



Ilhas de calor nas cidades contidas na Bacia do Alto Paraguai, Brasil

Géssica de Jesus Oliveira Silva 1

Charles Caione 2

Vicktor Lima Souza 1

Alexander Webber Perlandim Ramos 1

Sandra Mara Alves da Silva Neves 1

Edinéia Aparecida dos Santos Galvanin 3

1 Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/ Campus Cáceres – Laboratório de Geotecnologias Unemat-

Av. Santos Dumont, s/n. Sala 09. Bloco 1. B: Santos Dumont

78200-000 Cáceres - MT, Brasil

gessica.unemat; vicktorlima17@gmail.com; webberge@outlook.com; ssneves@unemat.br.

2 Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/ Nova Xavantina - Programa de pós-graduação em Ecologia e Conservação.

Av. Expedição Roncador Xingu -

CEP: 78680-000 Nova Xavantina - MT, Brasil

charlescaione@gmail.com

3 Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/ Campus Barra do Bugres Laboratório de Geomática – Unemat

Rua A, s/n. B. Cohab São Raimundo

CEP: 78390-000 Barra do Bugres - MT, Brasil

galvaninbbg@unemat.br

Resumo. Objetivou-se neste estudo investigar as ilhas de calor nas cidades localizadas na Bacia do Alto Paraguai, nos estados brasileiro de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8 do ano de 2015. Foram aplicadas técnicas de processamento digital de imagens no software SPRING 5.3 e geradas as quantificações e layouts no software ArcGis 10.4.1. Os resultados mostraram que nas cidades investigadas da BAP as maiores extensões de áreas impermeabilizadas e de solo exposto apresentam menor Índice de Vegetação da Diferença Normalizada e maiores valores de temperatura superficial. Conclui-se que, de modo geral, os bairros centro e adjacentes das cidades de Cáceres, Cuiabá, Várzea Grande, Tangará da Serra, Rondonópolis e Corumbá apresentam maior propensão à formação de ilhas de calor.

Palavras-chave: geotecnologias, processamento de imagens, variação térmica.

Abstract. The objective of this study to investigate the heat islands in the cities located in the basin of Alto Paraguay, Brazilian states of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul. Landsat satellite images were used 8 of the year 2015. Applied digital image processing techniques in the SPRING and the generated software 5.3 quantification and layouts in ArcGIS 10.4.1. The results showed that in cities investigated the BAP the largest expanses of impermeable and exposed soil areas feature less Difference Vegetation Index Normalized and higher values of surface temperature. It is concluded that, in general, the centre and adjacent neighborhoods of the cities of Cáceres, Cuiabá, Várzea Grande, Tangará da Serra, Rondonópolis and Corumbá show a higher propensity to formation of heat islands.

Keywords: geotechnologies, image processing, thermal variation.

1. Introdução

O aumento de áreas edificadas tem ocasionado alterações nos microclimas dos centros urbanos, considerando que a redução da cobertura florestal favorece o aumento da temperatura no meio urbano (Caioni, 2014). Oke (1973), acrescenta que nas áreas centrais das cidades onde há a presença de índices elevados de absorção de calor, que podem ser provocados por poluição atmosférica, redução da cobertura vegetal vinculada ao aumento de áreas impermeabilizadas juntamente com a expansão industrial das cidades. A redução da cobertura vegetal vinculada ao aumento de áreas impermeabilizadas potencializam o surgimento do fenômeno de ilhas de calor urbana (Ortiz, 2012).

Nas últimas quatro décadas houve crescimento na utilização de sensores termais acoplados a diferentes plataformas, combinando satélites, aeronaves e estações em superfícies fixas (Vooigt e Oke, 2003), na observação, quantificação e diferenciação entre Ilhas de Calor Superficial (ICUS) e Ilhas de Calor Atmosférica, evidenciando a potencialidade das ferramentas geotecnológicas no estudo da temática. Desta forma, o uso de sensoriamento remoto nos estudos dessa temática configura-se como uma importante ferramenta de análise, visto que permite a obtenção de dados térmicos mais acurados em um curto espaço de tempo (Novo, 1989).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) de acordo com Galvanin et al. (2014) é utilizado para avaliar as mudanças do vigor vegetativo das plantas, com o intuito do estabelecimento de correlação com outros parâmetros, citando como o índice de área foliar, a biomassa ou a produtividade da vegetação.

