



Aplicação de técnica de fusão em imagens Landsat 8/ TIRS para o mapeamento de temperatura de superfície em perímetros urbanos, no município de Várzea Grande, Mato Grosso.

Fabio Nunes Coelho ¹
Cezar Clemente Pires dos Santos ¹
Maycon Pereira do Nascimento ¹

¹ Centro Universitário de Várzea Grande – UNIVAG
Av. Dom Orlando Chaves, 2655 Cristo Rei
78118-000 - Várzea Grande – MT, Brasil
{fabiionc, cezarbiologo, mayconpereira875}@gmail.com

Resumo. De acordo com Jensen (2009), as técnicas de sensoriamento remoto são acuradas quando utilizadas em estudos sobre a temperatura superficial ou temperatura de superfície (Ts), tendo em vista que o calor interno do objeto alvo é convertido em energia radiante. Para a maioria dos alvos existe uma alta correlação positiva entre a temperatura verdadeira e o fluxo de radiação proveniente dos mesmos. Nesse sentido, a temperatura de superfície diz respeito ao fluxo de calor dado em função da energia que chega e sai do alvo, sendo de suma importância para o entendimento das interações entre a superfície terrestre e a atmosfera. O objetivo do presente trabalho foi mapear o uso e ocupação do solo do município de Várzea Grande MT, e comparar as temperaturas de superfície geradas pela banda 10 - TIRS do Landsat 8, convertida e fusionada. Para o cálculo da temperatura de superfície foi realizada a correção atmosférica, onde foram calculados os valores de transmissividade atmosférica, radiância emitida e recebida pela superfície através dos metadados disponíveis no Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), em seguida foi efetuada a conversão da radiância espectral para temperatura de superfície convertida em graus célsius. Com intuito de melhorar a resolução espacial a banda 10 foi fusionada com a banda 8. Os resultados apresentaram variações nas temperaturas entre 36,27°C (Max) e 26,28°C (Min), com variações de 8,55 °C entre as classes temáticas de uso e ocupação do solo. Os resultados obtidos por meio da análise da banda 10 fusionada, mostraram ser viável a utilização de um SIG, como ferramenta de análise na identificação de ilhas de calor para quantificação das temperaturas de superfície com mais acurácia.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, processamento de imagens, temperatura de superfície, Landsat 8.

Abstract. According to Jensen (2009), remote sensing techniques are accurate when used in studies of surface temperature (Ts), considering that the internal heat of the target object is converted into radiant energy. For most of the targets there is a high positive correlation between the real temperature and the radiation flux coming from the same. In this sense, the surface temperature relates the heat flux given in terms of the energy that comes in and out of the target, which is extremely important for understanding the interactions between terrestrial surface and atmosphere. The objective of this study was to map the land use and occupation of the city Várzea Grande, MT, and compare the surface temperatures generated by the converted and fused band 10 - TIRS Landsat 8. To calculate the surface temperature was carried out the atmospheric correction, where values of atmospheric transmissivity, emitted and received radiance by the surface were calculated using the metadata available in the United States Geological Survey (USGS), then was made the conversion of the spectral radiance to surface temperature in degrees Celsius. In order to improve the spatial resolution, the band 10 was fused with the band 8. The results showed variation of 36,27°C (Max) and 26,28°C (Min), with variations of 8.55 ° C in temperatures between thematic classes of land use and occupation. The results of the fused band 10 showed to be feasible the use GIS as an analysis tool for identification and quantifying heat surface temperatures more accurately.

Key-words: remote sensing, image processing, surface temperature, Landsat 8.

1. Introdução

O aquecimento global tem ganhado cada vez mais relevância nos dias atuais, entre cientistas que defendem posições a favor e contraditórias entre si, mídias que periodicamente anunciam catástrofes relacionadas ao assunto e cidadãos que acompanham os fatos ocorrentes. Formando-se um cenário de preocupações e inquietações deste processo em um futuro próximo (Mendonça, 2006).

Segundo Marengo (2006), um dos principais efeitos do aquecimento global decorrentes das concentrações de gases que provocam o efeito estufa na atmosfera, são as mudanças de temperaturas, que podem ocorrer em grandes e pequenas escalas, corroborando com a formação de fenômenos termais conhecido como ilhas de calor.

