



A INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DO SOLO NA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM ÁREAS DE CERRADO.

ERIKA GONÇALVES PIRES¹
MANUEL EDUARDO FERREIRA²

Resumo : O presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento da temperatura de superfície (TST) e sua relação com os diferentes usos e ocupação do solo em áreas do bioma Cerrado. O estudo foi realizado na cidade de Palmas-TO, durante os anos de 2001 e 2011. Os dados de TST foram obtidos a partir da imagem termal do satélite Landsat-5, através da aplicação de um modelo de regressão quadrática. Em determinados locais, como nos espaços urbanos e nas áreas de solos expostos verificou-se um incremento considerável da temperatura, havendo a formação de ilhas de calor, enquanto que nas regiões compostas por áreas de vegetação e nos corpos d'água, não sofreram grandes variações. As maiores variações de TST foram encontrados na região norte e central de Palmas, e em parte da região sul, apresentando aumento de temperatura entre 10 e 16°C.

Palavras-Chave: Temperatura de superfície, Uso e cobertura do solo, Geotecnologias.

Abstract: This paper aims to analyze the behavior of the surface temperature and its relationship to different uses and land cover in Cerrado areas. The study was conducted in the city of Palmas-TO, during 2001 and 2011. The LST data was obtained from the thermal image of the Landsat-5 TM, through a quadratic regression model. In certain locations, such as urban areas and exposed soils there was a considerable increase of the temperature, with the formation of heat islands, while in areas composed of vegetation and water bodies regions, not suffered great variations. The largest variations of TST were found in the northern and central region of Palmas, and part of the southern region, with an increase of temperature between 10 and 16°C.

Keywords: Land surface temperature, Use and land cover, Geotechnology.

1 – Introdução

Nas últimas décadas, a preocupação com o clima mundial tem fomentado vários estudos e discussões acerca do futuro climático do planeta. Observamos a existência de mudanças no clima global, principalmente com o aparecimento de fenômenos naturais extremos, que causam grandes desastres e impactos à população mundial.

As mudanças no uso e na cobertura do solo estão entre os principais causadores de uma série de impactos de ordem ambiental, social e econômica. Dentre os impactos de ordem ambiental, destacamos o aumento da temperatura superficial, que contribuirá para a existência de dias ainda mais quentes afetando diretamente a qualidade de vida das pessoas.

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia IESA/UFG. Professora do IFTO-Palmas. e-mail:erikapires@ifto.edu.br.

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia IESA/UFG. e-mail: mferreira.geo@gmail.com.



Na maioria das cidades brasileiras, nos últimos anos, a urbanização vem ocorrendo de forma acelerada e intensa, formando aglomerados urbanos, incentivando a especulação imobiliária e contribuindo para uma ocupação de áreas caracterizadas como inadequadas para este tipo de uso do solo.

Um dos impactos ambientais urbanos que deve ser considerado no processo de conversão do uso e cobertura do solo é a mudança no campo térmico por meio da substituição de coberturas superficiais naturais e apropriação destes espaços para atividades antrópicas. Uma das formas de estudar esse campo térmico, é por meio do monitoramento da temperatura de superfície, que pode ser obtida por sensoriamento remoto.

Os dados de temperatura podem ser obtidos através da aquisição e análise de dados advindos de sensores que operam na região do infravermelho termal do espectro eletromagnético. A melhor faixa que permite uma maior transmissão da energia emitida da Terra que alcança o sensor na região do infravermelho termal é o intervalo de 8,0 a 14,0 μm (STEINKE *et al.*, 2010).

Vários estudos vem sendo realizado com o intuito de monitorar a temperatura de superfície terrestre a partir de dados satelitários, porém há uma carência de estudos dessa natureza no bioma Cerrado com uma escala espacial adequada, principalmente na região norte do país.

Um dos estudos pioneiros foi o de Lombardo (1985) que analisou a formação de ilhas de calor na cidade de São Paulo, a partir de imagens do satélite Landsat e fotografias aéreas.