A temperatura superficial de acordo com Caioni (2014) pode apresentar valores distintos ao se fazer uma relação entre os diferentes usos da terra e cobertura vegetal.

2. Objetivo

Objetivou-se nesse estudo investigar as ilhas de calor das cidades localizadas na Bacia do Alto Paraguai (BAP), situadas nos estados brasileiro de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

3. Material e Métodos

3.1- Área de Estudo

As sedes dos municípios de Cáceres, Cuiabá, Rondonópolis, Tangará da Serra, Várzea Grande e Corumbá, situados na Bacia do Alto Paraguai (**Figura 1**), constituíram as áreas de estudo desta pesquisa. As cidades foram selecionadas a partir do critério de total populacional, considerando que estes municípios possuem os maiores totais populacionais (**Tabela 1**).

Tabela 1: População dos municípios, cujas sedes constituem as áreas de pesquisa deste estudo.

Municípios	População*		
	Total	Urbana	Rural
Cáceres	87.942	76.568	11.374
Corumbá	103.703	93.452	10.251
Cuiabá	551.098	540.814	10.284
Rondonópolis	195.476	188.028	7.448
Tangará da Serra	83.431	75.921	7.510
Várzea Grande	252.596	248.704	3.892

* Censo demográfico de 2010 (IBGE, 2016).

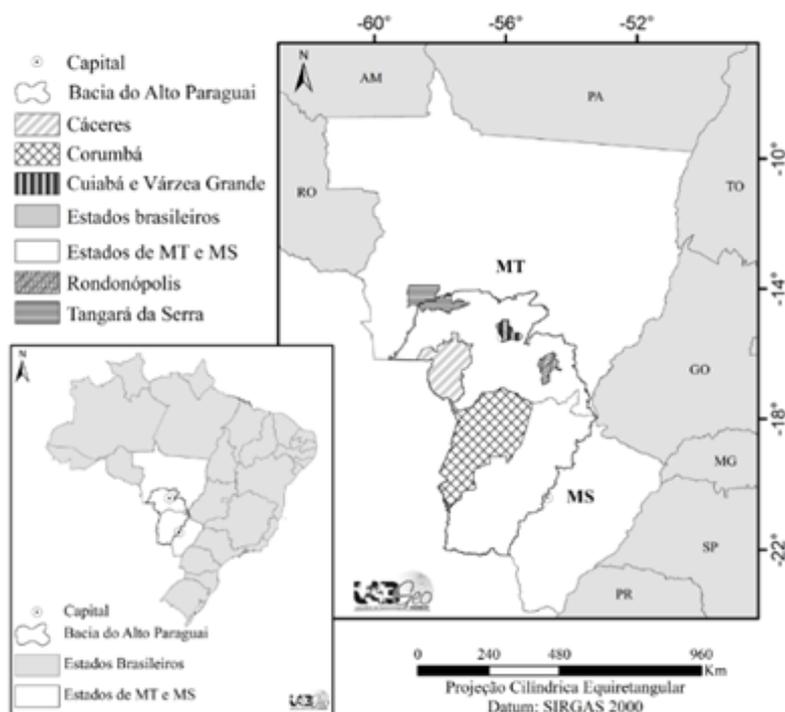


Figura 1. Estados e municípios onde se encontram as cidades de estudo. Fonte: LABGEO UNEMAT, 2016.

3.2. Procedimentos metodológicos

Para a geração dos mapas temáticos utilizou-se cinco imagens do satélite Landsat 8 (**Tabela 2**), sensor *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared* obtidas gratuitamente no formato “tif” no sítio do Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS, 2013), bandas 4, 5, 6 com resolução de 30 metros e banda 10 com 100 metros.

Tabela 2: Órbitas/ Pontos e a Data das imagens que recobrem a área de estudo.

Órbitas/Pontos	227/71	227/73	225/71	227/70	226/71
Data	02-09-2015	25-08-2015	24-04-2015	25-08-2015	26-07-2015

Para a elaboração do mapa de cobertura vegetal e uso do solo urbano no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), versão 5.3, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (Câmara et al., 1996) foi criado um Banco de Dados Geográfico (BDG), com as seguintes informações cartográficas: projeção e datum: Universal Transversa de

Mercator/SIRGAS-2000 e retângulo envolvente: Long 1 (60° 00' 00") e Long 2 (54° 00' 00") e Lat 1 (20° 00' 00") e Lat 2 (7° 00' 00"). Realizou-se os procedimentos de recorte, segmentação e classificação no SPRING utilizando as bandas 4, 5 e 6 que foram selecionadas por possibilitar melhor visualização e interpretação da imagem.

