

Geotecnologias aplicadas a estimativa da temperatura de superfície em diferentes usos e ocupações do solo na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros – Minas Gerais

Geotechnologies applied to the surface temperature estimation in different soil uses and occupations in the environmental protection area of the Rio Pandeiros – Minas Gerais

Marcos Esdras Leite

Doutor em Geografia e Professor do Departamento de Geociências – UNIMONTES, Brasil
Coordenador do Laboratório de Geoprocessamento
marcosesdras@ig.com.br

Lucas Augusto Pereira da Silva

Graduando em Geografia pela UNIMONTES, Brasil
Colaborador técnico do Laboratório de Geoprocessamento
Augustosig3@gmail.com

Manoel Reinaldo Leite

Mestre em Geografia e Professor do Departamento de Geociências – UNIMONTES, Brasil
Integrante do Laboratório de Geoprocessamento
LeiteManoelReinaldo@gmail.com

Gildette Soares Fonseca

Doutora em Geografia
Professora do Departamento de Geociências – UNIMONTES, Brasil
gildettes@yahoo.com.br

Resumo

Esta pesquisa teve como objetivo analisar o comportamento da temperatura de superfície em diferentes usos da terra na Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pandeiros, inserida em municípios da Mesoregião Norte de Minas - Minas Gerais. Para tanto, fez-se pesquisa bibliográfica, além de utilizar técnicas de sensoriamento remoto junto ao algoritmo Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) e imagens orbitais, que contemplaram período seco e período chuvoso. A temperatura de superfície variou com acréscimo para os usos da terra de natureza antrópica (solo exposto, pastagem e agricultura) e com menores valores para as áreas de vegetação nativa na APA Rio Pandeiros. Apresenta avanços significativos de áreas antropogênicas em sua distribuição territorial.

Palavras – Chave: Uso da terra. Temperatura de superfície e APA Rio Pandeiros.

Abstract:

This research had the objective of analyzing the surface temperature behavior in different land uses in the Pandeiros River Environmental Protection Area (APA), located in municipalities of the Northern Meso - region of Minas Gerais. Algorithm of surface energy balance for land (SEBAL) and orbital images, which included dry period and rainy period. For this, a bibliographical research was done, besides technical tools of remote sensing. A varied surface temperature with addition to the land uses of anthropic nature, such as the native vegetation area APA Rio Pandeiros. It presents significant advances of anthropogenic areas in its territorial distribution.

Keywords: Land use. Surface temperature and APA Rio Pandeiros.

1. INTRODUÇÃO

A superfície terrestre é palco de diferentes cenários no que se refere à sua ocupação, esses são advindos das necessidades de desenvolvimento das sociedades, sendo modificados de maneira demasiada e acelerada. No entender de Pereira (2014), para suprir as demandas da população ocorre remoção da vegetação, desencadeia mudanças nas condições naturais do ambiente, são implementados nota-se modificação do meio, para terras agricultáveis, pastagens e construção de empreendimentos hidrelétricos.

Dentro da lógica de mudanças nas das superfícies terrestres, surgem indagações a respeito de como podem implicar em distorções nas propriedades climáticas da superfície da Terra. Leite e Brito (2013), ao avaliarem alterações da superfície, mostraram que estas implicam em distorções nos componentes do balanço de radiação a superfície, principalmente no que diz respeito aos componentes hidrotermais, e suas respostas se apresentam como padrões diretamente proporcionais a variação da cobertura da superfície.

Essas alterações impõem uma nova busca pelo equilíbrio da distribuição dos componentes do balanço de radiação na superfície e na atmosfera (LEITE, 2011). Ainda em consonância com este autor, argumenta-se que, a temperatura dos diferentes sistemas de uso da terra, será diretamente proporcional à quantidade de energia térmica associada.

Como exemplo, pode-se citar o fato de que, em uma área cuja radiação solar pode ser considerada constante, as variações de temperatura e do albedo de superfície ocorrerão em função do tipo de cobertura da terra e de sua interação com os componentes do balanço de radiação.

