 6). Ao se fazer a diferença entre Ts para as classes definidas nos mapas de uso e ocupação do solo para os anos de 1986 e 2007 verifica-se um aumento nas Ts nas áreas solo exposto (2,00°C), nas áreas de baixa urbanização (2,65°C) e nas áreas de densa urbanizada (1,62°C). As Ts nas áreas vegetadas se mantiveram praticamente estáveis (0,17°C), enquanto que nos corpos d'água, elas foram ligeiramente mais baixas em 2007, com -1,38°C. A análise de variância demonstrou que não existe diferença significativa entre as Ts registrada nos solo expostos e na vegetação nos anos de 1986 e 2007 ( $p > 0,05$ ). No entanto, a mesma análise demonstrou que existe diferença significativa entre as Ts registradas nas áreas urbanizadas ( $p < 0,05$ ), confirmando que a introdução de materiais artificiais (como asfalto, concreto, tijolos, dentre outros) bem como o aumento da taxa construída na cidade alterou o comportamento da Ts em Várzea Grande.

Tabela 6 – Relação entre o uso e ocupação do solo e Ts (média  $\pm$  desvio padrão) para os anos de 1986 e 2007

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	T <sub>s</sub> 1986 (°C)	T <sub>s</sub> 2007 (°C)	DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS (°C)	VALOR P
Água	26,70 $\pm$ 1,49*	25,31 $\pm$ 3,15	-1,39	3.6E-5
Área Vegetada	29,78 $\pm$ 1,30	29,96 $\pm$ 2,37	0,18	0.1890
Solo Nú	31,00 $\pm$ 1,43	33,00 $\pm$ 2,22	2,00	0.1260
Baixa Urbanização	30,49 $\pm$ 1,06	33,14 $\pm$ 1,74	2,65	0.0023
Densa Urbanização	30,47 $\pm$ 1,46	32,11 $\pm$ 2,13	1,62	2.7E-5

\*desvio padrão

Para estudar o comportamento da ilha de calor superficial na cidade, alguns pontos foram selecionados para avaliação da Ts (Figura 3). Os pontos adotados, com exceção do ponto (4), coincidem com os locais onde foram instaladas estações meteorológicas em estudo realizado por Cox (2008) sobre a interação entre clima e superfície urbanizada entre julho a dezembro de 2007. O ponto (1) localiza-se na região central da cidade (área de densa urbanização); o ponto (2), em um balneário de recreação com grande mata remanescente no seu entorno; o ponto (3), a oeste da cidade em uma área com baixa densidade construída e o ponto (4), ao sul, onde a vegetação remanescente foi substituída por materiais artificiais devido à construção de um conjunto residencial. Os dois últimos pontos localizam-se nas proximidades dos eixos de desenvolvimento (corredores comerciais) identificados em Várzea Grande.

As diferenças entre a temperatura da superfície no centro da cidade (1) e na área de recreação (balneário) (2) se mantiveram muito estáveis, com valores de 1,65°C (1986) e 1,48°C (2007) (Tabela 8). Cox (2008) relatou na estação seca em agosto do mesmo ano uma diferença máxima na temperatura do ar de cerca de 2,70°C entre esses pontos, o que confirma a comparabilidade Ts registradas em nível orbital e as medições de temperatura do ar realizadas in loco. Ao contrário de várias regiões centrais das cidades brasileiras, como por exemplo, o da cidade de Cuiabá, a região central da cidade de Várzea Grande apresenta um uso diversificado na ocupação do solo, com áreas comerciais e residenciais que se organizam de forma predominantemente horizontal, apresentando pouca verticalização das edificações, o que supostamente, pode ter impedido a intensificação da ICUS entre os anos de 1986 e 2007.