Na segmentação utilizou-se o método de crescimento de regiões para agrupar os "pixels" adjacentes e semelhantes, gerando regiões homogêneas. Os limiares de similaridade foi 100 e de área 100, sendo que de acordo com Nascimento et al. (1998) a similaridade refere-se a distância euclidiana máxima entre os centros espectrais de duas regiões e a área é o tamanho mínimo em *pixel* de uma região que se pretende delimitar.

Na classificação utilizou-se o Bhattacharya que de acordo com Oliveira e Mataveli (2013) é um classificador supervisionado por regiões que utiliza a distância Bhattacharya para aferir a separabilidade entre cada par de classes espectrais, posto isso foram definidas de acordo com o RadamBrasil (1985) as seguintes classes temáticas: Área impermeabilizada (todas as formas de edificações presentes nos perímetros urbanos), Massa d' água (áreas ocupadas com água livre de vegetação, englobando os rios e lagos), Solo exposto (locais cuja cobertura vegetal foi suprimida em sua totalidade), Vegetação (todos os tipos de formações vegetacionais).

O arquivo vetorial da classificação foi exportado no formato *shapefile* (shp.) para edição e quantificação no ArcGis, versão 10.4.1 (Esri, 2016). Os erros de rotulação de classes foram corrigidos por meio da edição de polígonos, quando havia discordância entre os resultados da classificação.

Para a geração do mapa termal, no *software* ArcGis, foi utilizada as ferramentas *Extract by mask* e *Raster Calculator*. Aplicou-se nas bandas 10 (infravermelho termal) de cada imagem os procedimentos de recorte e conversão dos níveis de cinza para radiância, de acordo com Coelho e Correa (2013), por meio da fórmula 1.

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL \quad (1)$$

onde:

$L\lambda$ = Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts/(m² sr μm);

ML = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3.3420E-04;

AL = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000;

Q_{cal} = Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10.

Através da aquisição dos valores de radiância foi aplicada a fórmula 2 (Coelho e Correa, 2013), que possibilitou a obtenção dos diferentes níveis de temperatura da imagem.

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

sendo:

T: Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K);

K2: Constante de calibração 2 = 1.321.08 (K);

K1: Constante de calibração 1 = 774.89 (K);

$L\lambda$: Radiância espectral em Watts/(m² sr μm).

Após a conclusão das duas etapas apresentadas os valores de temperatura em Kelvin foram convertidos em graus Celsius (°C) a partir da fórmula 3.

$$T_c = T_k - 273,15 \quad (3)$$

onde:

T_c : Temperatura em Celsius

T_k : Temperatura em Kelvin.

A quantificação dos valores de *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI (Rouse et al., 1974; Deering et al., 1975) foi executada no software ArcGis, versão 10.4.1 (ESRI, 2016). O NDVI é obtido através da refletância do infravermelho próximo e do vermelho, que correspondem as bandas 4 e 5 do sensor OLI do satélite Landsat 8, respectivamente (Fórmula 4).

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (4)$$

Sendo:

NIR = resposta espectral do pixel na banda do infravermelho próximo, representado pela banda B5;

R = resposta espectral do pixel na banda do vermelho, representado pela B4.

A quantificação das classes mapeadas no ArcGis 10.4.1 foram exportadas na extensão .dbf, para o programa *Excel* da *Microsoft*, onde foram realizados os cálculos. Por meio de sobreposição dos produtos gerados foram estabelecidas as análises.

4. Resultados e Discussão

As geotecnologias, SIG e Sensoriamento Remoto, possibilitaram a geração e a análise comparativa de dados para a cobertura vegetal e uso do solo urbano (**Figura 2 e Tabela 3**), NDVI (**Figura 3**) e Temperatura Superficial (**Figura 4**).

As recentes modificações ocorridas nas cidades são indicadores da intervenção humana no meio ambiente, que segundo Lopes (2013) é de total pertinência averiguar a ação antrópica sobre o meio em que vive.