Essa realidade, quando considerada à luz das concepções da termodinâmica, implica que o ambiente alterado e/ou perturbado, ainda que seja uma pequena porção em área, tenderá a restabelecer o equilíbrio térmico com os sistemas circunvizinhos, ou seja, haverá transferência de energia e conseqüentemente variação nos componentes do balanço de radiação, principalmente os interligados a temperatura, albedo e evapotranspiração, e estas alterações se manifestarão no tempo e no espaço (LEITE, 2011).

Todavia, mensurar variáveis climatológicas não é simples, uma vez que são variáveis que sofrem distorções no tempo, no espaço e em função das características das ocupações do solo. Entretanto, algumas técnicas vêm sendo bastante utilizadas no âmbito científico, técnicas advindas do sensoriamento remoto, que no entender de Florenzano (2002) o sensoriamento remoto como um meio tecnológico que possibilita obter imagens e outros dados dos alvos da superfície terrestre, por meio do registro de energia (eletromagnética) emitido pelos alvos, uma seja, o sensoriamento remoto é a forma de obter informações acerca da superfície terrestre sem que haja contato físico com os

corpos situados na mesma (ROSA,2011), sendo assim, são técnicas de grande valia para análise da dinâmica dos usos da Terra para com as variáveis climáticas.

Dentro das técnicas de sensoriamento remoto, surgem inovações tecnológicas, bem como os algoritmos ou modelos matemáticos que são fomentados para buscar melhores resultados no que tange as variações climáticas e as interações entre Terra-atmosfera, a exemplo o balanço de radiação e energia, que são elementos fundamentais para a manutenção do clima mundial. Dentro dessas inovações, tem-se o algoritmo SEBAL, proposto por Bastiaanssen (1995).

Este algoritmo foi testado e validado em diversas regiões do globo como, por exemplo, Estados Unidos, China, Egito, Espanha, Argentina, Índia, Brasil entre outros, conforme Tasumi (2003). Os principais produtos gerados a partir do SEBAL são, o albedo de superfície, balanço de onda curta, balanço de onda longa, índices de vegetação como o NDVI, SAVI e IAF, emissividade de superfície, temperatura de superfície, saldo de radiação, fluxo de calor sensível, calor latente e a evapotranspiração pixel a pixel.

Face exposto, esta pesquisa tem como objetivo analisar o comportamento da temperatura de superfície em diferentes usos da terra na APA do Rio Pandeiros. A mesma integra três municípios da Mesorregião Norte de Minas. A escolha dessa área, se justifica por ser uma APA com avanços significativos de áreas antropogênicas em sua distribuição territorial.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A APA Rio Pandeiros é considerada maior área de preservação ambiental do Estado de Minas Gerais, geograficamente localiza-se na Mesorregião Norte de Minas, entre as coordenadas 15° 02' 50" e 15° 43' 38" de latitude S e 45° 17' 26" e 44° 37' 29" de longitude W (Figura 1). A APA foi criada pela Lei 11.901, de 01/09/1995, abrange municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho (ALMEIDA,2016).

No entender de Almeida (2016), a APA comporta toda a bacia hidrográfica do Rio Pandeiros. Esse Rio é afluente à margem esquerda do Rio São Francisco. A referida APA ao noroeste limita com a Serra do Gibão; ao sudoeste com a Serra das Araras; ao nordeste com o divisor de águas do Rio Peruaçu e ao sul com divisor de águas da bacia do Rio Pardo.

A APA Rio Pandeiros apresenta complexo cenário geoecológico, com predominância de áreas de Cerrado, sendo o Cerradão e o Cerrado típico, áreas de formações campestre e vegetação de Mata Seca em encontro das Serras da APA. No que se refere aos cursos d'água têm-se à margem esquerda

os rios Pindaibal I, Pindaibal II, São Pedro, Alegre e Mandins; já à margem direita, os rios Catolé, Borrachudo, Macaúba e São Domingos, (BETHONICO, 2009).