Para Santos (2013), o aumento das grandes cidades de forma desordenada é uma das principais razões para que se origine o fenômeno ilha de calor, devido à interferência de fatores como: aumento numérico de veículos, substituição do solo original por superfícies impermeáveis, redução da circulação do ar devido às edificações, canalização de rios, corte das árvores entre outros. Que segundo Lombardo (1985), influenciam no aumento de temperaturas das periferias em direção ao centro.

Este fator também está relativamente ligado ao uso excessivo de combustíveis fósseis em aquecedores e indústrias, transformando a cidade em uma potente fonte de calor, levantando à grande necessidade de estudos sobre o clima urbano para entendimentos sobre a questão (Voogt e Oke, 2003).

Neste sentido o uso do sensoriamento remoto e do geoprocessamento, tornam-se importantes ferramentas com grandes potenciais para análises ambientais, pois possibilita o monitoramento da biodiversidade através da integração de diversas fontes de dados e da investigação sistemática de todas as unidades territoriais (Da Silva, 1992; Lima, 2010; Sena et al., 2012).

Além disso, por meio da utilização do sensoriamento remoto e do geoprocessamento é possível realizar técnicas que elevam os níveis de acurácias para uma região de estudo, oferecendo vantagens na obtenção de informação com ampla cobertura espacial.

A técnica de fusão, realizada através de um sistema de informação geográfica (SIG), utilizando a banda pancromática, é aplicada com o objetivo de melhorarias qualitativas das imagens multiespectrais, agindo especialmente nos termos espectrais e espaciais. Esta técnica agrega informações pertinentes, combinando informações da imagem pancromática e multiespectral, gerando uma imagem híbrida final (Lima et al. 2015).

Neste sentido o objetivo do presente trabalho, foi mapear o uso e ocupação do solo do

Município de Várzea Grande MT, e comparar as temperaturas de superfície geradas pela banda 10 - TIRS do satélite Landsat-8.

2. Características gerais do Landsat-8

O Landsat-8, lançado em fevereiro de 2013, foi projetado para oferecer um leque de possibilidades, capaz de contribuir substancialmente para o monitoramento de uso e ocupação do solo, geração de índices espectrais e geração de temperatura da superfície, por meio de dois sensores imagiadores, sendo o primeiro, *Operational Land Imager* (OLI), com oito bandas espectrais e uma banda pancromática, apresentando as seguintes características:

- Banda 1 - Visível Ultra-Azul (0.43 - 0.45 μm) 30 m
- Banda 2 - Visível Azul (0.450 - 0.51 μm) 30 m
- Banda 3 - Visível Verde (0.53 - 0.59 μm) 30 m
- Banda 4 - Visível Vermelho (0.64 - 0.67 μm) 30 m
- Banda 5 - Infravermelho Próximo (0.85 - 0.88 μm) 30 m
- Banda 6 - Infravermelho Médio/SWIR 1 (1.57 - 1.65 μm) 30 m
- Banda 7 - Infravermelho Médio/SWIR 2 (2.11 - 2.29 μm) 30 m
- Banda 8 - Pancromática (PAN) (0.50 - 0.68 μm) 15 m
- Banda 9 - Cirrus (1.36 - 1.38 μm) 30 m

E o segundo, *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), inclusos duas bandas com resolução de pixel correspondente a 100 metros cada, que após serem reamostradas pelo Serviço de Levantamento Geológico Americano, passam a contar com uma resolução de 30 metros, para coincidir com as bandas do sensor OLI (USGS, 2016).

- Banda 10 - Infravermelho Termal/TIRS 1 (10.6 - 11.19 μm) 100 m - tratada e disponibilizada com pixel de 30 metros.
- Banda 11 - Infravermelho Termal/TIRS 2 (11.5 - 12.51 μm) 100 m - tratada e disponibilizada com pixel de 30 metros.

