

ANÁLISE DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE POR MEIO DE IMAGENS LANDSAT-8: ESTUDO DE CASO PARA O MUNICÍPIO DE JAGUARI/RS/BRASIL

PRINA, Bruno Zucuni¹; TRENTIN, Romário²

Resumo

O objetivo geral deste trabalho é analisar a correlação existente entre o mapeamento do uso da terra e da temperatura da superfície (em graus Celsius), utilizando imagens do satélite Landsat-8, tendo como área de estudo o município de Jaguari/RS/Brasil. Dessa forma, houve a realização da quantificação dos usos da terra que possuem menor/maior propensão ao aumento/diminuição da temperatura da superfície. Metodologicamente, realizou-se, de forma resumida, a confecção de um mapa de uso da terra e outro de temperatura da superfície, e, ao final, correlacionaram-se os dados. Destaca-se que todas as abordagens práticas foram realizadas por meio do aplicativo ArcGIS®. Entre os resultados obtidos, salienta-se que houve uma alta correlação entre os usos da terra com incidência de vegetação (como a vegetação, as lavouras e as áreas úmidas - lavouras de arroz) com as menores temperaturas registradas, por outro lado, áreas de solo exposto e de campos apresentaram as maiores temperaturas. Destarte, conclui-se que há formação de manchas de calor nas áreas discretizadas como de solo exposto e áreas de campo, ou seja, locais em que há uma mínima incidência da vegetação. Assim, adensa-se a importância da existência (e preservação) da vegetação, por serem responsáveis por regular o clima em escala local.

Palavras-chave: Landsat-8. SIG. Geoprocessamento.

ANALYSIS OF SURFACE TEMPERATURE WITH IMAGES FROM LANDSAT-8: CASE STUDY FOR CITY OF JAGUARI/RS/BRAZIL

Abstract

The aim of this paper is to analyze the correlation between the mapping of land use and the surface temperature (in degrees Celsius) map, using images from satellite Landsat-8, whereas the study area for the mapping is the city of Jaguari/RS/Brazil. Thus, the land uses were quantified with the aim of identify the lower/higher tendency to increase/decrease the surface temperature. Methodologically, it was made a map of land use and other of surface temperature, and at the end, the data was correlated. It is highlighted that all practical activities were realized through ArcGIS® software. Among the results, it is noted that there is a high correlation between land uses with incidence of vegetation (as vegetation, crops and wetlands - rice cultivated) with the lowest recorded temperatures, in contrast, exposed soil areas and camps showed the highest temperatures. In this manner, it is concluded that there are formation areas with high temperatures in locations discretized as exposed soil and camps, in other words, places where there is a low incidence of vegetation. Like this, it is highlighted the importance of existence (and preserving) of vegetation, because it is a variable that controls the climate, on a local scale.

Keywords: Landsat-8. GIS. Geoprocessing.

ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE POR MEDIO DE IMÁGENES LANDSAT-8: ESTUDIO DE CASO PARA EL MUNICIPIO DE JAGUARI (RIO GRANDE DO SUL, BRASIL)

Resumen

El objetivo general de este estudio es analizar la correlación entre el uso de la tierra y la temperatura de la superficie (en grados centígrados) usando imágenes del satélite Landsat-8 en el área de estudio del municipio de Jaguari (Río Grande do Sul, Brasil). De acuerdo a esto, se propuso realizar una cuantificación de los usos de la tierra con la mayor y menor probabilidad de aumentar y disminuir la temperatura de la superficie. Metodológicamente, fueron elaborados dos mapas, uno de uso del suelo y otro de la temperatura de la superficie, posteriormente, estas dos variables fueron correlacionadas. Para este procedimiento de análisis se utilizó el programa ArcGIS®. Los resultados obtenidos arrojan se destaca la correlación entre los usos de la tierra con la incidencia de vegetación (entendida como las áreas de cultivo y zonas inundadas para

¹Universidade Federal de Santa Maria - Rio Grande do Sul - Santa Maria, Brasil. E-mail: brunozprina@gmail.com

²Universidade Federal de Santa Maria - Rio Grande do Sul - Santa Maria, Brasil. E-mail: romario.trentin@gmail.com.

el cultivo del arroz) con las bajas temperaturas registradas, y, por otro lado, las áreas expuestas del suelo y campo abierto presentaron temperaturas más elevadas. De este modo, se concluye que hay una formación de manchas de calor en las áreas discretizadas como son las áreas de suelo expuesto y campo abierto, es decir, los lugares en los que hay una mínima incidencia de vegetación. Por tal motivo se confirma la importancia de la existencia (y preservación) de la vegetación en la regulación del clima en escala local.

Palabras clave: Landsat-8. SIG. Geoprocusamiento.

1. Introdução

O avanço das geotecnologias proporcionou melhorias em vários setores da sociedade. Nesse ambiente de descobertas e inovações, tem-se a área do sensoriamento remoto, como uma ferramenta ideal para a análise de dados da superfície terrestre, proporcionando, assim, várias formas de inferir sobre o comportamento da dinâmica da paisagem. Todos os avanços tecnológicos ocorreram, principalmente após a Revolução Industrial, sendo que a partir desse momento histórico, o homem passou a investir em novas formas de reconhecer o meio (SANTOS; ROMÃO, 2007).

Todo o avanço dos sensores remotos teve como estopim a década de 1950, época na qual os militares iniciaram a utilizar imagens aéreas com fins de analisar a paisagem (SANTOS; ROMÃO, 2007). Atualmente, várias são as aplicações dessa tecnologia, principalmente com o desenvolvimento de metodologias por parte da comunidade acadêmica (universidades) (SANTOS; ROMÃO, 2007).

O emprego de técnicas de sensoriamento remoto pode ocorrer em imagens obtidas por sensores dispostos em nível orbital (imagens de satélite) ou suborbital (fotografias aéreas) (SANTOS; ROMÃO, 2007). E, independente da forma de obtenção dos dados, tem-se como objetivo fundamental a análise estática de uma cena do espaço, sendo útil para o mapeamento espaço-temporal da superfície (PETTA; FERNANDES; NASCIMENTO, 2008), além de gerar a análise da dinâmica da paisagem.

Entre os principais estudos realizados por meio das imagens aéreas, tem-se, o mapeamento dos usos da terra, principalmente com o foco de analisar o desmatamento da vegetação, e, por consequência, associar as mudanças das classes de ocupação da superfície terrestre. Porém, deve-se explicitar, que as alterações, com o perpassar do tempo são necessárias (PETTA; FERNANDES; NASCIMENTO, 2008), uma vez que o crescimento populacional demanda a existência de novas áreas de ocupação urbana além de acréscimos de áreas agricultáveis (mais alimentos).

Nesse contexto, Petta, Fernandes e Nascimento (2008, p. 112) citam que a "utilização apropriada dos recursos naturais torna-se fundamental, para que sejam

conservadas as funções econômicas do ambiente natural de modo a manter a sustentabilidade produtiva desses recursos". Assim, sabe-se que as áreas tendem a aumentar sua ocupação e exploração na medida em que há um crescimento populacional, porém, deve-se ter atenção quanto ao equilíbrio do planeta, sendo o ser humano o responsável por agir de forma racional quanto a utilização dos recursos naturais disponíveis. Mesmo assim, sabe-se que a cobertura vegetal sofre diretamente com a ação antrópica, principalmente nas áreas tropicais (FÁVARO; STIPP, 2003).

Entre várias questões que implicam na conservação da cobertura vegetal, tem-se grande importância na proteção dos solos (para evitar a erosão) e dos corpos hídricos (evitar o assoreamento) (FÁVARO; STIPP, 2003). Além dessas questões, Soares e Medri (2002 apud FÁVARO e STIPP, 2003, p. 89) destacam que a conservação da cobertura vegetal está diretamente ligada a "manutenção do clima, pois evita o aumento das amplitudes térmicas, mantém a umidade do ar e impede o aumento da velocidade dos ventos, além de ser fundamental para a sobrevivência e conservação da fauna". Os autores ainda destacam que a exclusão da vegetação provoca a alteração das variáveis explicitadas, gerando conflitos ao ambiente local.

Assim, verifica-se a importância da preservação da vegetação, as quais estão diretamente ligadas a qualidade ambiental de determinado território. A preocupação de realização de pesquisas nesse foco existe, preferivelmente no que tange as "discussões acerca do futuro climático da Terra" (CORRÊA; CORRÊA; ANDRADE, 2012, p. 714).