O ponto localizado no eixo de expansão leste-oeste da cidade (3), em comparação com o centro de Várzea Grande (1) apresentou temperaturas mais baixas em ambos os anos: 2,02°C em 1986, e 1,47°C em 2007. Estes resultados concordam com os dados de Cox (2008), que mediu a temperatura do ar média mais alta na região Oeste de Várzea Grande (ponto 7), encontrando uma diferença máxima de 0,7°C naquele ano. O ponto localizado no eixo norte-sul (4) mostrou características similares a região oeste (3), sofrendo um aumento acentuado na Ts de 3,21°C entre o anos de 1986 e 2007. No entanto, no ano de 1986, a diferença que era negativa (-0,41°C), passou a ser positiva em 2007 (1,47°C). Isso se deve ao fato daquela região ser coberta em 1986 por vegetação, e em 2007, principalmente por construções.

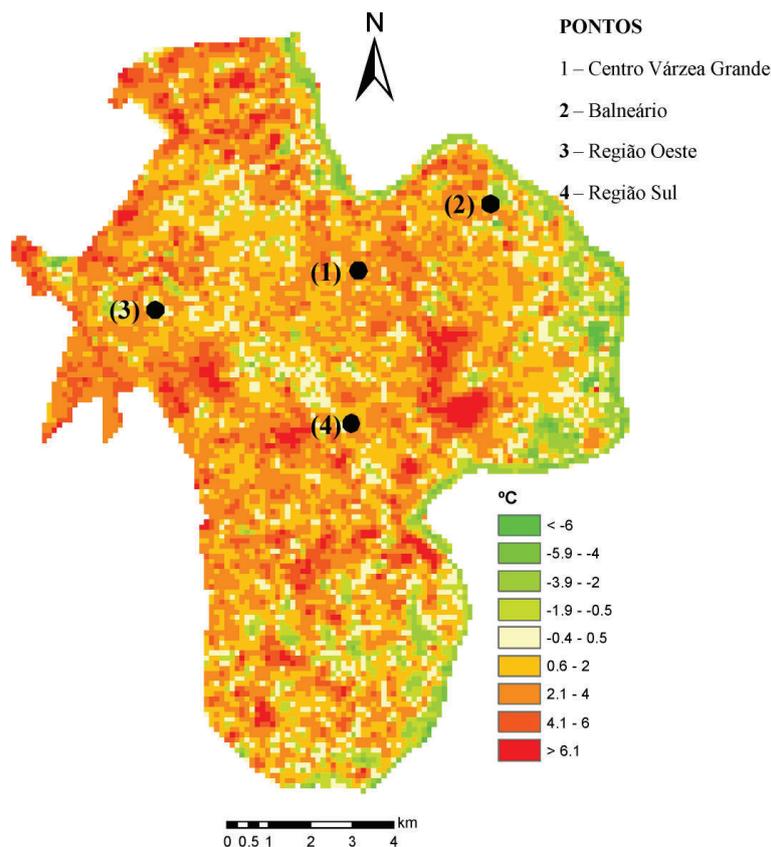


Figura 3 - Comportamento da ilha de calor superficial na cidade

Tabela 7 – Comparação espaço-temporal entre as Ts registradas na cidade de Várzea Grande

TEMPERATURA SUPERFICIAL (°C)				
Ano	Centro de Várzea Grande (1)	“Balneário” área vegetada (2)	Região Oeste (3)	Região Sul (4)
1986	30,58	28,93	32,60	30,17
2007	31,91	30,43	33,38	33,38

Baseado nos resultados obtidos, não se pode afirmar que houve intensificação da ICUS na Região Central cidade de Várzea Grande, com um acréscimo pontual na Ts de 1,34°C. Por outro lado, na Figura 5 é possível observar que a Ts alterou-se de forma acentuada no entorno do centro