Baptista *et al.* (2005) analisaram a variação sazonal da vegetação e da temperatura de superfície em Mossoró-RN, por meio de dados do sensor ASTER, permitindo investigar como a seca se manifesta sobre a vegetação e como a redução de atividade fotossintética aumenta o desconforto térmico.

Correa *et al.* (2012) analisaram a temperatura de superfície em áreas urbanas através de imagens de satélite de média resolução espacial, e concluíram que as imagens termais mostraram-se como uma boa ferramenta para estimativa das temperaturas na área urbana de Santarém-PA, permitindo assim identificar as áreas com maiores temperaturas.

Souza e Ferreira (2012), analisaram o padrão de distribuição espacial da temperatura de superfície terrestre (TST) no município de Goiânia para os anos de 2002 e 2011, utilizando dados dos sensores TM e ETM+ a bordo dos satélites 5 e 7 da série Landsat. O método usado para estimar a TST foi avaliado e validado através da



comparação entre a imagem termal produzida por meio da banda 6 ETM+ e o Produto MOD11A1, o qual apresentou boa correlação.

Mashiki e Campos (2013), estudaram a relação da temperatura de superfície e o uso e ocupação do solo na cidade de Botucatu-SP, a partir do processamento de imagens do satélite Landsat, e constataram que as diferentes classes de uso e ocupação do solo influenciaram diretamente na temperatura aparente observada, evidenciando que áreas com maior disponibilidade de água e vegetação podem influir na amenização dos efeitos de anomalias térmicas.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento da temperatura de superfície e sua relação com os diferentes usos e ocupação do solo em áreas de Cerrado, com intuito de entender o comportamento da temperatura nessa região e servir de subsídio para futuros planejamentos, gestão e administração da ocupação ordenada e racional da área.

2 - Materiais e Métodos

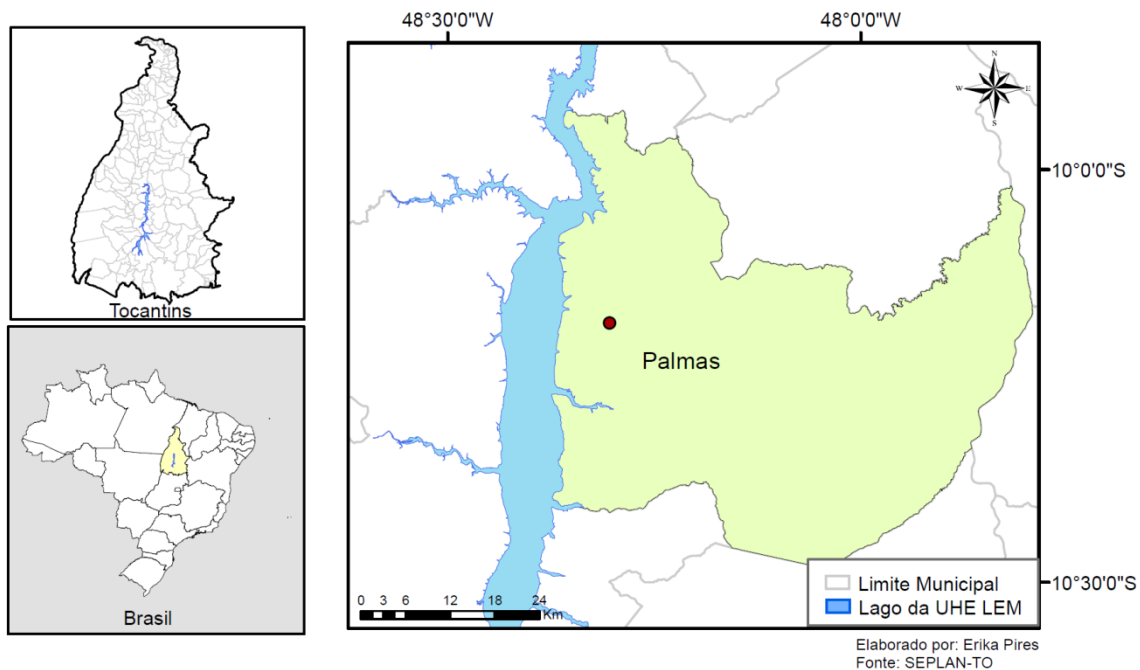


Figura 01 - Mapa de localização da Área de Estudo.