Com a junção das imagens de satélite às técnicas de processamento digital, inúmeras análises sobre a cobertura vegetal do solo podem ser realizadas (OLIVEIRA et al., 2009). Nesse foco, explicita-se a importância do sensoriamento remoto, pois, essa é uma técnica a qual possibilita a análise em questão, utilizando imagens de satélite, por meio da banda do infravermelho termal. No que tange a essa questão, Jensen (2009) destaca que todos os objetos que possuem temperatura acima do zero absoluto (0 K ou -273,15 °C) emitem energia eletromagnética.

Entre as vantagens acerca do sensoriamento remoto, aplicado na obtenção da temperatura da superfície, Corrêa, Corrêa e Andrade (2012, p. 715) enfatizam que "além de favorecer visões de diferentes escalas e tempo, permite a transformação de dados do infravermelho termal em temperaturas aparente da superfície".

Ao realizar o mapeamento da temperatura da superfície terrestre por meio do infravermelho termal é possível a realização de "estudos do comportamento térmico das diferentes tipologias de cobertura do solo pelo fornecimento de informações relativas à temperatura aparente da superfície" (BARBOSA; VECCHIA, 2009, p. 274).

Toda essa análise, da temperatura da superfície, é realizada a fim de verificar as áreas que formam "manchas de calor", que são, muitas vezes, dimensionadas em função dos usos da terra que sofreram alterações no transcorrer do tempo. Tal fato é ratificado por Jensen (2009, p. 288), porém com a utilização do termo "ilhas de calor", conotação que pode ser caracterizado como sinônimo nesse trabalho, mesmo que seja mais utilizada em áreas urbanas, como áreas que "são causadas pelo desflorestamento e substituição da superfície do solo por materiais não evaporativos e não porosos, como asfalto e concreto". Assim, a dinâmica acerca da temperatura da superfície é uma medida de análise da qualidade ambiental de um determinado local, e correlacionando os dados com o uso e a ocupação da terra é possível verificar quais as áreas que apresentam as maiores interferências na formação das manchas de calor.

A área de estudo desse trabalho faz menção ao limite territorial do município de Jaguari/RS (Figura 1). O mesmo está situado na microrregião de Santa Maria (região central do Rio Grande do Sul), e, será analisada essa área, pelo fato dos autores conhecerem o local, facilitando o entendimento acerca dos resultados desse trabalho, com foco a classificação digital da imagem de satélite e a correlação com os dados de temperatura.

Ainda, referente a área de estudo, pode-se destacar que o município é composto, predominantemente por pequenas propriedades rurais (minifúndios), principalmente na parte norte do município, local que abrange as áreas com maiores altitudes, além de possuir maiores diferenças clinográficas. Já ao sul do município, há, predominantemente, áreas planas (várzeas) com a incidência de áreas úmidas (lavouras de arroz). Cabe ressaltar, que o município é composto por dois biomas, a Mata Atlântica e o Pampa, caracterizando uma área de transição.

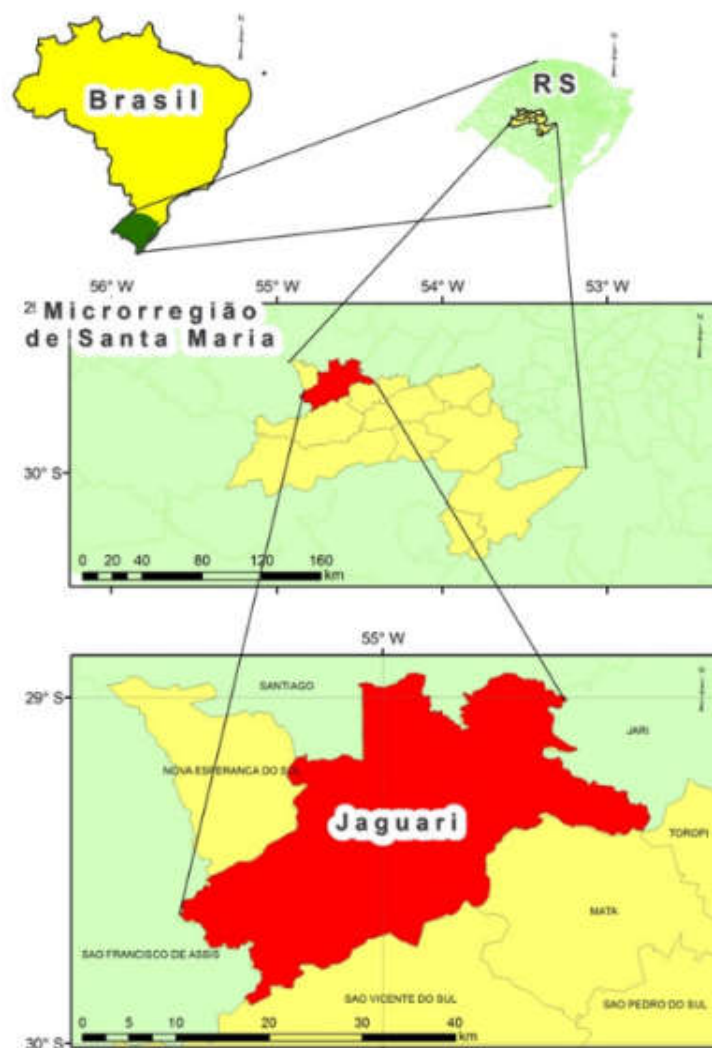


FIGURA 1: Área de estudo: município de Jaguari/RS. Fonte: Os autores.

Salienta-se, que o problema incluso nesse trabalho está contido na resolução da seguinte questão: “qual a correlação existente entre o uso da terra e temperatura da superfície?”.

Justifica-se, desse modo, entender que com a referida análise, poderão ser identificados os locais em que há a formação de manchas de calor no município de Jaguari, e, ao correlacionar os dados de temperatura da superfície com os dados de uso e ocupação da terra será possível enumerar os usos da terra que possuem menor/maior propensão ao aumento/diminuição da temperatura da superfície, e, por consequência, a do ar (do ambiente), as quais são distintas.

O objetivo geral do presente trabalho é o de analisar a correlação existente entre o uso da terra e a temperatura da superfície, utilizando imagens Landsat-8, tendo como área de estudo o município de Jaguari/RS. Especificamente tem-se o objetivo de realizar a

classificação digital de uma cena do satélite Landsat-8, além de construir um mapa de temperatura da superfície, em graus Celsius.

2. Materiais e Métodos

2.1 Materiais

Antes de segmentar os procedimentos metodológicos envolvidos nesse trabalho, há de citar os materiais os quais foram utilizados. Assim, fez-se uso de uma imagem do satélite Landsat-8 (OLI e TIRS), datada em 7 de fevereiro de 2015, da Órbita/Ponto 223/080. A imagem foi obtida por meio do sítio do Serviço Geológico Americano (*United States Geological Survey* - USGS).

A escolha de uma imagem nesse período do ano é motivada à questão de que nesse mês, em fevereiro, as lavouras estão com um alto vigor vegetativo, assim, há menores problemas de erros de classificação entre áreas de lavouras e solo exposto, diferenciando perfeitamente, e principalmente, esses dois usos. Uma vez que, se não há plantação em uma lavoura, diretamente, tratar-se-ia essa área como de solo exposto.

A análise de dados de apenas uma imagem pode ser enfatizada a questão do objetivo do trabalho, por se tratar da influência dos usos da terra na formação de áreas com manchas de calor. Assim, a ideia é associar as correlações entre esses dados, sem preocupar-se com a variação temporal da temperatura, ainda mais por se tratar de uma área localizada no sul do Brasil, com clima subtropical, onde as amplitudes térmicas são expressivas, com variações bruscas espaçadas em pequenos intervalos de tempo.

Ainda, referente à análise da imagem escolhida, deve-se destacar que a mesma foi obtida (pelo Landsat-8) aproximadamente às 10:00 horas da manhã, e, dessa forma, verifica-se a importância de associar o horário de obtenção da cena utilizada junto aos valores a serem obtidos no mapeamento da temperatura da superfície.

Dentre os aplicativos utilizados, explicita-se o ArcGIS®, o qual foi de extrema importância para implementação de todas as rotinas acerca dos procedimentos metodológicos, além da planilha eletrônica do Excel®, útil para a análise dos dados.