3. Material e Métodos

3.1. Área de Estudo

A Cidade de Várzea Grande, Mato Grosso, Brasil, está localizada nas coordenadas S 15° 38' 52", O 56° 7' 60" (**Figura 1**). Possui cerca de 1.049Km² de extensão territorial e apresenta como bioma predominante o Cerrado, embora também seja influenciada pelo aspecto Pantaneiro, o que a torna juntamente com a capital de Cuiabá, uma das principais portas de entradas para este Bioma (IBGE 2015).

Várzea Grande faz parte dos 13 Municípios que compõem a bacia hidrográfica do baixo Cuiabá dentro da bacia do Alto Araguaia, onde nasce o Rio Cuiabá. Este rio, por sua vez, é afluente do Rio Paraguai, principal curso d'água que alimenta a hidrologia do Pantanal (PCBAP 1997).

Segundo Fonseca (2008), em um estudo realizado na região, a pluviosidade de Várzea Grande está em torno de 1.300 mm por ano. E apresenta como clima o tropical semiúmido, com duas estações bem definida: uma seca, entre os meses de julho a outubro e uma chuvosa, entre os meses de novembro a maio (Maitelli, 1994).

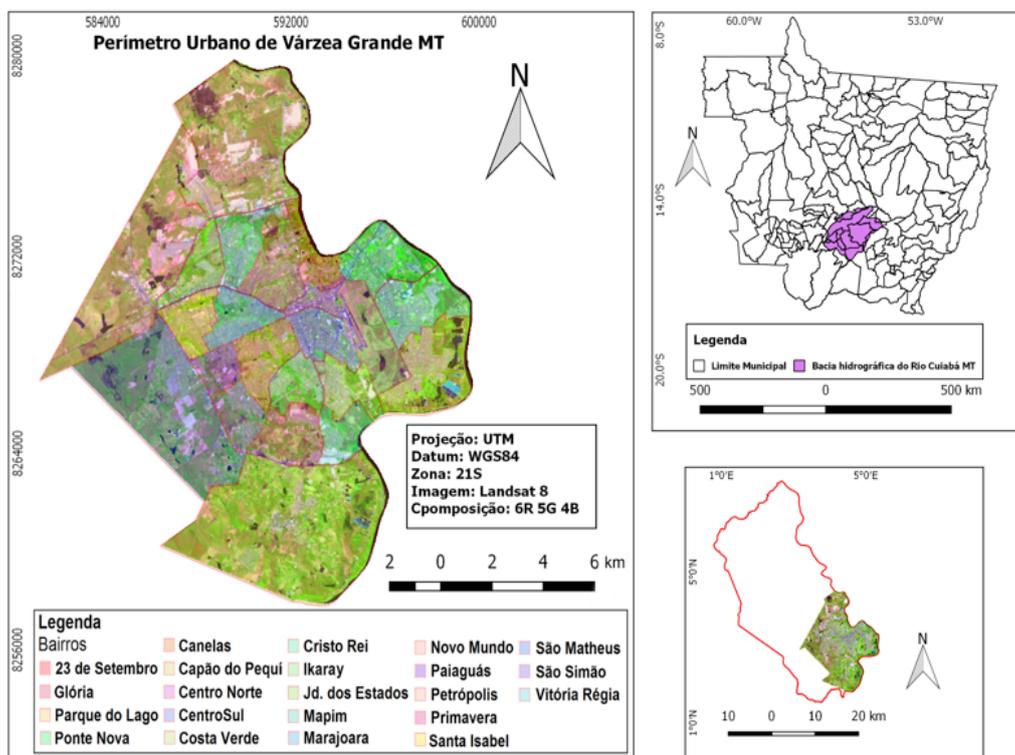


Figura 1. Localização do Município de Várzea Grande MT.

3.2. Procedimentos operacionais

Para efetuar as análises de Temperatura da Superfície Terrestre (LST), foi realizada aquisição das bandas espectrais do satélite Landsat 8, na órbita 226, cena 71 no Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS), com passagem programada no dia 07 de agosto de 2015, às 13:45 h (horário de Brasília).

Para confecção do mapa de temperatura de superfície foi utilizada a banda 10 do sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor), que corresponde a faixa infravermelho termal (10.6 - 11.19 μm - micrometro), com resolução espacial de 30 metros por pixel.