da cidade (1), principalmente nos bairros mais afastados da Região Central. Outro fato importante a ser mencionado é que existem regiões que passaram a apresentar  $T_s$  superiores à região central da cidade, como observado na Região Sul (4) e em áreas desnudas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se comparar os mapas de uso e ocupação do solo entre os anos de 1986 e 2007, observou-se visualmente que houve significativa redução da vegetação tanto nas proximidades da região central da cidade como no seu entorno. Grande parte dessa vegetação foi substituída pela construção de novos bairros, ocorrida durante o período em estudo. Nota-se a existência de áreas verdes contornando o rio Cuiabá (mata ciliar) e ao Sul, observa-se, ainda, a presença de grandes manchas isoladas de vegetação nativa (cerrado). Mesmo as áreas protegidas por lei no Plano Diretor do município, principalmente ao longo dos córregos, foram desmatadas pelos assentamentos irregulares (as denominadas invasões), conforme destaca Zeilhofer & Topanotti (2008). Atualmente, as áreas verdes na cidade encontram-se localizadas na vegetação remanescente de áreas não construídas, nas margens de córregos e rios, no interior dos lotes residenciais, nos parques, nas praças, ao longo da malha viária, nos passeios e canteiros centrais.

Percebe-se que a cidade teve o seu desenvolvimento estimulado ao longo dos corredores comerciais que se desenvolveram nas vias de maior tráfego de veículos da cidade. A partir da análise dos mapas de usos e ocupação do solo, foi possível identificar dois eixos preferenciais de desenvolvimento: um leste-oeste, que coincide com o sentido das Avenidas Couto Magalhães, Governador Júlio Campos e Filinto Muller; outro norte-sul que coincide com a Avenida Alzira Zarur. É possível perceber que as regiões mais afastadas desses corredores ( $>1\text{km}$ ) apresentaram menor concentração de área construída. Essa forma de organização urbana pode ter contribuído para minimizar o processo de formação de bolsões de calor conforme destaca Cox (2008), minimizando o efeito de ICU na cidade.

Percebe-se que existe correlação entre os níveis de urbanização e as temperaturas superficiais detectadas nas imagens, com ênfase em um aumento de mais de  $2,13^\circ\text{C}$  em média das temperaturas superficiais nas áreas de baixa e densa urbanização entre os anos de 1986 e 2007. Este aumento pode ser atribuído principalmente às transformações locais ocasionadas pela ocupação do solo ao longo destes anos, bem como pela utilização de materiais com maior capacidade térmica (concreto, pavimento, tijolos dentre outros). Por outro lado, as temperaturas superficiais permaneceram estáveis nas áreas de vegetação remanescente. Os dados demonstram que houve aumento da intensidade da ICUS na cidade de Várzea Grande, o que traz como consequência perda das condições de conforto ambiental na cidade, que, em virtude de sua localização geográfica (Baixada Cuiabana), apresenta média anual temperatura elevada, no valor de  $26,5^\circ\text{C}$  (SEPLAN, 2007).

Os maiores valores de temperatura superficial foram registrados em locais completamente sem vegetação e em áreas que se apresentavam naturalmente desnudas. Cox (2008) relata que a sua estação de referência na região rural apresentou em muitos momentos condições mais severas do que as das áreas urbanas, sendo que maior diferença encontrada foi de  $1,22^\circ\text{C}$  às 9h no mês de agosto de 2007. Desta forma, durante a passagem do satélite entre às 9h e 9h40, o aquecimento das superfícies está apenas se iniciando durante as primeiras horas do dia e o desenvolvimento da ICUS ainda é pequena se comparada com as intensidades registradas à tarde (OKE, 1987).

Estes resultados corroboram com Amorim et al (2009) que analisou e comparou 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, concluindo



que ocorreu o aumento das temperaturas e geração de ilhas de calor urbanas (ICU), decorrentes do processo de urbanização nas duas cidades.