A área de estudo compreende a cidade de Palmas, localizada na região central do Estado do Tocantins, nas coordenadas geográficas de $10^{\circ}11'04''S$ e $48^{\circ}20'01''W$ gr (figura 01). O relevo está caracterizado pelas Serras do Carmo e do Lajeado, que constituem um relevo basicamente escarpado, sendo que a cidade se mantém em uma área de planície



entre a Serra e o Lago formado pelo Reservatório da UHE de Luís Eduardo Magalhães, com altitude média de 260m, e pertence ao bioma Cerrado.

A distribuição sazonal das precipitações pluviiais está bem caracterizada com dois períodos bem definidos: a estação chuvosa de outubro a abril e a estação seca nos meses de maio a setembro.

Segundo a classificação climática de Koppen-Geiger, o clima de Palmas é tropical úmido com estação seca (Aw). A temperatura média anual de Palmas é de aproximadamente 26°C, porém no mês de setembro a temperatura mínima média é de 22°C, enquanto a temperatura máxima média atinge 36°C, e no mês de julho a temperatura mínima média é de 15°C, e a temperatura máxima média é de 33°C (INMET, 2014).

No final dos anos 90, a criação da capital Palmas criou uma nova frente de ocupação na região norte do Tocantins. De acordo com o IBGE (2013), nos últimos 10 anos a cidade de Palmas atingiu uma das maiores taxas de crescimento demográfico do Brasil, havendo um fluxo migratório de praticamente todos os estados brasileiros, principalmente dos Estados do Maranhão, Pará e Goiás. A população de Palmas, praticamente dobrou de 2000 a 2010, passando de 137.355 habitantes para 228.332 habitantes.

Salienta-se também que a construção do reservatório da UHE de Luís Eduardo Magalhães, em 2001/2002, trouxeram significativos impactos ambientais negativos e positivos nos meios físicos, bióticos e antrópicos, contribuindo na alteração da paisagem regional.

Nesse trabalho foram adquiridas imagens do sensor TM do satélite Landsat-5, órbita/ponto 222-067, disponibilizada pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Foram selecionadas as imagens com menor cobertura de nuvens, e que correspondiam a mesma época do ano, e onde as temperaturas geralmente são mais elevadas e causam um maior desconforto para população.

Foi realizado um estudo multitemporal da evolução da temperatura de superfície da região de estudo, e em virtude disso foram escolhidas imagens de 2 períodos distintos, compreendendo o ano de 2001 (antes da criação do reservatório), e 2011.

As imagens do satélite Landsat-5 TM foram georreferenciadas com o método imagem-imagem, utilizado o polinômio de primeiro grau para correção espacial da imagem e o método de interpolação por vizinho mais próximo tendo como referência as imagens Landsat Geocover. Nessa etapa foram utilizados aproximadamente 20 pontos de controle bem distribuídos por toda a imagem, a fim de se obter um menor erro.

Após o georreferenciamento das imagens as mesmas foram recortadas para uma melhor delimitação e equiparação da área de estudo. Salienta-se que inicialmente foram



pré-recortadas as imagens da área de estudo, para posterior realização do georreferenciamento da imagem.

Com intuito de melhorar o aspecto visual das imagens e facilitar a interpretação dos dados, foi realizado o processamento digital das imagens, onde foi aplicado a técnica de realce linear. Além disso, também foram geradas as composições coloridas sintéticas realçadas (RGB).