O processamento e tratamento da imagem, foi realizado com o Sistema de informação Geográfica *Quantum GIS 2.10*, para conversão dos parâmetros fixos de níveis de cinza (NC) em radiância para refletância, seguido da conversão da temperatura Kelvin para Celsius na banda 10, por meio das equações 1 e 2 cedidas pelo Serviço Geológico Americano (**Tabelas 1 e 2**), para gerar o raster de temperatura da superfície em graus Celsius (**Figura 2**).

Equação 1: $L\lambda = ML \times Q_{cal} + AL$

Tabela 1. Descrição de dados da equação 1 de conversão.

$L\lambda$	Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts/ ($\text{m}^2 \text{sr} \mu\text{m}$)
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

Equação 2:
$$T = \frac{k2}{\ln\left(\frac{k1}{L\lambda} + 1\right)}$$

Tabela 2. Descrição de dados da equação 2 de calibração.

<i>T</i>	Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K)
<i>k2</i>	Constante de calibração 2 = 1.321.08 (K)
<i>k1</i>	Constante de calibração 1 = 774.89 (K)
<i>Lλ</i>	Radiância espectral em Watts/ (m ² sr μm)

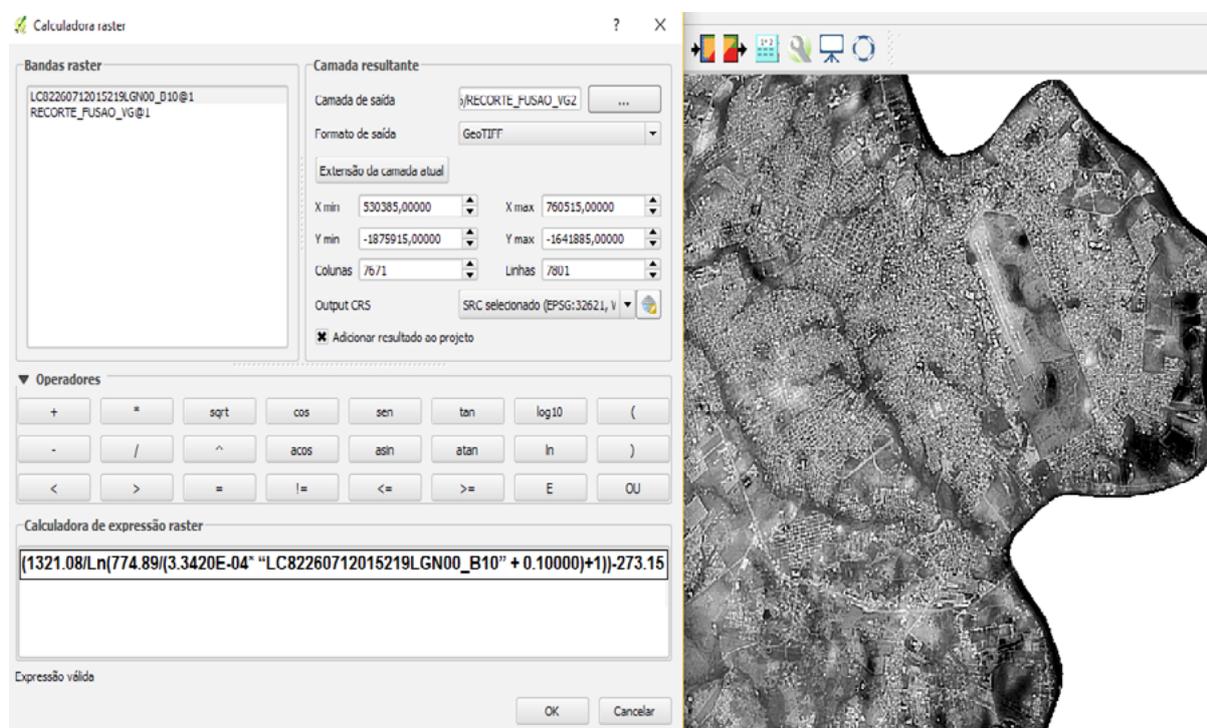


Figura 2. Procedimento de conversão e calibração da banda 10, pelas equações 1 e 2. Fórmula completa utilizada na calculadora raster: $(1321.08/\ln(774.89/(3.3420E-04 * \text{"banda10.tif"} + 0.10000)+1))-273.15$.