Para que ocorra a interrupção do aumento da temperatura superficial na cidade e sua mitigação ou parcial inversão somente será possível através da intervenção das autoridades municipais. Algumas alternativas podem ser adotadas tais como: redução da taxa anual de ocupação do solo, redução do coeficiente de ocupação nos bairros, principalmente os centrais, preservação da vegetação remanescente e designação de novas áreas verdes, como, por exemplo, criação de novos parques na cidade, estímulo fiscal com intuito de reverter áreas já impermeabilizadas nos bairros, e intensificação na fiscalização no que se refere à aplicação das leis de proteção ambientais existente no município, principalmente, nas áreas de proteção permanentes. Outra importante alternativa seria incentivar o plantio de árvores na cidade, visto que sua presença influencia em dois mecanismos fundamentais para a redução da temperatura nas cidades: o sombreamento e o processo de evapotranspiração (AKBARI et al., 1997). Além de alterar a temperatura e umidade do ar, a vegetação também influencia na direção dos ventos, na filtragem da poluição e na proteção de pisos e fachadas externas por meio do sombreamento, reduzindo a temperatura superficial destes materiais. A utilização de materiais alternativos tanto para cobertura dos edifícios quanto para os pavimentos (concreto e asfalto) presentes nas cidades podem ajudar a reduzir a temperatura superficial dos materiais presentes na cidade e, como consequência, a do ar. As coberturas “frescas” apresentam duas características importantes: alta refletância solar (albedo na ordem de 0,75) o que contribui para reduzir a energia que é absorvida pela cobertura, e alta emissividade térmica, irradiando para longe de si a energia absorvida, e consequentemente, mantendo a cobertura mais fresca (com menores temperaturas). Já os pavimentos “frescos” também utilizam a técnica de aumentar a refletância solar, o que significa, assim como as coberturas, torná-los mais claros em sua coloração (cinza, bege ou tons similares). Outra maneira de resfriar os pavimentos é torná-los mais porosos (permeáveis), permitindo que a água escoe para dentro das camadas do pavimento. Assim, a radiação solar que chega sobre a superfície destes pavimentos poderá ser utilizada para evaporar a água armazenada, resfriando o pavimento em dias ensolarados.

A metodologia para monitoramento da cidade por sensoriamento remoto apresentada neste trabalho pode ser utilizada pelas autoridades locais tanto para acompanhar o desenvolvimento urbano da cidade quanto para avaliar o comportamento da temperatura superficial. É importante destacar que as prefeituras de maior porte já utilizam as técnicas de geosensoriamento principalmente para a cobrança de impostos e planejamento urbano. O aumento da disponibilidade de imagens de alta resolução, como, por exemplo, a do satélite CBERS II B, disponíveis gratuitamente para a América do Sul através do site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, Brasil), assegura o uso de métodos de sensoriamento remoto para o planejamento urbano em grande escala em futuro próximo. Como a temperatura da superfície mostrou-se claramente associada ao uso e ocupação do solo, a questão operacional destas imagens não pode ser considerada como um fator impeditivo aos estudos dos fenômenos relacionados à temperatura superficial nas áreas urbanas, como é o caso da ilha de calor urbana superficial.

## AGRADECIMENTOS

A Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AKBARI, H.; KURN, D.M.; BRETZ, S.E.; HANFORD, J. W. Peak power and cooling energy savings of shade tree. **Journal Energy and Buildings**, v. 25, p. 139-148, 1997.