A temperatura de superfície terrestre (TST) foi estimada a partir da imagem termal (banda 6) do satélite Landsat-5 TM, que possui resolução espacial de 120m e intervalo espectral de 10,4 a 12,5 μm . A TST foi obtida através da aplicação do modelo de regressão quadrática proposto por Malaret et al. (1985), onde o número digital de cada pixel da imagem termal são convertidos nos respectivos valores da temperatura aparente da superfície, conforme equação 1.

$$T = 209.831 + 0.834 \text{ DN} - 0.00133 \text{ DN}^2 \quad (1)$$

onde:

T = temperatura aparente em Kelvin (K)

DN = digital number ou número digital de cada pixel

As temperaturas resultantes foram convertidas para graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) com a subtração do valor da temperatura do ponto de congelamento da água ao nível do mar, que equivale a 273,15 K.

As imagens de temperatura de superfície foram classificadas e foi aplicada uma escala cromática de pseudocor às imagens resultantes, com o intuito de melhor identificar o comportamento da temperatura na imagens.

Foi realizada a subtração das imagens TST, para determinação da variação de temperatura (Δt) no período estudado (análise temporal), obtendo a imagem da variação da temperatura no período estudado.

A classificação das imagens foi feita utilizando o classificador Máxima Verossimilhança (MaxVer). Para a realização da classificação, foram executadas as seguintes etapas: treinamento, análise das amostras, classificação e mapeamento das classes. A partir das imagens classificadas, foram confeccionados os mapas de uso e cobertura do solo.

Após a obtenção das imagens retificadas geometricamente com as informações das classes de uso e ocupação do solo e a geração da imagem da banda termal com dados de temperatura aparente de superfície, realizou-se o cruzamento das mesmas com a finalidade