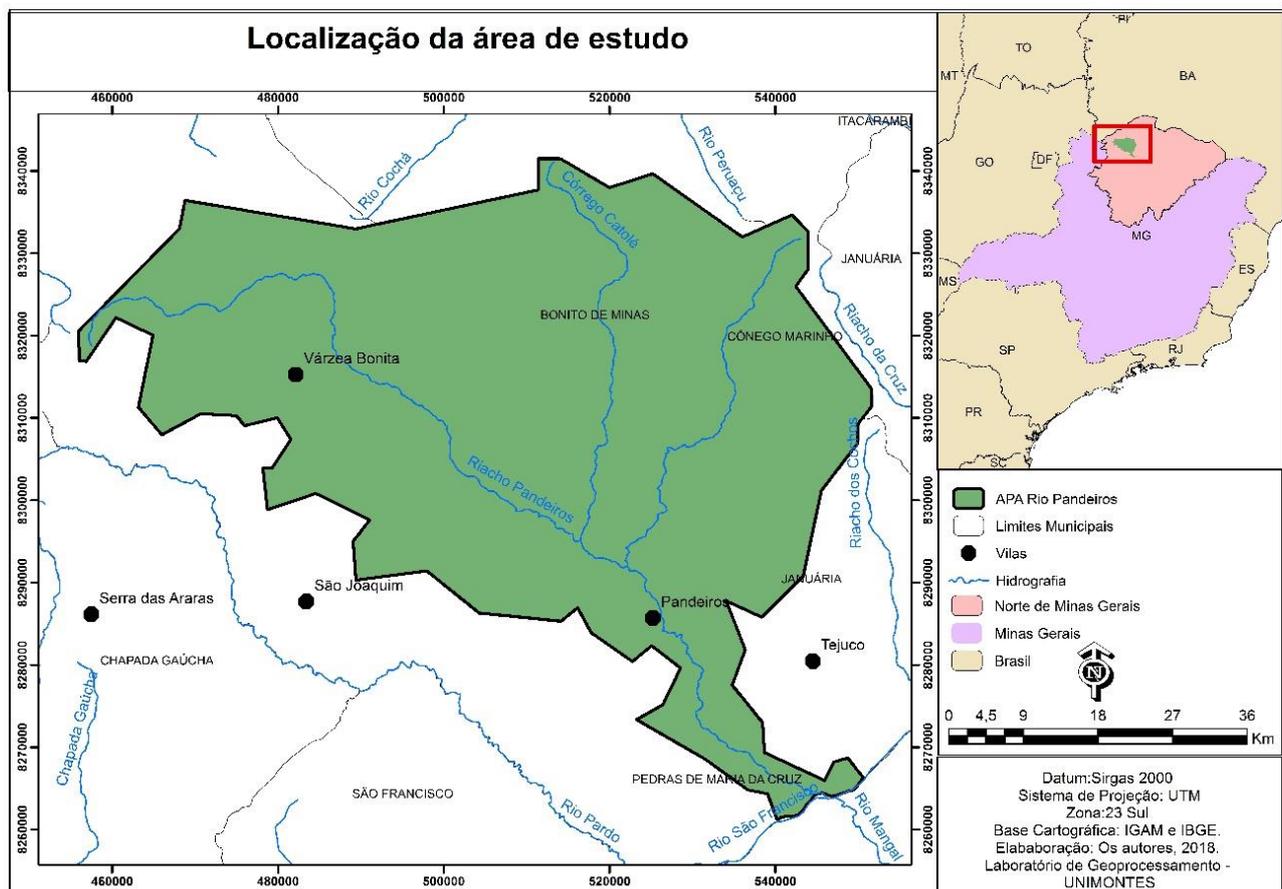


Figura 1 - Localização da área de estudo.

No contexto morfoescultural, a área é marcada por superfícies aplainadas, vales rasos e morros residuais isolados característicos da Depressão Periférica do São Francisco, que sofreu processos de desnudação realizados pela drenagem, sobre ardósia, metassiltitos e calcários (ROSS, 2006).