A criação do mapa de uso e ocupação do solo, foi composta por uma imagem com as bandas espectrais R6 - Infravermelho médio/SWIR 1(1.57 - 1.65 μm), G5 - Infravermelho próximo (0.85 - 0.88 μm) e B4 - Visível vermelho (0.64 - 0.67 μm), ambas com resolução espacial de 30 metros.

Após a criação da imagem de temperatura de superfície (banda 10 corrigida) e multiespectral (6R5G4B), recorreu-se a técnica de fusão de imagem *Pan Sharpening* utilizando a banda 8 pancromática do sensor (OLI) e a banda 10 do sensor (TIRS).

Para comparar os dados de temperatura de superfície com as classes de uso e ocupação do solo, foi utilizada a técnica de classificação supervisionada, utilizando as seguintes amostras (**Tabela 3**): área urbanizada; vegetação (cerrado e vegetação exótica); água; solo exposto. Tendo o algoritmo de Máxima Verossimilhança empregado para realização do processamento da

imagem. Moreira (2011), menciona que nessa classificação são utilizados algoritmos para o reconhecimento dos padrões espectrais da imagem com base numa amostra de área de treinamento.

Tabela 3. Pontos amostrais para o procedimento de classificação supervisionada.

Ponto	Descrição	Coordenadas	
		X	Y
P1	Área urbana – condomínio Pombal	593885	8269037
P2	Solo exposto no perímetro urbano – Bairro Pirineu	594407	8268147
P3	Área construída – Pirineu	594562	8267842
P4	Frag. de vegetação arbórea – Pq. T. Fancho	593101	8267968
P5	Terminal André Maggi – Centro Per. Urbano	593097	8269580
P6	Frag. de vegetação arbórea – Pq. Berneck	589407	8269752
P7	Lagoa – Pq. B. Berneck	589318	8269593
P8	Vegetação exótica arbustiva – Rodovia M. Andreazza	587875	8272154
P9	Solo exposto – Rodovia Andreazza	588020	8272659
P10	Solo exposto – Rodovia M. Andreazza	589003	8273558

3. Resultados

A classificação de uso e ocupação do solo (**Tabela 4**) apresentou um aumento considerável de 37,11% na classe de uso e ocupação “Vegetação”, seguida pelo “Solo exposto” que apresentou aumento de 0,40%. Já a classe “Urbanização” diminuiu 36,20%. Comparando com os resultados apresentados por Callejas et al. (2011), que realizou o mapeamento do perímetro urbano do Município de Várzea Grande, para o mês de agosto e setembro, nos anos de 1986 e 2007, o aumento das classes em relação ao resultado apresentado pelo autor, no ano de 2007 cuja data é de 02/09/2007, está relacionado com a expansão do perímetro urbano do Município, aprovado pela lei complementar 3974/2013, que aumentou em cerca de 29.448 Km² (22,16%). A diminuição da classe urbanização também está relacionada a este evento, pois a expansão do perímetro urbano ocorreu na região noroeste do município, região esta, que não apresenta vestígios de urbanização.

Tabela 4. Comparação entre as percentagens de uso e ocupação do solo.

Classe Temáticas	(%)	Callejas (%)	Dif. entre autores (%)
Água	2,04	4,46	-2,42
Sólo exposto	20,77	20,37	0,40
Vegetação	58,05	20,94	37,11
Urbanização	18,03	54,23	-36,20

Ressalta-se que os valores de temperatura obtidos se referem à superfície dos materiais de superfície, por isso, estes não são coincidentes com os valores de temperatura do ar levantados em termômetros de estações meteorológicas.

As características da temperatura superficial na cidade de Várzea Grande obtidas a partir da banda 10 fusionada, para a data do presente estudo podem ser visualizados na **Tabela 5**. Observa-se que as temperaturas de superfície (Ts) máxima e média para o ano de 2015 foram 36,27°C e 32,31°C, respectivamente. Se comparar com as temperaturas aferidas por Callejas et al. (2011), obtidas pela banda 6 do satélite Landsat 5 a temperatura máxima foi maior tendo como diferença 5,19°C. Já a temperatura mínima foi menor tendo a diferença de 5,57°C.