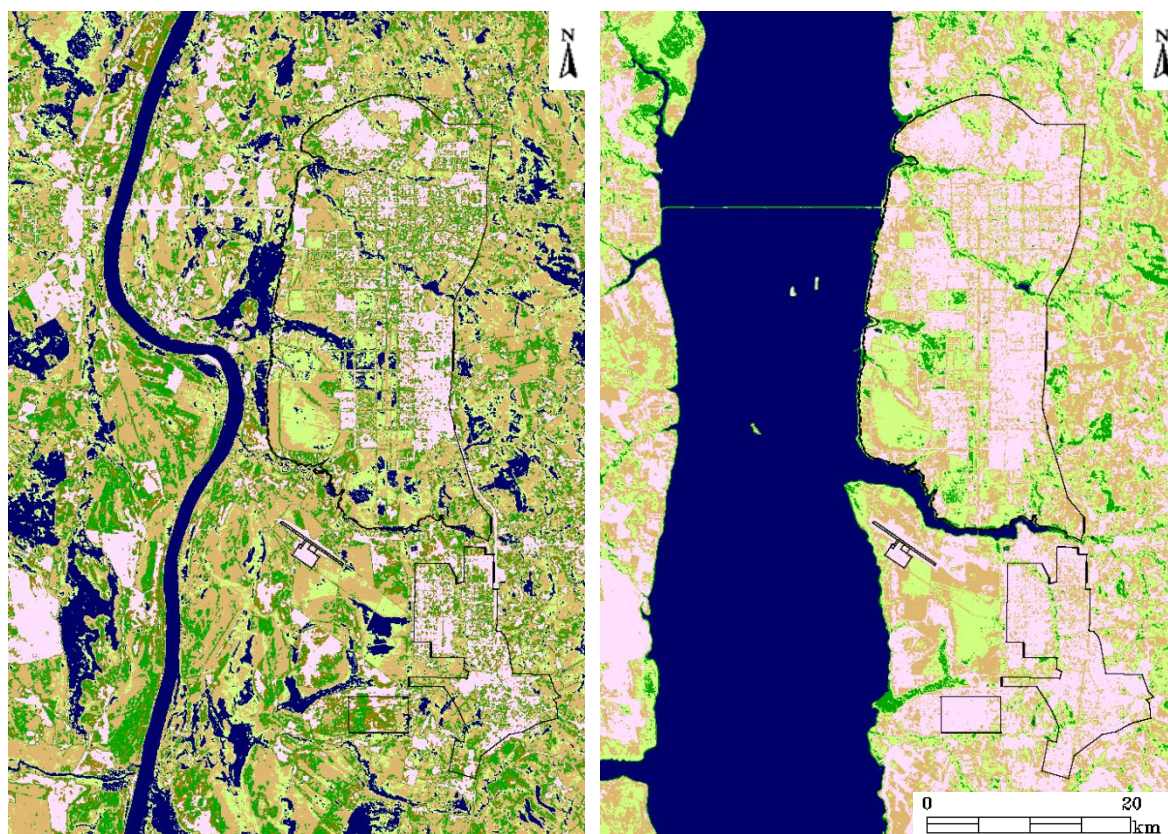


de analisar o comportamento térmico para cada área de uso escolhida, sendo possível analisar a temperatura aparente da superfície em seus valores máximos e mínimos.

Para confirmação das classes de uso do solo foram utilizadas as imagens de alta resolução do Google Earth Pro associadas às imagens da composição RGB do satélite Landsat 5, as quais permitiram identificar e mapear quatro classes de uso: hidrografia, vegetação, área urbana/solo exposto e pastagem.

3- Resultados e Discussão

O mapa de uso e cobertura do solo mostra uma grande variação do uso entre os anos de 2001 e 2011, na cidade de Palmas e nas áreas no entorno da mesma (figura 02).



— Plano Diretor

Figura 02: Uso e cobertura do solo da cidade de Palmas-TO, nos anos de 2001 e 2011, respectivamente.

Observa-se que houve um aumento elevado no tamanho da área urbana da cidade, passando de 16,4% (2001) para 21,9% (2011), além de um aumento na densidade da mesma (Tabela 01). Quanto a vegetação densa ocorreu uma diminuição da mesma em 2011, passando de 13,8% (2001) para apenas 4% em 2011. Em relação a hidrografia houve



um aumento devido a criação do Lago da UHE de Luis Eduardo de Magalhães, em torno de 23%.

Salienta-se que a imagem classificada de 2001 possui algumas áreas alagadas que não existem mais em 2011, em virtude da criação do lago. Além disso, algumas áreas de queimadas foram classificadas como pertencente a classe de hidrografia, porém estima-se que não ultrapasse a 2% da área quantificada.

Classes	Porcentagem - 2001	Porcentagem -2011
Hidrografia/Área Úmida/Queimada	13,8 %	37,1 %
Vegetação Rala	13,6 %	17,5 %
Vegetação Densa	13,8 %	4,0 %
Área Urbana/Solo Exposto	16,4 %	21,9 %
Pastagem/Malha Viária	42,4 %	19,5 %
Total	100%	100%

Tabela 01: Porcentagem de uso e cobertura do solo.

Outro fato importante é na diminuição da área de pastagem, em virtude da criação do lago, e da conversão do uso para área urbana e solo exposto.

As imagens de temperatura de superfície (TST) mostraram uma grande variação de temperatura entre os anos de 2001 e 2011, conforme figura 3. A imagem TST de 2001 apresentou temperaturas variando de aproximadamente 18 a 34°C, sendo que as maiores temperaturas foram registradas na área urbana (30 a 32°C) e em áreas de solo exposto (32 a 34°C). As áreas cobertas por vegetação apresentaram temperatura médias menores que as áreas com solo exposto (22 a 26°C), pois as árvores e a cobertura vegetal refrescam suas circunvizinhanças, uma vez que a evaporação converte a energia solar em água evaporada ao invés de calor, mantendo as temperaturas da vegetação e do ar mais baixas, bem como, promovem sombras para as superfícies, protegendo-as do calor do sol e proporcionando superfícies mais frescas com a redução do calor armazenado.

A imagem TST de 2011 apresentou maiores temperaturas também na área urbana e em áreas de solo exposto, além de apresentar maiores valores em relação a imagem TST de 2001, com temperaturas variando de aproximadamente 36 a 44°C.