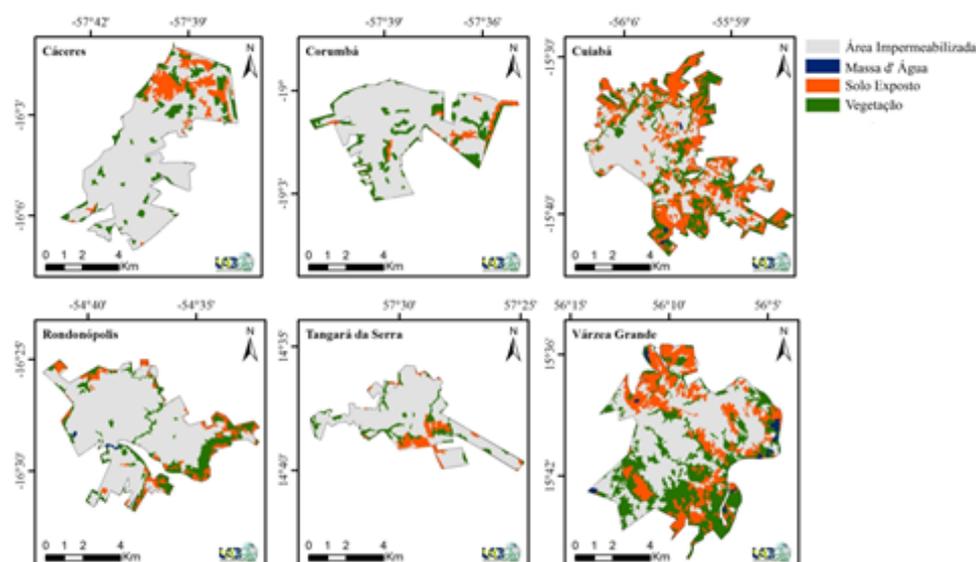


Figura 2: Cobertura vegetal e uso do solo das cidades de estudo, situadas na BAP. Fonte: LAB-GEO UNEMAT, 2016.

Tabela 3: Cobertura vegetal e uso do solo nas cidades de Cáceres/MT, Corumbá/MS, Cuiabá/MT, Rondonópolis/MT, Tangará da Serra/MT e Várzea Grande/MT.

Classes (Km ²)	Cáceres	Corumbá	Cuiabá	Rondonópolis	Tangará da Serra	Várzea Grande
Área Impermeabilizada	37	28,11	102,8553	75,6728	33,4685	79,2594
Massa d' Água	0,0017	0	0,5634	0,2566	0	1,6851
Solo Exposto	4,9647	2,36	84,075	13	4,2227	41,2263
Vegetação	1,9072	2,53	47,5063	9,0706	2,3088	51,8292
TOTAL	43,874	32,996	235	98	40	174

É perceptível na **Figura 2** a presença de solo exposto e vegetação esparsa em todas as cidades de estudo, Cuiabá - MT apresenta os maiores índices de solo exposto (35,78%), área impermeabilizada (43,77%) e um total de 20,22% de vegetação, além de uma pequena massa d'água (0,24%). Corumbá - MS possui a menor extensão de área impermeabilizada e a vegetação corresponde a 7,65% e o solo exposto a 7,16%. Em Mato Grosso a cidade com maior área impermeabilizada, se comparada a seu perímetro urbano, é Cáceres (84,33%) a vegetação corresponde a 4,35% e o solo exposto a 11,32%.

A classe com menor representatividade em área é a Massa d'água, cuja soma de seu percentual em todas as áreas urbanas correspondeu a 1,47%.