No tocante à geologia da APA se subdivide pelo grupo areado, Complexo Januária, Grupo Urucúia, cobertura superficial indiferenciada, Formação Serra de Santa Helena, Formação Sete Lagoas e depósito aluvial (CODEMIG¹, 2014). No tocante ao quadro topográfico, pode-se apontar que a APA do Rio Pandeiros detém variações consideráveis de aspectos altimétricos (Figura 2).

Quanto as características climáticas, apresenta clima Tropical Subúmido-Úmido, com proximidade ao limite do Subúmido-Seco, com períodos de chuvas concentradas entre os meses de outubro a março. Entretanto, este quadro pluviométrico ocorre de forma irregular, uma vez que é comum nos municípios do Norte de Minas longo período de estiagem, aspecto que justifica a inserção de quase todos os 89 municípios da Mesorregião na Região do Semiárido Brasileiro, inclusive os três municípios da APA do Rio Pandeiros.

¹ Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais

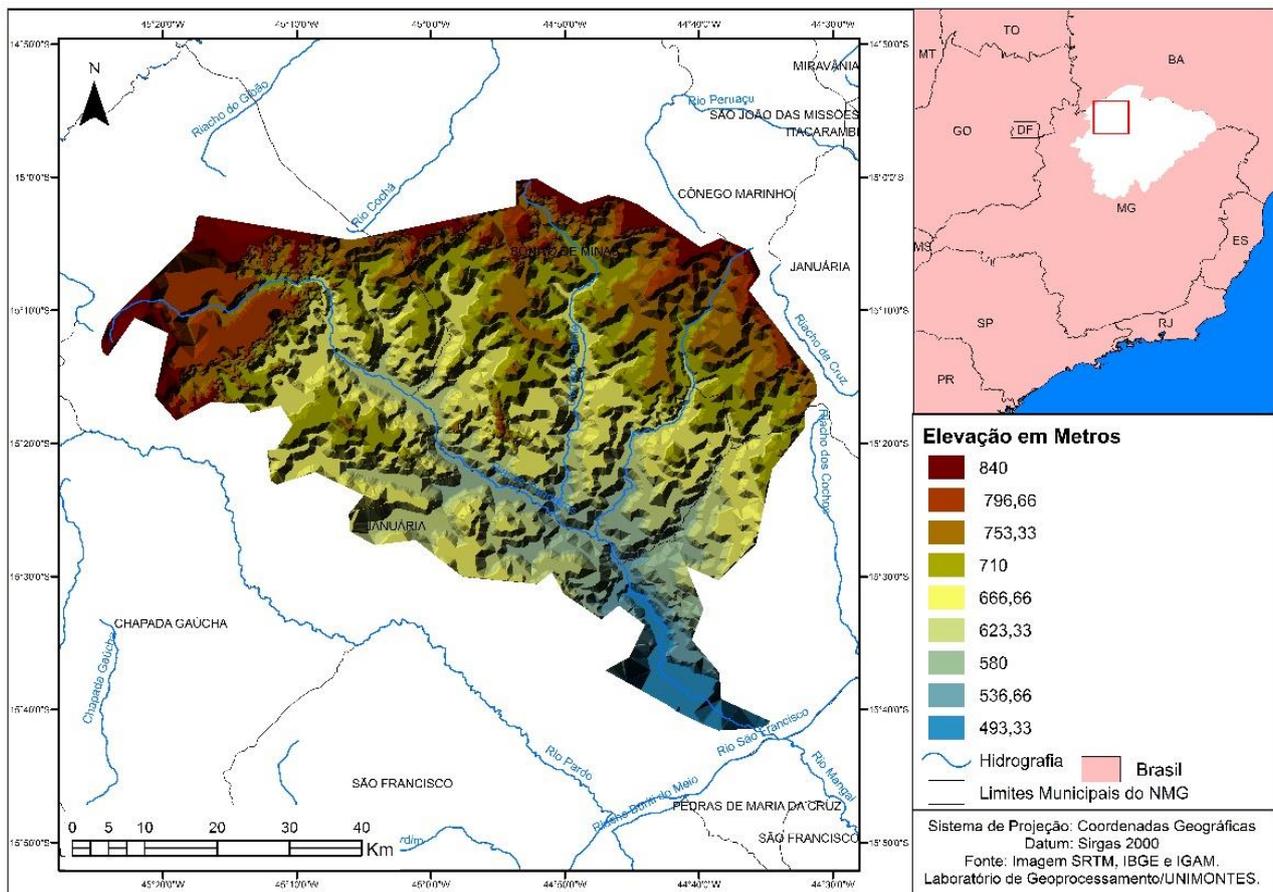


Figura 2 -Mapa hipsométrico da APA Rio Pandeiros.

2.2. Procedimentos técnicos operacionais

Para executar essa pesquisa, utilizou-se produtos cartográficos do sensor *Operational Land Imager* (OLI) do satélite Landsat – 8, referentes às órbitas/ponto 219/071. A escolha destes produtos mantém relação com o objetivo de estudo proposto, uma vez que, para esta análise foram selecionados produtos em período chuvoso e seco de acordo com a sazonalidade da localidade. Os dados satelitários foram obtidos no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sem custos para a aquisição.

Foram utilizadas imagens para de 2016 nos períodos seco e chuvoso, sendo 08/08/2016 e 27/10/2016. A escolha destes períodos foi para compreender a variação da temperatura de superfície diante da sazonalidade climática. Após a montagem do banco de dados, foi realizado o processamento digital das imagens de satélite, iniciou-se com a composição colorida das imagens, utilizando as seguintes bandas: 2,3,4,5,6,7 e 10. Esta composição foi realizada no *Erdas IMAGINE 2014*, através da ferramenta *LayerStack*.

Na Tabela 1 estão as características das bandas.

Tabela 1 - Características das Bandas utilizadas