(a) 04/08/2001

(a) 16/08/2011



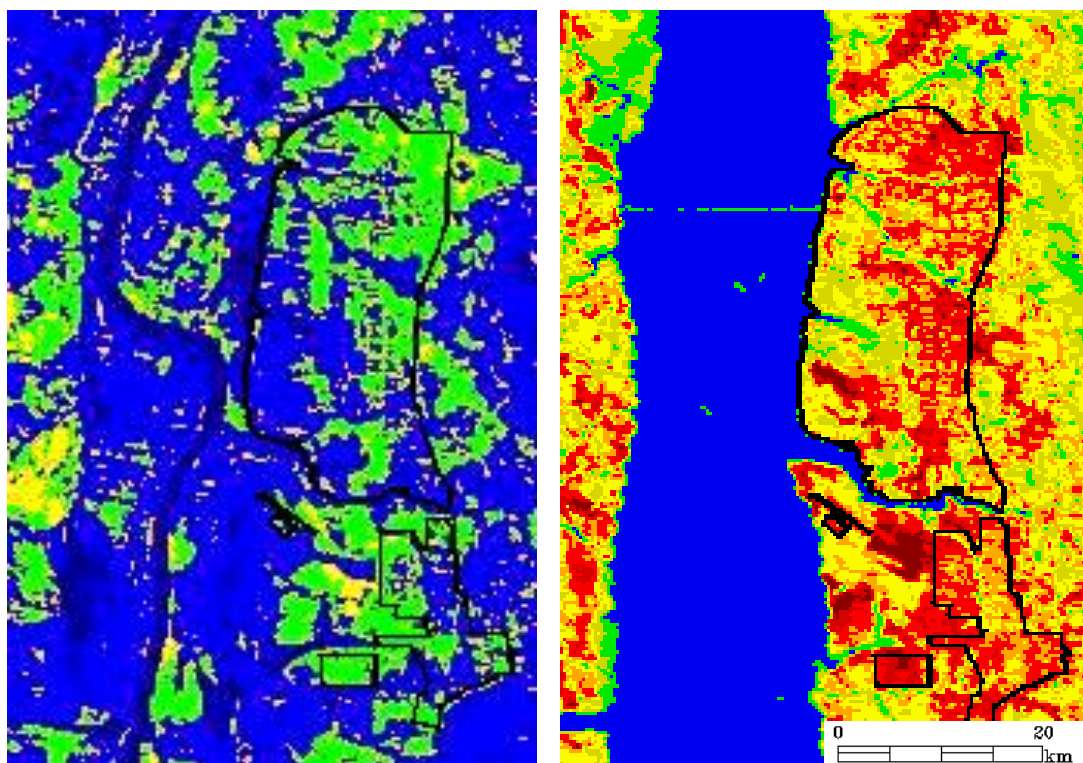


Figura 03: Variação da Temperatura de Superfície - Banda 6 - Landsat-5 TM.

As áreas de hidrografias apresentaram a menor temperatura dentre as classes estudadas, devido ao seu elevado calor específico ($1\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$), uma vez que é necessário grande quantidade de energia para elevar sua temperatura, apresentaram valores em torno de 18 a 22°C em 2001 e 22 a 26°C em 2011.

Período	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)			
	Mínima	Máxima	Média	Desvio Padrão
04/08/2001	18,12	33,42	24,85	2,17
16/08/2011	23,11	43,72	33,63	4,18

Tabela 02: Temperatura de Superfície - Banda 6 - Landsat-5 TM.

A tabela 02 mostra a temperatura mínima, máxima e média das imagens TST dos anos de 2001 e 2011, e o desvio padrão dos dados. Nota-se que a imagem de TST de 2001 apresentou os menores valores de temperatura mínima e máxima, com temperatura média de $24,85^{\circ}\text{C}$, e um desvio padrão de 2,17. A imagem TST de 2011 apresentou um aumento



da temperatura mínima de 5°C, em relação a imagem TST de 2001, e a temperatura máxima de 10°C, e um desvio padrão de 4,18.