2.2 Métodos

A fim de identificar os procedimentos teórico-práticos implementados nesse trabalho, os mesmos, a seguir, estão endereçados cronologicamente.

Basicamente, no tocante ao mapeamento dos dados, o mesmo é gerado a partir de imagens de satélite, com a banda do infravermelho termal. Nessa etapa, utilizou-se o

sensor TIRS/Landsat-8, banda 10, de 30 m de resolução espacial, reamostrada a partir de uma imagem original de resolução de 100 m (USGS, 2015). Além disso, para realizar a classificação digital da área de estudo, utilizaram-se as bandas do visível, infravermelho, pancromática e a costal para obter a quantificação dos usos da terra.

A primeira etapa do trabalho persistiu na obtenção da imagem de satélite, sendo que foi utilizado o sítio do USGS. Posteriormente, os dados foram reprojatados para o sistema de referência SIRGAS 2000, em coordenadas *Universal Transversa de Mercator* (UTM), Fuso 21 J Sul e, posteriormente, foi realizado a extração das áreas úteis (*Clip*) das imagens em relação ao perímetro da área de estudo (município de Jaguari/RS). As referidas etapas foram realizadas com as bandas de 1 a 8 do sensor Landsat-8, além da banda 10, utilizada no mapeamento da temperatura da superfície.

Para sistematização do mapa de uso da terra, uniram-se as bandas do visível (bandas 2, 3 e 4), do infravermelho (bandas 5, 6 e 7), a pancromática (banda 8) e a banda costal (banda 1), formando apenas uma imagem. A referida etapa ocorreu com a ferramenta *CompositeBands* do ArcGIS®. Salienta-se que para realizar a classificação digital dos dados, a imagem recebeu um tratamento espacial, a fim de realizar a conversão das informações originais (disponíveis em níveis digitais) para reflectância (dados físicos), conforme metodologia evidenciada no sítio do USGS (2015). Essa etapa é de extrema importância para a realização da calibração radiométrica dos dados, gerando um resultado fisicamente correto.

Com isso, fez-se uso de duas equações disponibilizadas no sítio do USGS. A Equação 1 refere-se a fórmula de conversão dos níveis digitais da imagem para reflectância, e, a Equação 2 trata-se especificamente da fórmula de conversão dos dados da Banda 10 (do Landsat-8) para temperatura da superfície. Ainda, deve-se destacar que todas as bandas utilizadas foram pós-processadas, junto a Equação 1. Já, exclusivamente para a Banda 10, aplicou-se a Equação 2, e, ainda, os dados foram subtraídos da constante de "273,15" (valor absoluto da temperatura em Kelvin), para transformação dos dados para Graus Celsius (°C). Além disso, há nas Tabelas 1 e 2 a explicação para cada um dos elementos das equações (variáveis e constantes).

$$\rho\lambda = M_p * Q_{cal} + A_p \quad (\text{Eq. 1})$$

TABELA 1

Variáveis e constantes dispostas na Equação 1 (os valores para M_p e Q_{cal} foram obtidos a partir do arquivo MTL das imagens obtidas do sítio do USGS).

Elementos da fórmula	Significado
$\rho\lambda$	Radiância Espectral do sensor de abertura (unidade: <i>Watts/(m² srμm)</i>).
M_p	Fator multiplicativo de redimensionamento da banda (<i>Banda 1: 0,01290900; Banda 2: 0,01321900; Banda 3: 0,01218100; Banda 4: 0,01027100; Banda 5: 0,00628560; Banda 6: 0,00156320; Banda 7: 0,00052688; Banda 8: 0,01162400; Banda 9: 0,00245660; Banda 10: 0,00033420</i>).
Q_{cal}	Fator de redimensionamento aditivo específico (<i>Banda 1: -64,542720; Banda 2: -66,092540; Banda 3: -60,903710; Banda 4: -51,357440; Banda 5: -31,428190; Banda 6: -7,815910; Banda 7: -2,634380; Banda 8: -58,122490; Banda 9: -12,282850; Banda 10: 0,100000</i>).
A_p	Os valores de nível digital da banda, ou seja, é a entrada da própria banda no cálculo.

Fonte: Os autores.

Entre as feições terrestres mapeadas, destacam-se: água (rios e açudes), áreas úmidas (lavouras de arroz), campos, lavouras, solo exposto e vegetação.

A fim de explicitar, detalhadamente, a codificação dos usos da terra mapeados nesse trabalho, a seguir, os mesmos estarão contextualizados junto as suas características particulares.

A classe denominada “Água” representa os corpos hídricos presentes no município, tangenciando três diferenciações: o rio Jaguari, o rio Jaguarzinho e os açudes/barragens. A classe “Áreas úmidas” referem-se às áreas próximas aos corpos hídricos, bem como, com maior respaldo as áreas com incidência de cultivo orizícolas.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (\text{Eq. 2})$$

TABELA 2

Variáveis e constantes dispostas na Equação 2 (os valores obtidos encontram-se na bibliografia de Coelho e Correa (2013)).

Elementos da fórmula	Significado
T	Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K).
K_2	Constante de calibração 2 = 1321,08 (K).
K_1	Constante de calibração 1 = 774,89 (K).
$L\lambda$	Radiância espectral (unidade: <i>Watts/(m² srμm)</i>).

Fonte: Os autores.

Os “Campos” foram classificados junto aos locais com incidência de vegetação rasteira, sendo que são locais em que há a incidência de pecuária, e, essa classe está localizada nas áreas com as menores cotas altimétricas do relevo, principalmente.

Já a classe “Lavouras” é caracterizada por pequenas áreas homogêneas, isto é, não há grandes extensões contínuas de lavouras, uma vez que o município de Jaguari possui predomínio de minifúndios. Dentre as culturas observadas no município, pode-se destacar as plantações de soja, porém, deve-se fazer referência a inúmeras outras culturas, que são utilizadas dentro das pequenas propriedades rurais, com ênfase ao fumo e ao milho.

A classe “Solo exposto” foi mapeada nas áreas em torno das lavouras, nas estradas sem pavimentação e, ainda, em áreas agricultáveis sem cobertura de gramíneas ou em locais com incidência árvores dispersas.

Por fim, a classe “Vegetação” engloba as áreas com incidência de matas nativas e áreas de reflorestamentos. As áreas de vegetação estão presentes, principalmente, nos locais com mudanças altimétricas bruscas, perfazendo, dessa forma, áreas contínuas de grandes extensões, notificando, dessa forma, um alto grau de preservação, principalmente nas encostas dos morros.

Para realizar o mapeamento da superfície, com a extração das informações do uso da terra, Pereira et al. (2012, p. 116) destacam duas técnicas, a “interpretação visual e a classificação automática (supervisionada ou não-supervisionada)”. Assim, visto que o mapeamento ocorreu em um município com área de 673,401 km² (IBGE, 2015), optou-se por aplicar uma classificação automática, por ser uma metodologia muito mais rápida.

Para gerar o mapeamento, realizou-se a classificação digital supervisionada pelo método da Máxima Verossimilhança (MaxVer), por meio do aplicativo ArcGIS®, disponível com a codificação de “*MaximumLikelihoodClassification*”. Deve-se destacar que para proceder da classificação digital da imagem foi utilizado a composição “R6 G5 B8”, a qual diferenciou, de forma significativa, os alvos da superfície terrestre, conforme exposto na Figura 2.

Sobre o MaxVer, pode-se destacar que o mesmo “utiliza a informação espectral isoladamente de cada “pixel” para achar regiões homogêneas” (DEMARCHI; PIROLI; ZIMBACK, 2011, p. 236) e, este é o tipo de classificação supervisionada mais comum entre as utilizadas pela comunidade científica.

Um fato que deve ser retratado, e que merece a atenção, é que a temperatura analisada refere-se a da superfície (disposta em cada um dos usos). Assim, a mesma difere-se da temperatura do ambiente (do ar), a qual é registrada e informada à população através dos meios informativos.