Bandas	Características	Comprimento de onda (micrometros)	Resolução Espacial (metros)
2	Azul	0.450 - 0.51	30
3	Visível Verde	0.53 - 0.59	30
4	Visível Vermelho	0.64 - 0.67	30
5	Infravermelho Próximo	0.85 - 0.88	30
6	Infravermelho Médio/SWIR	1.57 - 1.65	30
7	Infravermelho Médio/SWIR	2.11 - 2.19	30
10	Infravermelho Termal (TIRS)1	10.60 - 11.19	100

Fonte: Serviço Geológico dos Estados Unidos.

Org: Lucas Augusto, 2018.

Posteriormente, foi realizada a foto leitura das imagens para a identificação e discriminação dos usos da terra, após isso, realizou-se o mapeamento. Para tanto, utilizou-se a classificação supervisionada, que de acordo com as concepções de Novo (2008), permite que o analista esteja constantemente em interação com o sistema de análise digital, dispondo de informações sobre a cena.

Através do classificador estatístico supervisionado *MaxVer*, a classificação por máxima verossimilhança (*MaxVer*) considera a ponderação das distâncias entre a média dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos (LILLESAND et. al., 2007). Nessa classificação, cada pixel é destinado a classe que tem mais alta probabilidade de ser similar, ou seja, a máxima verossimilhança. É um classificador eficiente porque são utilizadas classes de treinamento para estimar a forma de distribuição dos pixels contidos em cada classe determinada. (MENESES; SANO, 2012.).

Estabeleceu-se os seguintes usos da terra para análise: agricultura, cerrado, vereda, afloramento rochoso mata seca, pastagem, solo exposto, campo cerrado e água.

Em terceiro momento, foi feito mapeamento da temperatura de superfície, executado no *software ERDAS 2014*, destacando a ferramenta *Model Maker*, modelador matemático que permite a entrada em blocos das imagens de satélite no algoritmo SEBAL e a operação dos cálculos propostos no algoritmo, além de variáveis condicionais. Os parâmetros das imagens disponibilizadas nos cabeçalhos das mesmas, como tempo central (GMT), orientação da imagem, azimute do Sol e ângulo de elevação do Sol, e dados de calibração fornecidos pelo serviço geológico dos Estados Unidos, são utilizados como dados de calibração do algoritmo SEBAL.