Comparando as imagens TST de 2001 e 2011 (figura 03) e o resultado das subtração das imagens (figura 04), nota-se que houve um grande aumento na TST na região norte e central da área urbana de Palmas, e em parte da região sul da cidade, apresentando aumento de temperatura entre 10 e 16°C (figura 04). Observa-se também que houve uma variação da TST entre os anos de 2001 e 2011 na área urbana de Palmas-TO, em torno de 5 a 10°C, e de 10 a 16°C em algumas regiões isoladas na região norte e sul da cidade.

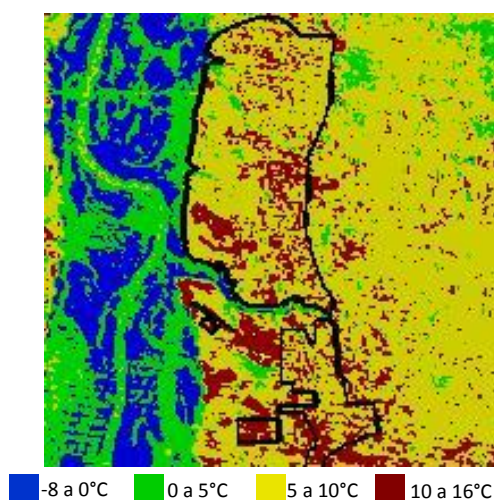


Figura 04: Resultado da subtração de imagens TST- Área Urbana de Palmas-TO (2011-2001).

Salienta-se que há uma variação de até 10°C na TST da área urbana de Palmas-TO em 2011 com relação a 2001, ocorrendo a formação de ilhas de calor. A diminuição da vegetação na área urbana e a densidade urbana possivelmente contribuiu para o aumento da temperatura nessa área.

As ilhas de calor são um fenômeno climático que ocorre principalmente nas cidades com elevado grau de urbanização, havendo um aumento da temperatura média ao longo da mancha urbana, fato este que ocorre em grande parte na área urbana de Palmas. A temperatura desses locais são mais elevadas do que nas regiões periféricas, causando um desconforto térmico aos moradores dessas regiões.

De acordo com OKE (1978) as ilhas de calor constituem o resultado das modificações dos parâmetros da superfície e da atmosfera pela urbanização. E segundo o mesmo autor as ilhas de calor são formadas principalmente pela menor evaporação



existente, devido à retirada da vegetação e à diminuição de superfícies líquidas, o que diminui o fluxo de calor latente ou evapotranspiração e aumenta o fluxo de calor sensível.

A região do reservatório apresentou uma diminuição no valor da TST de até 8°C, e um aumento na temperatura do leito natural do Rio Tocantins em torno de 5°C. As demais regiões apresentaram um aumento da TST variando de 5 a 10°C (figura 4).

Os dados de temperatura de superfície obtidos da banda 6 do satélite Landsat-5 TM (10:15h) foram comparados com os dados de temperatura do ar (12:00h), medida na estação meteorológica (n° 83033) do INMET localizada na região central de Palmas-TO, conforme mostra a tabela 03. A diferença de temperatura foi de 0,5°C nos anos de 2001 e 2011, em relação a temperatura do ar da estação do INMET.

Data	Estação INMET	TST (B6)	Diferença
04/08/2001	26,9°C	26,4°C	0,5
16/08/2011	33,1°C	33,6°C	-0,5

Tabela 3 – Dados da temperatura do ar - INMET (12h) e TST do satélite Landsat 5 – TM

A comparação entre esses dois dados mostram que o dia 04/08/2001 apresentou temperatura de superfície e temperatura do ar, menores dos que os demais anos. A diferença entre a temperatura TST e a temperatura do ar obtida na estação do INMET, nesse período, não passou de 0,5°C, o que mostra que não houve discrepância entre os dados, e valida as baixas temperaturas obtidas nas imagens TST desse período. Cabe ressaltar que conforme os dados do INMET não ocorreu precipitação nos dois dias analisados, fato justificado pois o mês de agosto caracteriza por ser um período de estiagem.