Tabela 5. Estatísticas descritivas - temperatura superficial para os anos de 2015 e 2007.

Estatística	Ts (°C) 2015	Ts (°C) 2007 Callejas et al. (2011)	Dif. entre Temp. (°C)
Mínimo	26,28	20,71	5,57
Máximo	36,27	41,46	-5,19
Média	32,31	31,68	0,63
Desvio padrão	1,48	2,93	-1,45

A **Figura 3** apresenta a espacialização das temperaturas de superfície no perímetro urbano de Várzea Grande, referente ao dia 07 de agosto de 2015. Segundo o Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo) a temperatura máxima para este dia foi de 38°C com mínima de 20,20°C e umidade relativa de 53%. Ao realizar a parametrização da temperatura média do ar (Ta) registrada pela estação meteorológica convencional do município de 29.10°C, com a temperatura média de superfície (Ts) registrada pelo sensor na localização da respectiva estação (33,26°C) foi observado um gradiente térmico (Ts-Ta) de 4,16°C. Esta diferença foi amostrada por Weng (2003), onde salienta que a temperatura média de superfície (Ts) apresenta, normalmente, valores mais elevados em relação a temperatura média do ar (Ta) o que já era esperado.

É possível observar na **Figura 3** que as temperaturas variaram abaixo de 22°C (Min) a 38,27°C a 44°C (Max) em regiões distintas do aglomerado urbano, o que corrobora com o estudo a partir da espacialização dos dados de temperatura de superfície para o perímetro urbano do município de Várzea Grande, em relação a 07 de agosto de 2015. Assim, as áreas que apresentaram os maiores valores de temperatura de superfície, ficaram no intervalo de classe entre 36,1 °C a 40°C, foram especificamente os locais, com área restrita, onde se encontram os solos expostos (tom amarelo) nas regiões norte e noroeste. Já a classe urbanização (tom roxo) apresentou Ts que variou entorno de 32,1 a 38°C nas áreas com menos adensamento populacional e valores elevados de 40 a acima de 40,01°C nas regiões centrais, com adensamento populacional mais elevado.

Oke (1979), explica que as ilhas de calor encontradas nos grandes centros perfilam-se em conjunção com os locais da cidade com maior atividade antrópica, normalmente o centro, que se caracteriza por ser mais quente que os bairros residenciais e periféricos. Esse comportamento foi nomeado de “Perfil Clássico das Ilhas de Calor”.

Para Coltri (2006), a explicação mais provável para esse fenômeno é o fato de que o centro da cidade tem maior densidade populacional e construtiva e, também, vegetação escassa, diferente do que acontece nas extremidades das cidades, onde acontece uma inversão nesses índices.

A vegetação (tom verde) apresentou variação de temperatura entre 28,1°C a 38°C. Essa variação está associada aos diferentes tipos de vegetação escolhida para o processo de classificação de uso e ocupação do solo (vegetação nativa e vegetação exótica).

A vegetação nativa cerrado e matas de galeria apresentaram valores de temperatura mais amena (28,01°C). Segundo Costa (2003), áreas com vegetação nativa apresentam grandes dosséis, que possuem absorção solar elevada (aproximadamente 80%) e grande parte da radiação incidente nelas é utilizada para a evapotranspiração, resultando na redução da temperatura do ar e no aumento da umidade ao redor, que mantém consequentemente temperaturas moderadas.

Já a vegetação exótica, apresentou a temperaturas mais elevadas (38° C) por ter uma distribuição rasteira e espaçada, que consequentemente permite a absorção dos raios eletromagnéticos pelo solo, elevando a temperatura. Angeline et al. (2015), identificou que a vegetação rasteira apresenta maiores valores de temperatura da superfície que da vegetação densa, variando de 22,1 a 23,8°C, respectivamente.

A água apresentou temperaturas que vaiaram abaixo de 22°C até 28°C. Callejas et al. (2011), aferiu a Ts na mesma área de estudo e obteve os valores entre 21,75°C e 27°C.