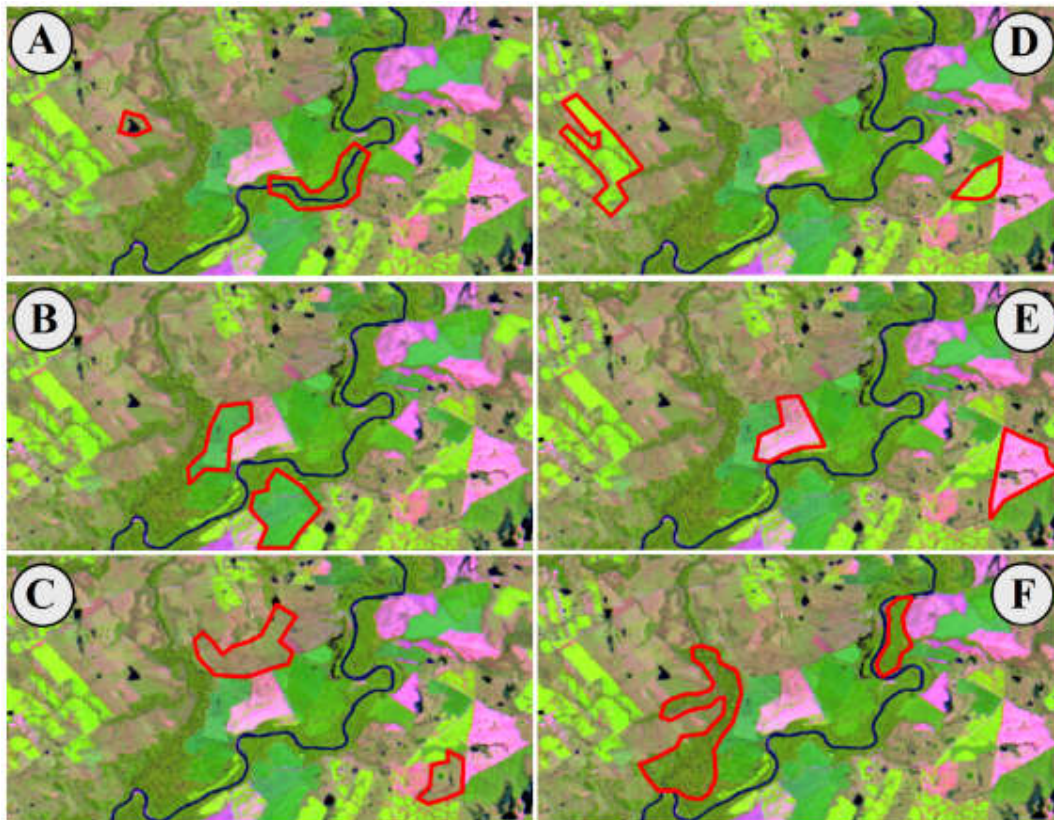


FIGURA2: Composição para a coleta de amostras de uso da terra (R6 G5 B8 - Landsat-8): (A) locais com incidência de água, (B) áreas úmidas, (C) áreas com campos, (D) áreas de lavouras, (E) solo exposto, (F) vegetação. Fonte: Os autores.

Para separar o mapa de temperatura em classes, não foi adotado nenhum segmentador "automático" (inserido no aplicativo ArcGIS®), e sim com a utilização da divisão dos dados de forma manual, com a análise do histograma de frequência da temperatura (da imagem de satélite) (Figura 3). A partir da referida análise, verificou-se que, com a variabilidade espacial dos dados, existiam três classes de temperatura.

A fim de deixar os dados finais, de divisão das classes de temperatura, representativos, os valores foram "arredondados" para as temperaturas inferiores a 23 °C, entre 23 a 26 °C e as acima de 26°C, sendo que há um pico da temperatura máxima de 34,84 °C, além de uma mínima de 20,78 °C.

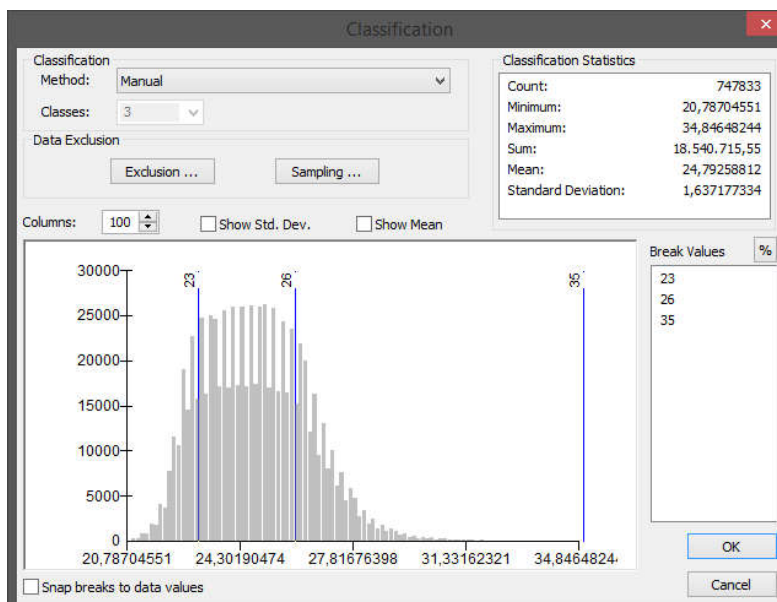


FIGURA 3: Histograma de frequência dos dados de temperatura: segmentação dos dados em três classes. Fonte: Os autores.

Com os dois mapas gerados, do uso da terra e da temperatura da superfície, empregou-se a ferramenta "*Reclassify*" do ArcGIS®, e obteve-se um arquivo matricial subdividido nas classes segmentadas anteriormente (6 classes de uso da terra e 3 classes de temperatura). A partir do arquivo *raster* de cada base cartográfica, houve a conversão para o formato vetorial (polígonos), com a ferramenta "*RastertoPolygon*" (ArcGIS®). Assim, os dados foram dissolvidos (com a ferramenta "*Dissolve*"), levando em consideração a rotulagem de cada classe, e, por fim, houve a quantificação das áreas.

Para gerar uma análise entre a correlação dos usos da terra com o mapa de temperatura, empregou-se a ferramenta "*Intersect*" (ArcGIS®) a fim de obter um novo arquivo vetorial com as áreas de intersecção das classes das duas bases cartográficas. Novamente, as áreas foram recalculadas, agora, para cada uso da terra interseccionado com a respectiva classe de temperatura.

Assim, os dados foram analisados, por meio de uma planilha eletrônica, gerando um grande repertório de interpretações, além da discussão dos dados.

Ainda, foram geradas as assinaturas da temperatura da superfície em relação aos distintos usos da terra. Tal análise foi realizada a partir da correlação dos dados de temperatura com as áreas de incidência de cada uso da terra, gerando, dessa forma, novos arquivos matriciais. Tais arquivos foram convertidos para o formato "ASCII", com a ferramenta "*Rasterto ASCII*", do ArcGIS®. Assim, o referido arquivo foi analisado por meio de uma planilha eletrônica, e, dessa forma, geraram-se as assinaturas para cada temperatura em função dos usos. Deve-se destacar que a assinatura da temperatura é um

valor para a imagem analisada, ou seja, é um registro "estático" para o dia 7 de fevereiro de 2015, aproximadamente às 10:00 horas da manhã, porém, mesmo assim, pode ser analisado um padrão quanto aos usos do solo que possuem a tendência de possuir as maiores e as menores temperaturas.

3. Resultados e Discussão

A seguir serão expostos todos os resultados obtidos depois de realizado a implementação da metodologia exposta anteriormente.

Inicialmente, destacar-se-ão os resultados dos dois mapeamentos realizados, do uso da terra e da temperatura da superfície, para o município de Jaguari. Assim, na Figura 4 há a exposição do mapeamento de ambas as variáveis para toda a área de estudo, e na Figura 5 uma análise expandida de uma área aleatória do município, a qual abrange todas as classes dos dois mapas.