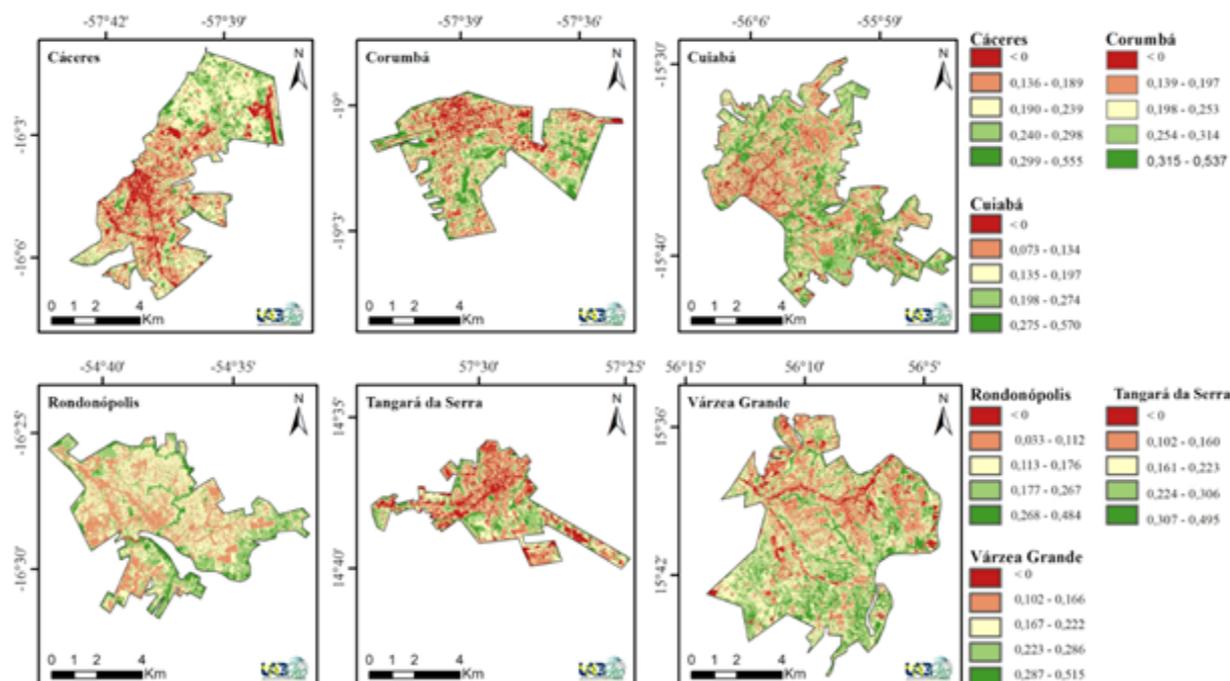


Figura 3: NDVI das cidades de estudo. Fonte: LABGEO UNEMAT, 2016.

Por meio da sobreposição das **Figuras 2 e 3** em SIG foi possível verificar nos perímetros urbanos das urbes analisadas que as áreas impermeabilizadas e com solos expostos apresentam os menores valores de NDVI enquanto que os locais com cobertura vegetal apresentam valores maiores. Assim sendo Cuiabá exibiu o maior índice de vigor da vegetação, com 0,570; seguido por Cáceres, com 0,555 e o menor índice foi o da cidade de Rondonópolis (0,033).

Tal verificação é de suma importância, pois de acordo com Rosembach (2004) através da análise por NDVI temos a possibilidade de comparar através da vegetação as áreas que estão

susceptíveis a instabilidades ambientais, podendo também determinar quais áreas provavelmente estão sofrendo maior impacto, que de acordo com Copque (2011) podem ser alterações no regime de chuvas, alagamentos devido à impermeabilidade do solo, alterações no microclima e elevação da temperatura.

Constatou-se relação entre as extensões territoriais dos mapas de cobertura vegetal e uso do solo e NDVI com os valores encontrados de Temperatura da Superfície, mostrando a diferença de mais de 10 °C entre áreas de maiores e menores temperaturas.

A **Figura 4** mostra o comportamento da temperatura superficial no perímetro urbano das cidades analisadas.

A cidade de Rondonópolis apresentou o menor índice térmico (classe de 23,06 a 33,84 °C) devido ao vigor da vegetação, como mostrado na **Figura 3**. A máxima também em Rondonópolis, alcançou em um ponto isolado 46,96 °C, devido a essa alteração verificou-se no mapa que, além do solo estar exposto este foi submetido à queimada, o que ocasionou a diferença de 23,9 °C entre a mínima e a máxima, o que se explica conforme Sousa (2007) que a queimada produz perda de humidade da vegetação/solo, com algumas exceções, e aumento da temperatura.