- AMORIM, M. C. C. T., DUBREUIL V., QUENOL H. e SANT'ANA NETO J. L.. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França), **Confins** - Revista Franco-Brasileira de Geografia [Online], 7 | 2009, Consultado o 19 Dezembro 2011. URL : <http://confins.revues.org/6070> ; DOI : 10.4000/confins.6070
- ARTIS, D. A., CARNAHAN, W. H. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. **Remote Sensing of Environment**, v. 12, p. 313-329, 1982.
- AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 332p.
- BARSI, J. A.; BARKER, J. L.; SCHOTT, J. R. **An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument**. IGARSS03 Centre de Congres Pierre Baudis, Toulouse, France, p. 21-25, 2003.
- CARNAHAM, W. H. & LARSON, R. C. An analysis of an urban heat sink. **Remote Sensing of Environment**, v. 33, p. 65-71, 1990.
- CASELLES, V.; SOBRINO, J.A. Determination of frosts in orange groves from NOAA-9 AVHRR data, **Remote Sensing of Environment**, v.29, p.135-146, 1989.
- CHANDER, G. & MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post-calibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.41, n.11, p. 2674-2677, 2003.
- COCHEV, J. S.; NEVES, S. M. A. S.; NEVES, R. J.; CASARIN, R.; CAMPOS, J.M. Análise espaço-temporal do uso do solo de Cáceres, MT, através de imagens de sensoriamento remoto e SIG. In: 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, **Anais**. Corumbá, MS, 2009.
- COX, E. P. **Interação entre clima e superfície urbanizada: o caso da cidade de Várzea Grande/MT**. 2008. 141f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.
- GALLO, K.P.; MCNAB, A.L.; KARL, T.R.; BROWN, J.F.; HOOD, J.J.; TARPLEY, J.D. The Use of NOAA-AVHRR data for assessment of the urban heat island effect. **Journal of Applied Meteorology**, v. 32, p.899-908, 1995.
- GOÏTA, K.; ROYER, A.; BUSSIÈRES, N. Characterization of land surface thermal structure from NOAA-AVHRR data over a northern Ecosystem. **Remote Sensing of Environment**, v. 60, p. 282-298, 1997.
- GUSSO, A.; FONTANA, D. C.; GONÇALVES, G. A. Mapeamento da temperatura da superfície terrestre com uso do sensor AVHRR/NOAA. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 231-237, 2007.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Pesquisas Geográficas. **Estimativas Populacionais 2007**, 2007. Acessado em 21 de outubro de 2010 em <http://www.ibge.gov.br>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Pesquisas Geográficas. **Estimativas Populacionais 2010**, 2010. Acessado em 23 de março de 2011 em <http://www.ibge.gov.br>.
- KIM, Y. H. & BAIK, J. J. Spatial and temporal structure of urban heat island in Seoul. **American Meteorological Society**, v. 44, p. 591-605, 2005.
- LI, J.; WANG, X-R.; WANG, X-J.; MA, W.; ZHANG, H. Remote sensing evaluation of urban heat island and its spatial pattern of the Shanghai Metropolitan Area, China. **Ecological Complexity**. v. 6, ed. 4, p. 413-420, 2009.
- LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles: O Exemplo de São Paulo**. HUCITEC: São Paulo, 1985.
- MASUDA, K.; TAKASHIMA, T.; TAKAYAMA, Y. Emissivity of pure and sea waters for the model sea surface in the infrared window regions. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 313-329, 1988.
- MENDONÇA, F. O. Clima Urbano de Cidade de Porte Médio e Pequeno: Aspectos teórico-metodológicos e estudos de caso. Sant'Anna Neto, J. L.; Zavantini, J.A. (orgs). **Variabilidade e Mudanças Climáticas: Implicações Ambientais e Socioeconômicas**. Maringá: Eduem, 2000.



MENDONÇA, F.; DUBREUIL, V. Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (Região Metropolitana de Curitiba/PR). **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba: Departamento de Geografia/UFPR, V. 9, ano 9, 2005, p.26.

NICHOL, J. Remote Sensing of Urban Heat Islands by Day and Night. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, V. 71, n. 5, p. 613–621, 2005.

OCHI, S.; UCHIHAMA, D.; TAKEUCHI, W.; YASUOKA, Y. Monitoring urban heat environment using MODIS data for main cities in East Asia. Proceedings of the Asian Conference on GIS, GPS, **Aerial Photography and Remote Sensing**, 07-09 August, Bangkok, Thailand, p.84, 2002.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2ed. Routledge and John Wiley and Son. London/New York: 1987.

OKE, T. R. & VOOGT, J.A. Thermal Remote Sensing of Urban Climates. **Remote Sensing Environment**, v. 86, p. 370-384, 2003.