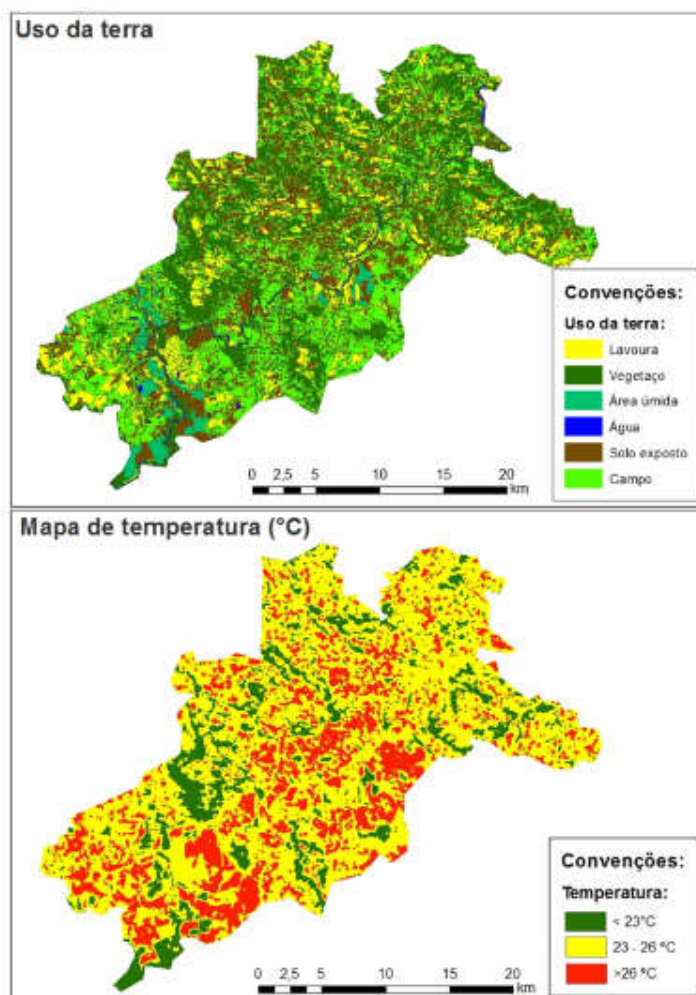


FIGURA 4: Mapeamento do uso da terra de Jaguari e da temperatura de superfície por meio de imagens Landsat-8. Fonte: Os autores.

No que tange aos usos da terra mapeados, deve-se ressaltar que há um predomínio de três classes: campo, solo exposto e vegetação, com, respectivamente, 29,1%, 28,8% e 27,7%. Ainda, há especializado 9,9% de áreas com lavouras, 3,7% de áreas úmidas e 0,8% de água (Figura 6). Deve-se destacar que a área urbana não foi delimitada na classificação, porém, posteriormente a mesma será analisada, a fim de verificar a correlação dessa área junto as classes de temperatura da superfície.

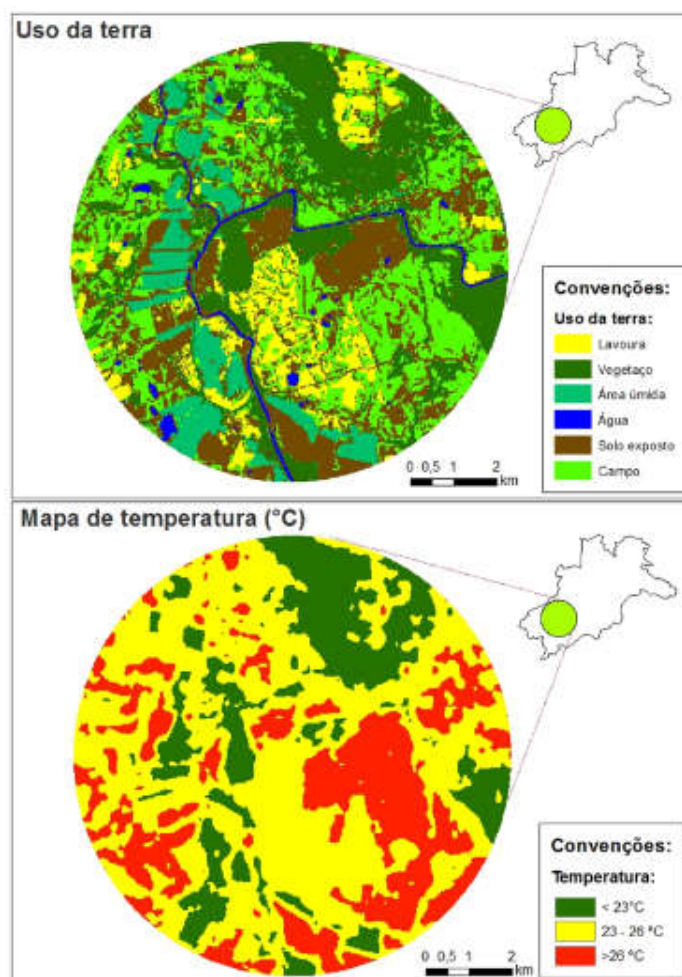


FIGURA 5: Amostra específica em uma área do município, a fim de verificar a espacialização das classes dos mapas gerados. Fonte: Os autores.

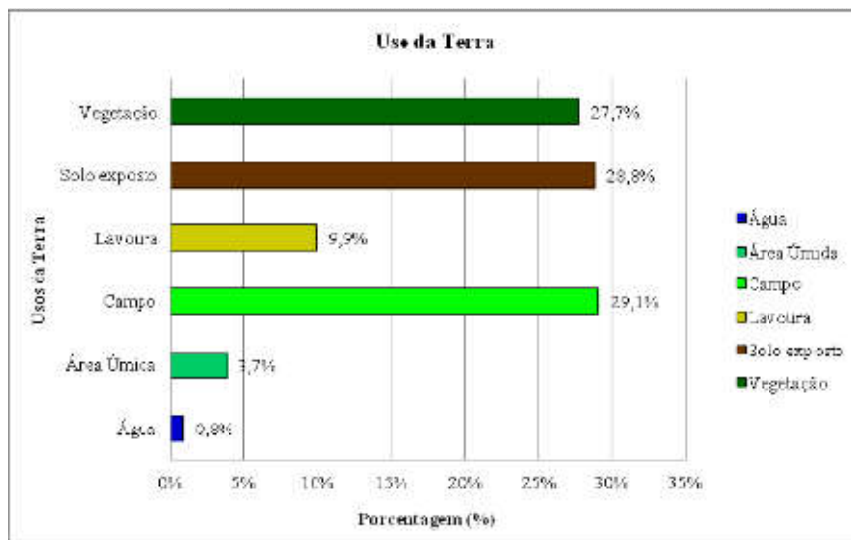


FIGURA 6: Quantificação dos usos da terra. Fonte: Os autores.

Analisando, de forma individual, os dados referentes ao mapeamento da temperatura da superfície, a qual foi segmentada em três classes, obteve-se, 14,5% da área com temperaturas abaixo de 23 °C, 61,5% com temperaturas entre 23 a 26 °C e 24,1% com temperaturas acima de 26 °C, conforme evidenciado na Figura 7.

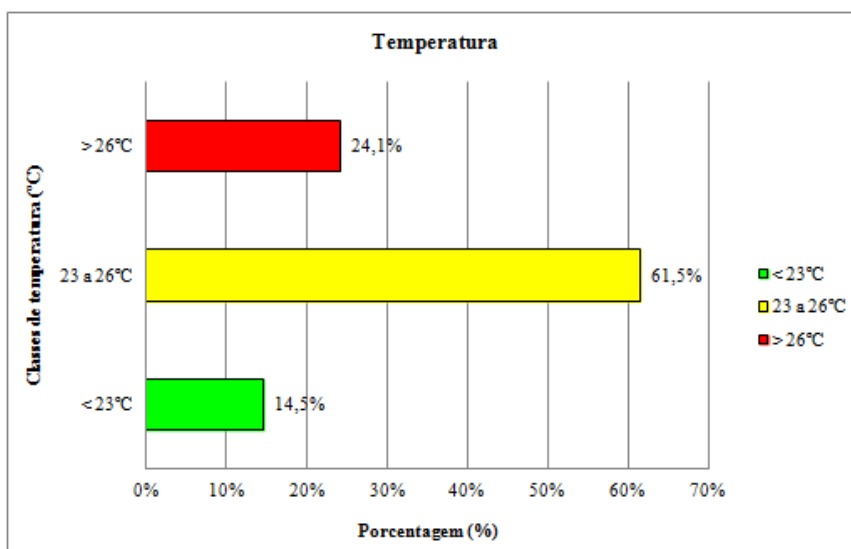


FIGURA 7: Quantificação do mapeamento da temperatura. Fonte: Os autores.

A próxima etapa do referido trabalho refere-se a análise da correlação existente entre os usos da terra com as classes de temperatura segmentadas. Assim, os dados foram analisados de duas formas. A primeira com a apreciação dos usos da terra em relação à temperatura da superfície (Figura 8), e, posteriormente, com a análise contrária, da temperatura em função dos usos da terra (Figura 9).