Foi explicitado por meio de expressões matemáticas o processo de obtenção da temperatura de superfície no algoritmo SEBAL:



Figura 3 - Etapas sequenciais para obtenção de temperatura de superfície

Org: Lucas Augusto, 2018.

2.3. Obtenção da Temperatura de superfície:

Para a obtenção da temperatura de superfície (T_s) são utilizadas a radiância espectral da banda termal L_λ , e a emissividade ϵ_{NB} obtida na etapa. Dessa forma, obtém-se a temperatura da superfície (K) pela equação, exposta conforme apresentado em estudos de Leite (2011), Veloso (2013), Silva e Leite (2017) e Silva et al. (2018):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (01)$$

$$K_1 = 774,89 \text{ Wm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$$

$$K_2 = 1321,08 \text{ K}$$

São constantes da banda termal do Landsat-8

A fim de melhor compreender a variação da temperatura de superfície nos usos da terra, fez-se necessário extrair poligonais de pontos amostrais no ambiente computacional a seleção das amostras foi estabelecida em grupos. Sendo grupo controle e grupo teste, no grupo controle estão as

amostras de vegetação nativa e no grupo teste estão as amostras de áreas antrópicas. Seguiu essa lógica para entender como a temperatura de superfície nos usos antrópicos tem variação para com as áreas de mata nativas.

No grupo teste estão os seguintes usos: pastagem, agricultura, solo exposto. Já no grupo controle foram selecionadas amostras de: mata seca, cerrado, campo cerrado e vereda. Já as áreas de afloramento rochoso e água foram tratadas de maneira separadas, uma vez que não causam grandes impactos nas análises, devido às suas extensões em área.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O uso de técnicas de sensoriamento remoto para configurar a superfície se torna essencial para estudos cujo objetivo seja mensurar variáveis climatológicas, tendo em vista a relação do uso da terra para com a temperatura de superfície.

A extensão territorial da APA Rio Pandeiros, é contemplada em 59,85% (Tabela 2) de vegetação nativa de Cerrado, sendo subdividida em cerrado arbustivo, arbóreo, cerradão e cerrado típico.

Tabela 2 - Percentual de uso da terra na APA do Rio Pandeiros.

Usos da Terra	Km ² em %
Solo Exposto	1,46
Vereda	4,82
Mata Seca	2,04
Afloramento Rochoso	1,66
Água	0,03
Campo Cerrado	6,4
Pastagem	19,54
Cerrado	59,85
Agricultura	4,2

Fonte: Os autores, 2017. Análise por método de classificação supervisionada.

Org.: Lucas Augusto, 2018.

Na APA do Rio Pandeiros, pode-se identificar área de vegetação secundária, ou seja, área em regeneração. Regeneração advinda de queimadas e desmatamentos que acontecem constantemente. Entretanto, vale ressaltar o cuidado em não denominar áreas de cerrado arbustivo como vegetação secundária, pois há diferenças entre as mesmas. O cerrado arbustivo é formado por vegetação de médio e pequeno porte, de maneira natural, já a vegetação secundária passou por processos de ações antrópicas. As áreas de Cerrado arbóreo da bacia são bem visíveis por foto – leitura, uma vez que estão distribuídas em grande parte da extensão da APA (Figura 4).