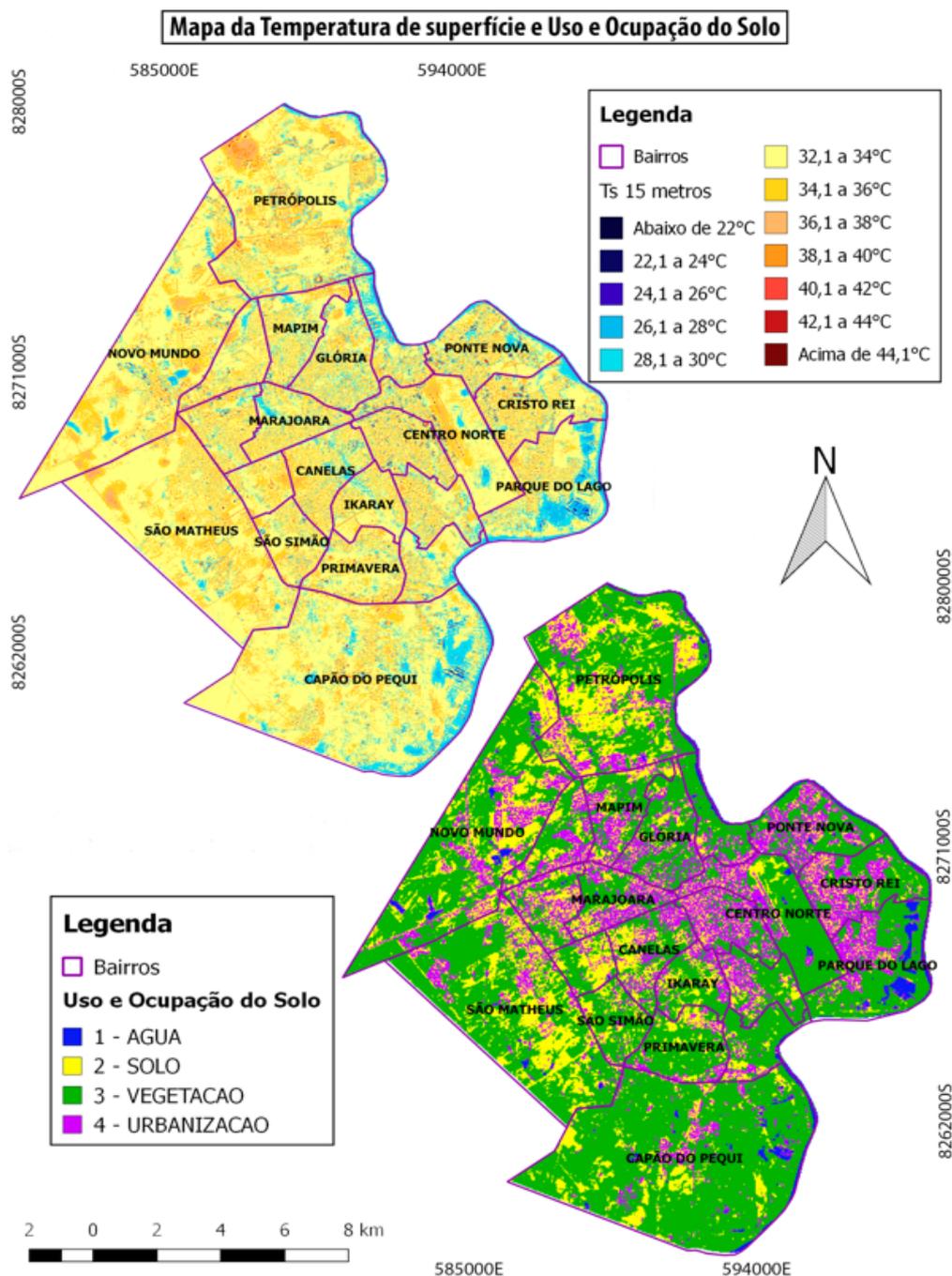


Figura 3. Mapa da temperatura de superfície e uso e ocupação do solo.

4. Considerações finais

Os resultados preliminares, por meio da aplicação dos algoritmos processados e o estabelecimento de classes aos valores de temperatura de superfície, em imagens de satélite utilizadas no trabalho, mostram-se satisfatória e de qualidade, pois permite a espacialização destes com vistas à determinação de valores de temperatura da superfície de materiais.