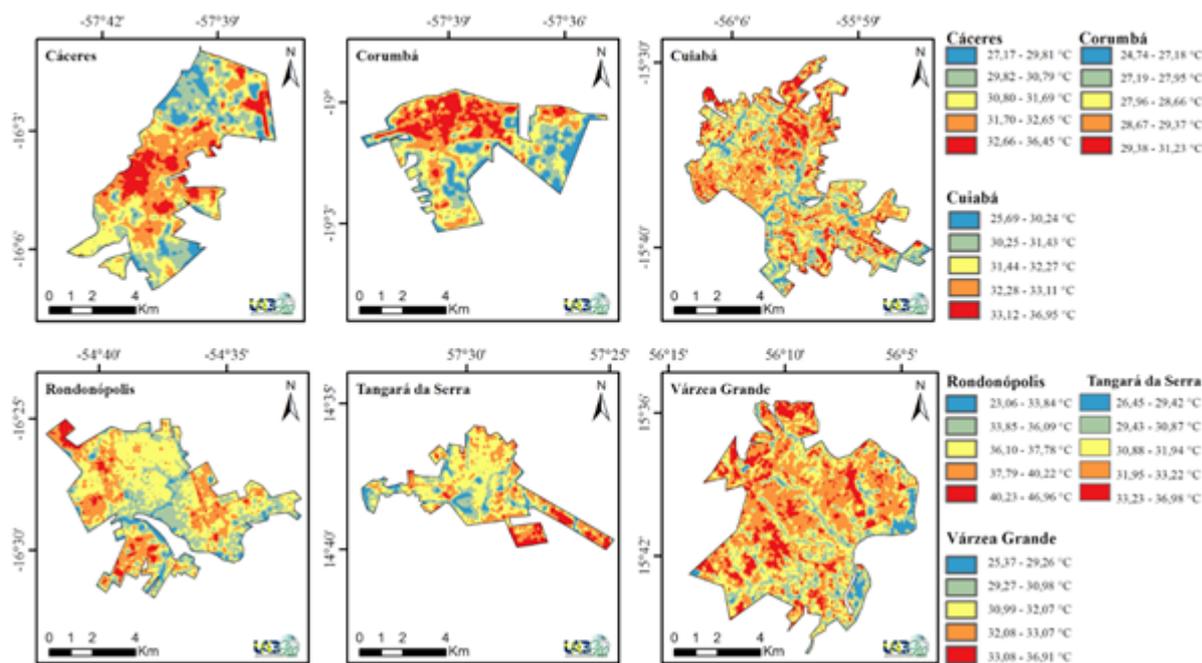


Figura 4: Comportamento da temperatura superficial nos perímetros urbanos das cidades investigadas. Fonte: LABGEO UNEMAT, 2016.

No que se refere aos menores índices térmicos de todas as cidades constatou-se forte relação desta com as áreas que há presença de cobertura vegetal. Santos (2011) afirmou que a quantidade de radiação solar que chega à superfície abaixo da copa é reduzida, uma vez que parte da radiação incidente é absorvida pelas folhas e outra fração é refletida de volta para atmosfera. Os maiores índices corresponderam as áreas edificadas, com presença de solo exposto e com baixo índice de vegetação de acordo com Souza et al. (2016) a presença desses materiais interfere diretamente no balanço de energia em zonas urbanas.

5. Conclusões

As cidades com maior extensão de área edificada e solo exposto apresentaram menor NDVI. A temperatura superficial em decorrência da redução da vegetação tem ocasionado o aumento da temperatura, potencializando o risco de surgimento das ilhas de calor. Através do estudo também obtivemos a localização da concentração termal de cada cidade da área de estudo.

6. Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso -FAPEMAT pela concessão de bolsas de Iniciação ao Extensionismo - IEX e de Doutorado e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq pela concessão de bolsa de Iniciação Científica-PIBIC.

Ao projeto de pesquisa “Realidades socioambientais dos assentamentos do sudoeste mato-grossense na região fronteira entre Brasil e Bolívia” financiado pelo Programa de Apoio ao Desenvolvimento da Agricultura familiar - PADA, na região Sudoeste mato-grossense de planejamento desenvolvido e aprovado pelo edital Proext 2014 - MEC/SESu.