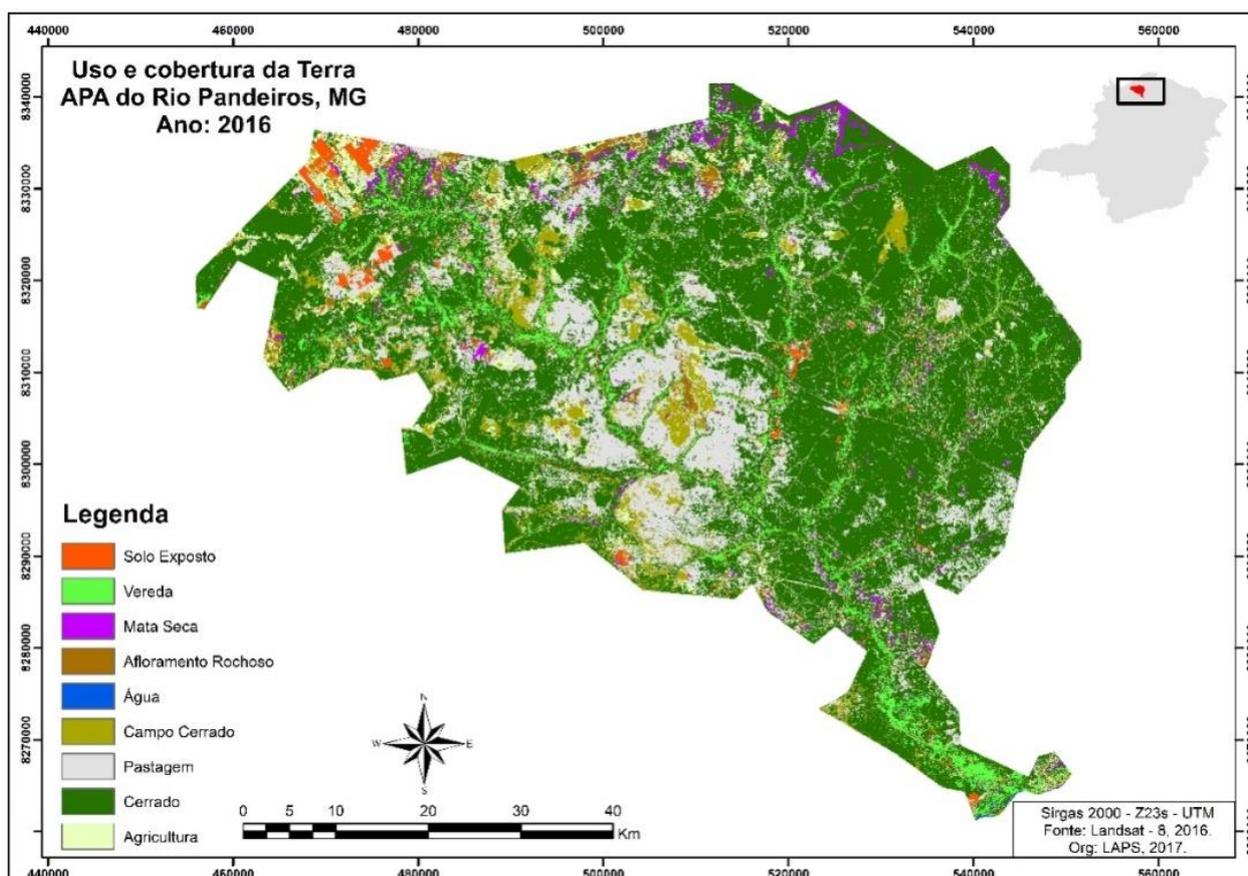


Figura 4 - Uso da Terra da APA o Rio Pandeiros em 2016.

No tocante às áreas de solo exposto, pode-se argumentar que estão englobadas e caracterizadas como área antrópica, pois a maioria é destinada ao preparo de cultivos, principalmente ao norte e noroeste da APA, onde estão inseridos sistemas agrícolas, ocupando 1,46% da área da APA.

O solo em exposição pode ser problema sério ao ambiente inserido, uma vez que, a perda de vegetação em uma dada unidade de área tende a deixar o solo sem proteção. Aspecto que pode causar erosão pluvial, empobrecimento do solo, variações no balanço energético e remoção do carbono no solo. Ao mapear as áreas de solo exposto atentou-se com a semelhança da pastagem com o solo em exposição, principalmente áreas de pastagem degradada, onde ficam com porções de solo em exposição.