Com a análise dos dados, verifica-se, que, alguns usos da terra possuem, em porcentagem, um percentual significativo em cada classe, assim, inicialmente examinando a classe de temperatura da superfície com as menores temperaturas (< 23°C) verifica-se que as áreas úmidas e a vegetação possuem a maior incidência nessas áreas, com, respectivamente, 46,0% e 37,2% de frequência, em relação ao total de cada um dos usos, ou seja, 46,0% do total das áreas úmidas estão inseridas na classe de menor temperatura.

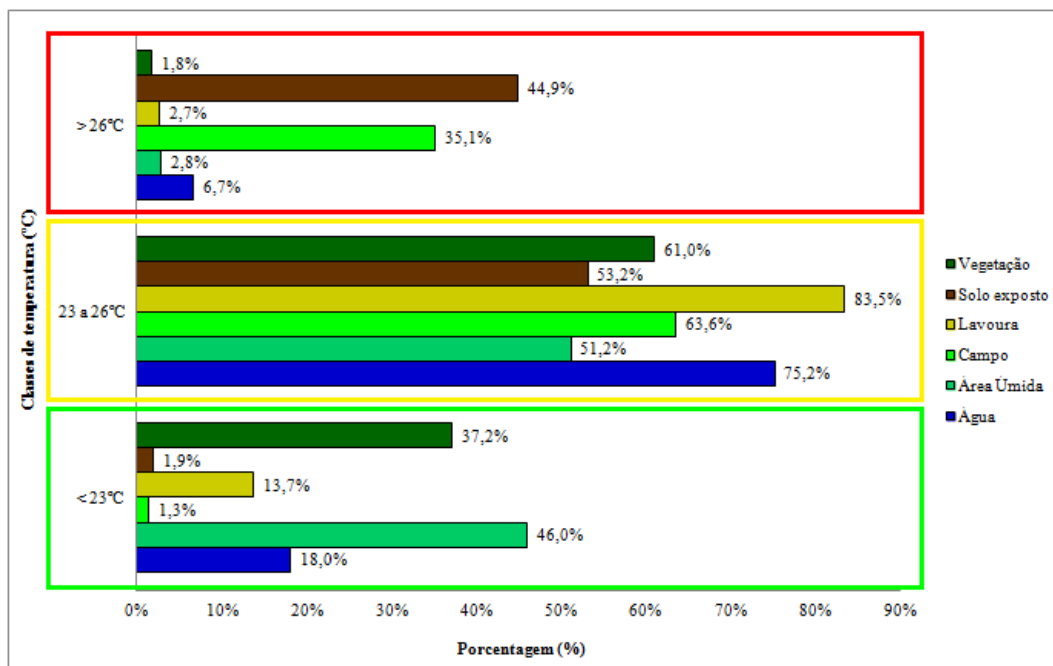


FIGURA 8: Apresentação da relação entre usos da terra e temperatura. Fonte: Os autores.

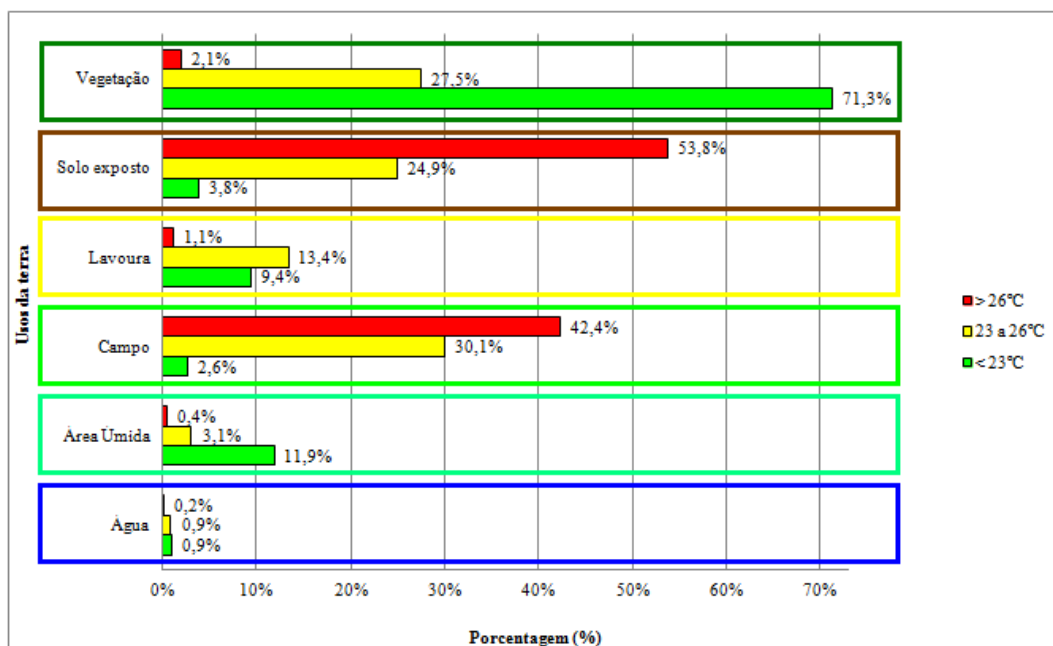


FIGURA 9: Apresentação da relação entre temperatura e usos da terra. Fonte: Os autores.

Ainda, pode-se contextualizar uma baixa porcentagem de solo exposto (com 1,9% de frequência desse uso) e de campos (com 1,3% de frequência desse uso) nas áreas com as menores temperaturas.

No que diz respeito às maiores porcentagens registradas (área úmida e vegetação), pode-se destacar que as mesmas são significativas, apesar de não englobar a maior parte dos usos, porém nessa classe de temperatura há apenas 14,5% da área total. Sendo assim, verifica-se que em 14,5% da área total, há englobado 46% das áreas úmidas e 37,2% das áreas com vegetação. Verificando a variabilidade dos dados a partir dos números expostos, maximiza-se a intensidade de incidência desses usos na classe de menor temperatura da superfície.

Já na análise da classe das maiores temperaturas ($> 26^{\circ}\text{C}$), há uma maior incidência de solo exposto (com 44,9% de frequência desse uso) e campo (com 35,1% de frequência desse uso), e, por outro lado, baixa incidência de vegetação, lavouras e áreas úmidas, com porcentagens inferiores a 3%.

Nas análises anteriores fica nítido a influência da vegetação nos locais em que há o registro das menores temperaturas, tanto de forma direta como indireta. Na forma direta é visto no caso da vegetação, em que nas altas temperaturas há mínimas frações de vegetação (1,8%) e nas áreas com baixa temperatura há a incidência de uma parcela muito mais significativa (37,2%), mesmo que as altas temperaturas registrem uma porcentagem maior da área de estudo (com 24,1%) em relação às áreas com baixas temperaturas (com 14,5%). Dessa forma, sobreleva-se a questão de que com a análise dos dados em porcentagem é possível identificar a variância dos dados.

Na forma indireta, pode-se verificar que os usos que possuem as parcelas mais significativas de vegetação possuem a mesma correlação. Exemplificando essa questão, basta analisar as áreas úmidas (com cultivo orizícola), que possuem 46% de ocupação nas áreas da menor classe de temperatura da superfície. Ainda, ampliando a análise para a área das temperaturas intermediárias, verifica-se que 51,2% das áreas úmidas estão nessa classe, restando uma pequena porcentagem à classe de alta temperatura, fato que pode ser exemplificado na análise da área de estudo, a qual é uma área de alta incidência de lavouras de arroz (nas áreas úmidas), as quais apresentam-se com alto teor vegetativo, na presente data. Além disso, tal fato pode ser verificado nas áreas de lavouras (plantadas), que apresentam 83,5% desse uso nas áreas de médias temperaturas, com ainda, 13,7% nas áreas com baixas temperaturas e, apenas 2,7% em áreas com altas temperaturas.

Com a análise dos dados de temperatura da superfície em função dos usos da terra pode-se constatar quais usos estão localizados, com maior frequência, nas três classes de temperatura.

Assim, verificou-se que 71,3% das áreas abaixo de 23°C possuem incidência de vegetação; 53,8% e 42,4% da classe acima de 26°C é composta por solo exposto e campo, respectivamente (motivadas por serem usos da terra sem incidência de vegetação, no caso do solo exposto, e com vegetação rasteira, no caso dos campos); as áreas com água possuem as menores porcentagens de incidência (no geral), uma vez que nessa classe há a menor incidência (em área) dentre os usos quantificados, mesmo assim analisa-se que a mesma abrange em sua maior parte áreas com média (0,9% da área de temperatura dessa classe) e baixa (0,9% da área de temperatura dessa classe) temperatura.