7. Referências

- Caioni, C.; Caioni, S.; Parente, T. L. P.; Silveiro, A. C.; Claudino, W. V. Dinâmica da temperatura superficial no perímetro urbano de Alta Floresta/MT. *Enciclopédia Biosfera*, v.10, n.18, p. 2014.
- Câmara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrigo, J. Spring: Integrating remote sensing and gis by object-oriented data modelling. *Comput & Graphics*, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- Coelho, A. L. N.; Correa, W. S.C. Temperatura de Superfície Celcius do Sensor TIRS/LandSat – 8: metodologia e aplicações. In: *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013.
- Copque, A. C. S.M.; Souza, F. A.; Santos, D. V. C.; Paixão, R. C. Expansão urbana e redução de áreas verdes na localidade do Cabula VI Região do miolo da cidade do Salvador, Bahia. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 15., 2011, Curitiba, Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 0706. Disponível na biblioteca digital URLib: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0313.pdf> > . Acesso em: 05 mai. 2011.
- Deering, D. W.; Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A. Measuring “forage production” of grazing units from Landsat MSS data. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 10., Ann Arbor. Proceedings... Ann Arbor, MI: ERIM, 1975. v.2, p.1169-1178.
- Esri. ArcGis 10.4. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands, CA. 2016.
- Galvanin, E. A. S.; Neves, S. M. A. S.; Cruz, C. B. M.; Neves, R. J.; Jesus, P. H. H.; Kreitlow, J. P. Avaliação dos Índices de Vegetação NDVI, SR e TVI na discriminação de fitofisionomias dos ambientes do Pantanal de Cáceres/MT. *Revista Ciência Florestal*, v. 24, n. 3, p. 707-715, 2014.
- Ibge. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sinopse do Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=51&dados=0>. Acessado em: 27 mai. 2016.
- Lopes, A. S.; Galvincto, J. D. Uso da Terra Em Ambientes Urbanos E Seus Impactos. *Revista RBGF*, v. 6, n. 2, p. 329-340, 2013.
- Nascimento, P. S. R.; Getulio, T. B.; Raimundo, A. F. Efeito de Pré-Processamento (ajuste) no Desempenho da Segmentação e Classificação De Imagens Landsat-TM. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 9., 1998, Santos, Anais... São José dos Campos: INPE, 1998. p. 981-989. Disponível na biblioteca digital URLib: < http://marte.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.11.12.02/doc/8_131p.pdf > . Acesso em: 18 set. 1998.
- Novo, E. M. L. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 308-p.
- OKE, T. R. City size and the urban heat island. *Atmos Environ.*, v. 7, n. 8, p. 769-779, 1973.
- Oliveira, B. S.; Mataveli, G. A. V. Avaliação do desempenho dos classificadores Iseog e Bhattacharya para o mapeamento de áreas de cana-de-açúcar no município de Barretos-SP. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 16., 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p. 0089-0096. Disponível na

biblioteca digital URLib: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0863.pdf> >. Acesso em: 18 abr. 2013.

Ortiz, G. F. O clima urbano de Cândido Mota/SP: análise do perfil térmico e higrométrico em episódio de verão. 2012. 158f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente/SP, 2012.

Projeto RADAMBRASIL. Grupo de Trabalho de Estudos Integrados. Subsídios a formulação de uma estratégia de desenvolvimento integrado. Bacia do rio Curaça – BA; diagnóstico do potencial geoambiental e proposições para o uso. Salvador: 1985. 111p. Convênio PROJETO RADAMBRASIL/CARAÍBA METAIS S/A.

Rosemback, R.; França, A. M.; Florenzano, T. G. Análise comparativa dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT-5 em área urbana. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2004, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2004. p. 1075-1082. Disponível na biblioteca digital URLib: <<http://mar.te.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.16.17.49/doc/1075.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2005.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D.W.; Harlan, J.C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Greenbelt, MD: NASA/GSFC, 1974. 371p. Type III, Final Report.

Santos, T. O. Identificação de ilhas de calor em Recife-PE por meio de sensoriamento remoto e dados meteorológicos de superfície. 2011. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

Sousa, A. M. O.; Oom, D. F.; Pereira, J. M. C. Detecção remota de áreas queimadas na Amazônia brasileira. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis, Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p.4541-4548.

Souza, J. F.; Silva, R. M.; Silva, A. M. Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa - PB. Ambiente Construído, v. 16, n. 1, p. 21-37, 2016.

USGS. Geological Survey. Serviço de Levantamento Geológico Americano, 2016. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov>>. Acessado em: 07 Jul 2013.

Voogt, J. A.; Oke, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. Remote Sensing of Environment, v. 86, n. 3, p. 370–384, 2003.