PENG, D. Q.; CHEN, Y. H.; LI, J.; ZHOU, J. & MA, W. Research on urban surface emissivity based on unmixing pixel. The International Archives of the Photogrammetry, **Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 37, Part B6b, 2008.

RAO, P. K. Remote sensing of urban “heat islands” from an environmental satellite. **Bulletin American Meteorological Society**. 53, p. 647–648, 1972.

SANT'ANNA NETO, J. L. Mudanças Climáticas Globais: Implicações no Desenvolvimento Econômico e na Dinâmica Natural. **Revista Pantaneira**, v. 2, n. 2, p. 66-78, 2000.

SCHÄDLICH, S.; GÖTTSCHE, F. M.; OLESEN, F. S. Influence of land surface parameters and atmosphere on METEOSAT brightness temperatures and generation of land surface temperature maps by temporally and spatially interpolating atmospheric correction. **Remote Sensing of Environment**, 75, p. 39-46, 2001.

SEPLAN (Secretaria de Estado de Planejamento de Mato Grosso). **Anuário Estatístico de Mato Grosso**, 1986. Acessado em 13 de Dezembro 2010 de [www.anuario.seplan.mt.gov.br](http://www.anuario.seplan.mt.gov.br)

SEPLAN (Secretaria de Estado de Planejamento de Mato Grosso). **Anuário Estatístico de Mato Grosso**, 2007. Acessado em 21 de Outubro 2010 de [www.anuario.seplan.mt.gov.br/2007](http://www.anuario.seplan.mt.gov.br/2007).

SOBRINO, J. A.; JIMÉNEZ-MUNOZ, J. C.; ZARCO-TEJADA, P. J.; SEPULCRE-CANTÓ, G.; DE MIGUEL, E. Land surface temperature derived from airborne hyperspectral scanner thermal infrared data. **Remote Sensing of Environment**, v. 102, p. 99–115, 2006.

SOUZA, S. C; MAITELLI, G. T. Mudanças climáticas na interface superfície urbanizada atmosfera. **Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina**. Universidade de São Paulo, 20 a 26 de março de 2005.

SOUZA, J. D. & SILVA, B. B. Correção Atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM – LandSat 5. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, p. 349-358, 2005.

STREUTKER, D. R. Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. **Remote Sensing of Environment**, v. 85, p. 282-289, 2003.

VALOR, E. & CASELLES, V. Mapping land surface emissivity from NDVI: application to European, African, and South American Areas. **Remote Sensing of Environment**, v. 57, p. 167-184, 1996.

VAN DE GRIEND, A. A. & OWE, M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, V. 14, p.1119-1131, 1993.

VOOGT, J. A. & OKE, T. R. Effects of urban surface geometry on remotely-sensed surface temperature. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, p. 895– 920, 1998.

XIAN, G. Satellite remotely-sensed land surface parameters and their climatic effects for three metropolitan regions. **Advances in Space Research**, v. 41, p. 1861–1869, 2008.

XIAN, G. & CRANE, M. An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using LandSat Satellite data. **Remote Sensing of Environment**, v. 104, p. 147–156, 2006.

XU, W.; WOOSTER, M. J.; GRIMMOND, C. S. B. Modelling of urban sensible heat flux at multiple spatial scales: A demonstration using airborne hyperspectral imagery of Shanghai and a temperature–emissivity



separation approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3493–3510, 2008.

ZEILHOFER, P., & TOPANOTTI, V. P. GIS and ordination techniques for evaluation of environmental impacts in informal settlements: A case study from Cuiabá, central Brazil. **Applied Geography**, v. 28, p.1-15, 2008.

ZEILHOFER, P.; SCHREINER, S.; VASCONCELOS, L. C. S. Técnicas de Geoprocessamento para modelação de anomalias de temperatura nos perímetros urbanos de Cuiabá e Várzea Grande MT. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 1, p. 4371-4376, 2009.

Trabalho enviado em novembro de 2011

Trabalho aceito em dezembro de 2011