Salienta-se que apesar da temperatura de superfície ser equivalente a temperatura do solo e não a temperatura atmosférica, as duas variáveis apresentaram forte correlação, e mostra que não há grande divergência entre os resultados obtidos.

4 - Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram estabelecer algumas conclusões acerca da distribuição da temperatura de superfície (TST) na cidade de Palmas-TO. A avaliação temporal das informações assinala um aumento da temperatura entre os anos analisados. Em determinados locais, como nos espaços urbanos e nas áreas de solos expostos verificou-se um incremento considerável da temperatura, havendo a formação de



ilhas de calor, enquanto que nas regiões compostas por áreas de vegetação e nos corpos d'água, não sofreram grandes variações.

As imagens de temperatura de superfície (TST) registrada pelos sensores termais do satélite Landsat-5 TM permitiu visualizar a sua distribuição espacial da mesma, em 2 períodos distintos (2001 e 2011), e avaliar o comportamento da TST ao longo dos anos.

Os dados obtidos neste estudo permitem afirmar que, na área de estudo, é possível perceber uma correlação negativa entre a presença de cobertura vegetal e corpos hídricos e a variação da temperatura superficial terrestre, ou seja, quanto maior a presença da vegetação e dos corpos d'água, menor tendem a ser as temperaturas superficiais.

Portanto, as diferentes coberturas do solo influenciaram diretamente na temperatura aparente observada nas imagens, e apresenta padrões de comportamento diferenciados de absorção de energia, produção de calor e reflectância.

Os dados obtidos nesse trabalho poderão servir de base para planejamento e implementação de políticas para a escolha das áreas de expansão urbana, a fim de evitar o crescimento desordenado da cidade, e conseqüentemente evitar o surgimento de mais regiões com temperaturas elevadas.

De acordo com o cenário atual, recomenda-se o reflorestamento de áreas que foram desmatadas, além do plantio de árvores principalmente na área urbana, com intuito de aumentar o conforto térmico da população.

O uso de geotecnologias mostrou-se uma importante ferramenta para monitoramento e estimação da temperatura de superfície em áreas de Cerrado, e poderá servir de subsídio para futuros planejamentos, gestão e administração da ocupação ordenada da região.

Referências Bibliográficas

Baptista. G, M, de M.; Carvalho. J, M.; Camacho. R, G, V.; Bias. S. E.; Zara. F, L. **Varição sazonal da vegetação e da temperatura de superfície em Mossoró, RN, por meio de dados ASTER.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 2843-2850. Goiânia, 2005.

CORREA, P. B. CORREA, J. A. J. ANDRADE, S. C. P. **Análise da temperatura de superfície da área urbana de Santarém através de imagens termais do Landsat 5.** Revista Geonorte, Edição Especial, V.2, N.4, p.714 – 722, 2012.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Dados populacionais - Censo 2010.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 18/12/2013.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **Base dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP.** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em: 29/01/2014.



LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo.** São Paulo: HUCITEC, 1985, 244 p.

MALARET, E; BARTOLUCCI, L. A; LOZANO, D. F.; ANUTA, P. E.; MCGILLEM, C D. **Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper data quality analysis.** In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 51, pp. 1407-1416, 1985.

MASHIKI, M. Y; CAMPOS, S. **Influência do uso e ocupação do solo na temperatura aparente da superfície no município de Botucatu/SP.** Energ. Agric., Botucatu, vol. 28, n.3, p.143-149, julho-setembro, 2013.

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

SOUSA, S. B.; FERREIRA, L. G. **Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio de sensoriamento remoto no município de Goiânia, Goiás (2002 2011).** Confins (Paris), v. 15, p. 1-21, 2012.

STEINKE, V. A.; STEINKE, E. T.; SAITO, C. H. **Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em Planaltina-DF.** Revista Brasileira de Climatologia, ano 6, p. 37-56, 2010.