Ainda, pode-se analisar que as áreas úmidas possuem maior representatividade nas baixas temperaturas (11,9% da área de temperatura baixas); os campos possuem maior representatividade nas altas temperaturas (42,4% da área de temperatura alta); e a classe lavoura possui maior representatividade em temperaturas médias (13,4% da área de temperatura média), porém há uma parte significativa (9,4% da área de temperatura baixa) em áreas com baixas temperaturas (devido a incidência, das culturas em pleno estado vegetativo para a data da imagem).

Deve-se destacar que a classe "urbanização" não foi quantificada na análise do uso da terra, uma vez que a mesma é pouco expressiva (em relação a área total), e, na mesma, há grande mistura espectral, pois há diverificados usos da terra, e, por fim, destaca-se, que esse é um processo que pode interferir no melhor resultado possível a ser obtido na classificação digital.

Porém, a fim de análise dos dados, pode-se destacar, que na área urbana de Jaguari, há um predomínio, praticamente total, analisando visualmente, da classe de temperatura acima de 26°C (classe das maiores temperaturas). Tal fato pode ser ratificado a partir da Figura 10.

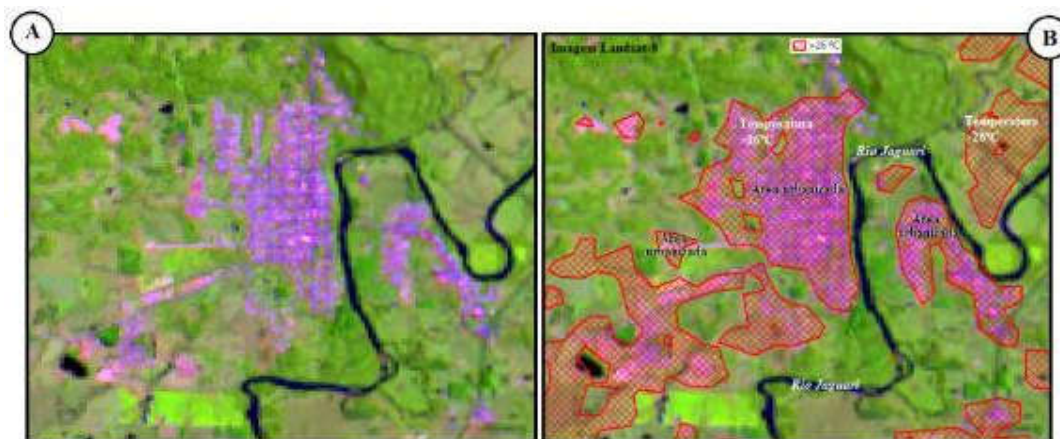


FIGURA 10: Apresentação da temperatura na área urbana de Jaguarí: A: Imagem Landsat-8 (Composição R6 G5 B8); B: Correlação da imagem de satélite com a classe de temperatura acima de 26°C (os polígonos vermelhos representam as áreas com as maiores temperaturas). Fonte: Os autores.

Com todas as análises realizadas, ainda, organizou-se os dados classificados, por meio da correlação entre uso da terra e da temperatura da superfície, e, assim, obteve-se um gráfico das assinaturas das temperaturas em função dos usos. Assim sendo, com a organização da referida etapa metodológica, foi possibilitado identificar a variabilidade espacial dos dados, além de apontar os intervalos em que os dados variam de forma mais significativa. Assim sendo, a Figura 11 apresenta a referida analogia.

Ainda, com o intuito de verificar a variabilidade espacial dos dados, de forma separada, tem-se, por meio da Figura 12, a apresentação de todos os dados. Deve-se destacar que os dados são úteis para realizar a análise da variabilidade da temperatura em relação aos usos, porém sem compará-los, uma vez que a escala de amostragem dos dados está representada a fim de melhor representar a grandeza de cada um dos usos (em cada um dos gráficos). Essa etapa foi de grande importância, uma vez que ratifica, por meio de um gráfico, todas as análises realizadas em etapas anteriores.

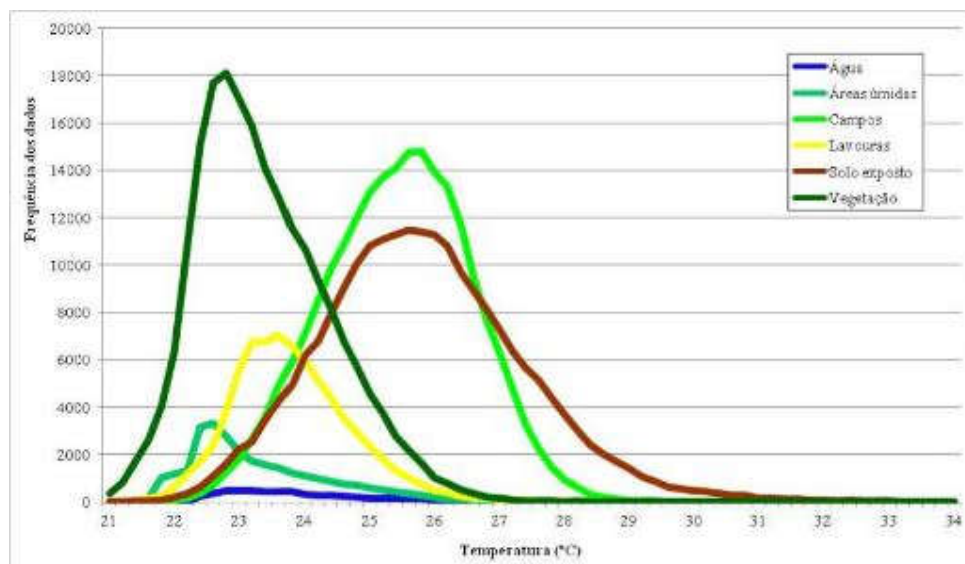


FIGURA 11: Assinaturas das temperaturas da superfície em função dos usos da terra. Fonte: Os autores.

A partir da análise das Figuras 11 e 12, com as assinaturas da temperatura em função dos usos, pode-se identificar, que, cada um dos usos da terra possui variabilidades distintas, com representatividade espacial em determinados trechos da temperatura.

Desse modo, clarifica-se que a água possui uma maior representatividade dos dados entre 22,8 e 23,8 °C (com média de 24,02 °C); já a classe área úmida possui um pico de variabilidade entre 22,4 e 22,8 °C (com média de 23,41 °C); as áreas de campo possuem uma variação mais significativa entre 24 e 27 °C (com média de 25,52 °C); as lavouras possuem maior quantidade entre 23 e 24°C (com média de 23,92 °C); o solo exposto entre 24,6 e 26,4° (com média de 25,92 °C); e, por fim a vegetação com maior representatividade entre 22,6 e 23,2 °C (com média de 23,47 °C). Deve-se destacar, que, a média não, necessariamente, remete ao intervalo de maior pico de variabilidade dos dados, pois a média é influenciada, além de tudo, pela variabilidade dos valores extremos.

Com a análise das assinaturas dos usos da terra, verifica-se que há uma tendência quanto ao ordenamento dos usos da terra em função da temperatura, com isso, verifica-se que os usos que registraram o pico das menores temperaturas foram as áreas úmidas (22,4 e 22,8 °C), a vegetação (22,6 e 23,2 °C) e áreas com água (22,8 e 23,8 °C). Posteriormente, as áreas com lavouras apresentaram temperaturas intermediárias (23 e 24°C), e os usos com os maiores picos de temperatura foram os campos (24 e 27 °C) e as áreas com solo exposto (24,6 e 26,4°). As referidas análises ratificam todos os diagnósticos registrados em etapas anteriores.