A aplicação da técnica de fusão de imagens, apresenta resultados satisfatórios, tanto na resolução espacial, quanto na identificação de temperaturas elevadas em aglomerados urbanos, com elevado grau de urbanização (Região central do Município). Estes resultados, permite dif-

erenciar o tipo de material e associar a temperatura de superfície com o albedo.

O estudo também mostra que a vegetação nativa com presença de água exerce um papel fundamental, diminuindo o fenômeno de ilha de calor no aglomerado urbano, tendo como diferença 6,1°C.

5. Referências

- Angeline, L. P.; Fausto, M. A.; Mützenberg, D. M. S.; Nassarden, D. C. S.; Danelichen, V. H. M.; Marques, H. O.; Machado, N. G.; Nogueira, J. S. Biudes, M. S. Relação entre albedo e temperatura da superfície estimados por sensoriamento remoto na área urbana de Cuiabá, Mato Grosso. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.
- Callejas, I. J. A.; Durante, C. L.; Oliveira, A, S.; Nogueira, M, C, J, A. Uso do solo e temperatura superficial em área urbana. **Revista de Geografia da UFC**, 2011.
- Costa, A. D. L. Análise bioclimática e investigação do conforto térmico em ambientes externos: Uma experiência no bairro de Petrópolis em Natal/RN. 2003. **Dissertação** (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2003.
- Coltri, P. P. Influência do uso do solo na intensidade das ilhas de calor no município de Piracicaba. 2006. **Dissertação** (Mestrado em Fitotecnia). Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2006.
- Da Silva, J. X. Geoprocessamento e análise ambiental. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, 54 (3) 1992. p 46- 60.
- Fonseca, M. Análise harmônica do regime de precipitação em duas localidades da Baixada Cuiabana. **Dissertação** (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, 2008. 66p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Censos Demográficos 2015. Acesso em: 29 de abril de 2016. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=510840&search=mato-grosso|varz+ea-grande>.
- Jensen, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2º **Edição traduzida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**. São Paulo, Parêntese, 2009. 672 p.
- Lima, D.; Pereira, G. K.; Ribeiro, S. R. A. Comparação entre os métodos de fusão ihs, principal Components e gram-schmidt aplicados à imagem do Satélite landsat 8 sensor OLI. **Anais Semana de Geografia**. Volume 1, Número 1. Ponta Grossa: UEPG, 2015.
- Lombardo, M. A. Ilha de Calor nas Metrôpoles. Ed. Hucitec, São Paulo, 1985.
- Maitelli, G. T. Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1994.
- Marengo, J. Mudanças Climáticas Globais e seus efeitos sobre a Biodiversidade. Brasília: Editora Biodiversidade 26, 2006.
- Mendonça, F. Aquecimento global e suas manifestações regionais e locais: Alguns indicadores da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Vol. 2, p. 71–86. 2006.
- Moreira, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologia de aplicações. 4 ed. Viçosa: Editora UFV, 2011. 422p.
- Oke, T. R. Review of urban climatology. **WMO Tech. Note** 169. Geneva, N°539, 1979.
- PCBAP - Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai, 1997, v. 2.
- Santos, F. M. M. Clima urbano de Cuiabá-MT-Brasil: ocupação do solo e suas influências. 2013.
- Sena, F. T. N.; Santiago, B. J.; Leite, A. C. S. Uso do geoprocessamento como subsídio à análise ambiental: imagem SRMT na geração dos mapas hipsométrico e de declividade das bacias difusas da barragem boa esperança no estado do Piauí. 2012.

United States Geological Survey - USGS. Landsat Update. Vol. 9 Issue 7, 2015. Disponível em: http://landsat.usgs.gov/documents/about_LU_Vol_9_Issue_7.pdf. Acessado em: 11 de janeiro de 2016.

United States Geological Survey - USGS. Landsat Quality Assessment Band. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/qualityband.php>. Acessado em: 11 de janeiro de 2016.

Weng, Q. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v.69. 2003.

Voogt, J. A.; Oke, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environmet**. Vol. 86, p. 370-384, 2003.