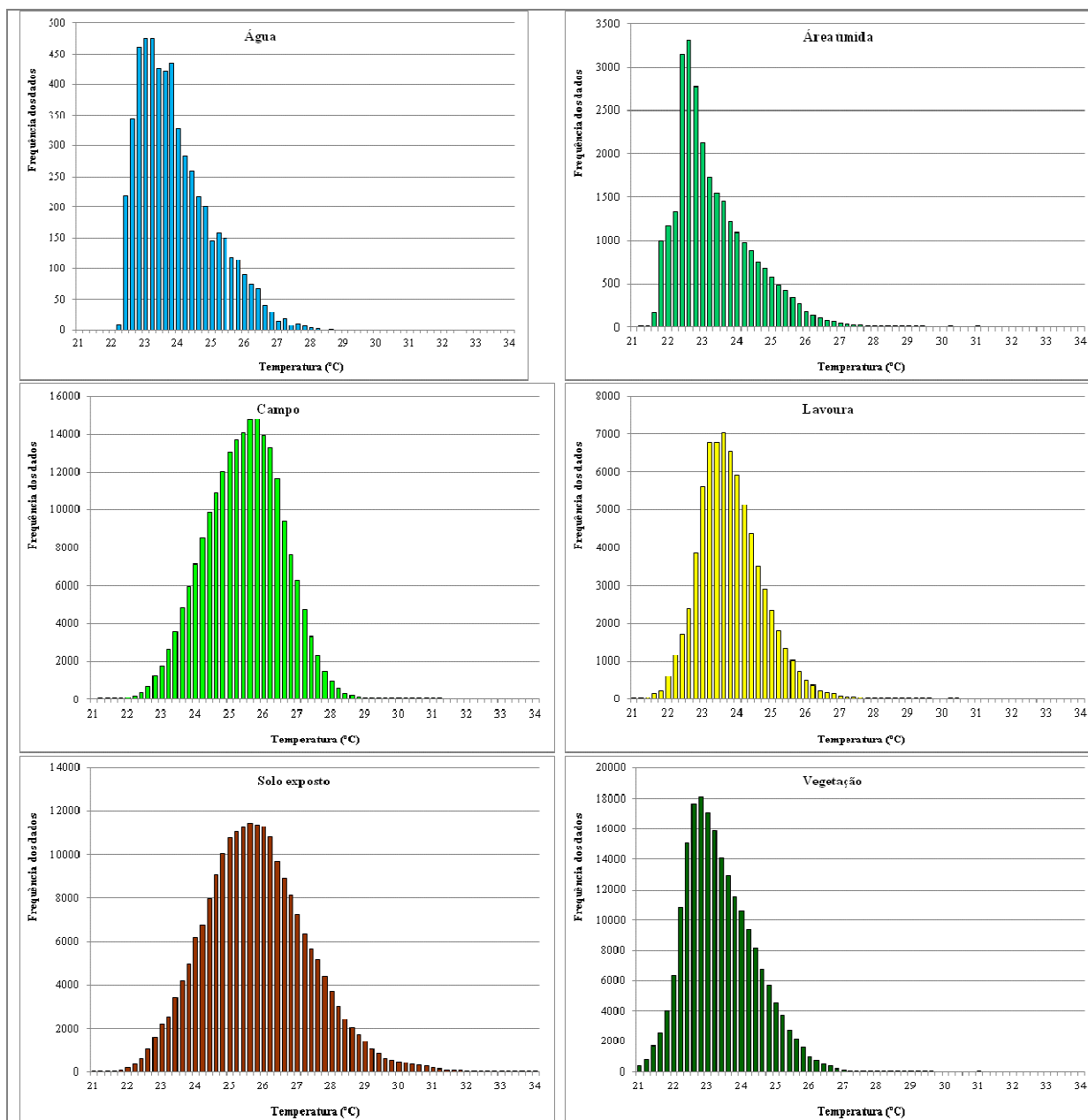


FIGURA 12: Assinaturas das temperaturas da superfície em função de cada um dos usos da terra. Fonte: Os autores.

4. Considerações Finais

Considera-se de extrema importância ao trabalho as metodologias envolventes para a análise dos dados, com foco as ferramentas de Geoprocessamento, com ênfase ao SIG e ao sensoriamento remoto. Por meio da extração dos dados, com o sensoriamento remoto, e a análise com o SIG, pode-se verificar todos os detalhes acerca da correlação existente entre a temperatura da superfície e uso da terra para o município de Jaguari/RS.

Deve-se destacar que a partir das inúmeras análises quantitativas realizadas, verificou-se que há uma alta influência da vegetação nas áreas classificadas com as

menores temperaturas, seja de forma direta ou indireta (forma direta: a própria vegetação; forma indireta: lavouras).

No que tange as áreas com as maiores temperaturas (manchas de calor), pode-se destacar que há uma alta correlação com usos da terra sem incidência da vegetação, no caso das áreas de solo exposto, bem como com as áreas com baixa incidência de vegetação, com foco as áreas de campo, que possuem vegetação rasteira. Assim, adensa-se a importância da existência da vegetação, por serem áreas que regulam o clima em escala local.

Ainda, destaca-se que há uma alta correlação entre áreas urbanizadas (caso da área urbana de Jaguari) com a formação de manchas de calor (maiores temperaturas), pois, apenas na análise visual, possibilitou a identificação da influência entre essas temáticas. Porém, a fim de intensificar as análises acerca da questão da urbanização, em futuros trabalhos, será realizado a análise específica da temperatura da superfície em relação a área urbana.

No que tange as assinaturas da temperatura, em função dos usos da terra, deve-se destacar que todos os usos possuem uma variabilidade específica de variação da temperatura, com um determinado intervalo padrão de amostragem dos dados. A partir dessa análise, deslumbra-se que, para análises de temperatura da superfície é insuficiente analisar os dados de forma agrupada, com o ranqueamento de classes, apesar de que essa é uma forma que facilita a interpretação e a análise de forma geral.

Em geral, todos os resultados obtidos nesse trabalho são considerados como satisfatórios sob a percepção do uso das geotecnologias, no sentido de que com a mesma foi possível haver a espacialização dos usos da terra e a correlação com a temperatura da superfície.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, R. V. R.; VECCHIA, F. A. S. **Estudos de ilha de calor urbana por meio de imagens do Landsat7 ETM+: Estudo de caso em São Carlos (SP)**. Revista Minerva, v. 6, n. 3, p. 273-278, 2009.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. de S. C. **Temperatura de superfície Celsius do sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações**. Rev. Geogr. Acadêmica v.7, n.1 (xii.2013), ISSN 1678-7226.

CORRÊA, P. B.; CORRÊA, J. A. de J.; ANDRADE, S. C. de 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.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. **Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens Landsat-5.** RA´E GA 21 (2011), p. 234-271, Curitiba, ISSN: 2177-2738, Departamento de Geografia – UFPR.

FÁVARO, F. de L.; STIPP, N. A. F. **Análise dos remanescentes florestais da bacia do Ribeirão dos Apertados, a partir de imagens Landsat.** Geografia – Londrina – Volume 12 – Número 2 – Jul./Dez.2003.

IBGE Cidades - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Rio Grande do Sul - Jaguari - infográficos: dados gerais do município.** Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=431110&search=%7Cjaguari> . Acesso em 20 ago.15.

JENSEN, J. R. (2009). **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Editora Parêntese, São José dos Campos, SP, 598p.

OLIVEIRA, A. K. M. de.; FERNANDES, V.; GARNÉS, S. J. dos A.; SANTOS, C. R. B. dos. **Avaliação da perda da vegetação arbórea nativa na Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul, por meio de sensoriamento remoto.** R. RA´E GA, Curitiba, n. 17, p. 43-52, 2009. Editora UFPR

PEREIRA, J. L. G.; RENNÓ, C. D.; SILVEIRA, O. T.; FERREIRA, L. V. **Classificação da cobertura da terra na Amazônia com base em imagens de satélite e caracterização das classes com relação à superfície do terreno.** Geografia (Londrina), v. 21, n. 3.p.115-131, set/dez. 2012.

PETTA, R. A.; FERNANDES, R. C., NASCIMENTO, P. S. de R. **Deteção automática da dinâmica da cobertura da terra por sensoriamento remoto.** Geografia - v. 17, n. 1, jan./jun. 2008 – Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Geociências.

SANTOS, A. M. S.; ROMÃO, P. A. **Estudo multitemporal e alteração na paisagem na região do distrito de Luiz Alves, município de São Miguel do Araguaia – GO, a partir de método indireto, sensoriamento remoto.** Geografia - v. 16, n. 2, jul./dez. 2007 – Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Geociências.

USGS (United States Geological Survey). **EarthExplorer.** Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 21 jun. 2015.

Recebido em: 16/06/2016

Aceito em: 02/08/2016