Deve-se tentar para a classe de uso da terra denominada como Pastagem, que possui 19,54% da extensão territorial da APA Pandeiros no período de análise. Estas pastagens são subdivididas em níveis hierárquicos no que diz respeito a sua conservação, são pastagens degradadas e melhoradas. Vale salientar que, este cenário da classe "pastagem", representa a segunda maior classe em extensão territorial na APA, algo preocupante no ponto de vista ambiental, pois no entender de Fonseca et al. (2011), as maiores degradações ambientais que ocorrem na APA Pandeiros são verificadas em regiões em que ocorrem o pastoreio, assim como áreas erodidas e em processo avançado de formação de voçorocas devido, justificada devido à retirada da vegetação herbácea com o pisoteio do gado.

Por mais que o sistema pastoril seja essencial para atividades econômicas, a sua prática em qualquer ambiente deve obedecer e seguir o manejo sustentável dos recursos naturais, tratando-se da APA Rio Pandeiros e de Unidades de conservação de Uso Sustentável, a criação de gado não é proibida, desde que cumpra certas práticas de manejo (OLIVEIRA, 2015). No entanto, presença de camadas superficiais de solo compactadas pelo pisoteio dos animais em áreas de pastagens manejadas de forma ineficiente se torna comum (SOUZA et. al.,2008). O resultado é menor infiltração da água da chuva ocasionando em maior escoamento superficial e pouca presença de material vegetal na superfície do solo (MIGUEL et al. 2009), assim pode ocasionar possíveis processos de erosão à superfície.

Ainda se tratando desta prática, alguns estudos realizados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA 2008), mostraram que áreas da Mesorregião Norte de Minas são altamente susceptíveis a processos de desertificação devido à implantação de processos produtivos sem ter a utilização de técnicas conservacionistas adequadas.

Vale ressaltar que, por mais que os sistemas pastoris não tratados de maneira adequada podem gerar problemas ambientais, quando tratados (no caso das pastagens melhoradas) são formas eficientes de sequestro de carbono no solo. Ao analisar os resultados da pesquisa de Rosendo et al., (2012), identificou-se que as perdas de carbono em pastagem podem ser mínimas até mesmo obter ganhos em comparação com a vegetação natural, uma vez que, na pesquisa dos autores supracitados, as áreas de pastagens melhoradas obtiveram maior eficiência no sequestro de carbono do que as áreas de Cerrado, além disso, em alguns pontos as pastagens degradadas apresentaram índices melhores que áreas de Cerrado. Diante destas análises, pode-se argumentar que, um pasto dentro das normas ambientais tende a ser essencial para o clima em micro e macro escala.

As áreas mapeadas como Campo Cerrado mostraram semelhanças espectrais para com as áreas de pastagem, e, por esta complexidade foi realizada a análise do projeto TerraClass 2013, onde o mesmo aponta de maneira fidedigna entre suas classes de usos da terra, as áreas de vegetação natural e pastagens. O campo cerrado possui grande semelhança em suas características físicas com as áreas de pastagens, estão distribuídas na APA em diversos paralelos geográficos, com gramíneas, vegetação muito rasteira e arbustos.

No período de análise em 2016, esta classe possuía 6,4% da extensão territorial da APA. É possível argumentar que, diante das semelhanças de áreas de campos cerrado para com as áreas de pastagens, e o fato de porções dessas áreas estarem inseridas próximas às áreas de sistemas agropastoris, deixando esta vegetação propícia a constantes supressões.

Há grande concentração dessas áreas de campo cerrado aos arredores de áreas de afloramento rochoso, ao centro da APA por exemplo é possível observar esta concentração. As áreas de

aflorescimento rochoso detinham de 1,66 % da extensão territorial da bacia. Estão inseridas topograficamente entre 748 e 846 metros (vide Figura 2).

No tocante a classe ‘ agricultura’, neste período de análise ocupava 4,2% do território da APA, no entanto, por mais que pareça um percentual relativamente baixo, há áreas de solo exposto que estão sendo preparadas para sistemas agrícolas, podendo assim argumentar que estes sistemas agrícolas tendem a se expandirem dentro do território da APA, uma vez que a disponibilidade hídrica da APA fomenta este fato.

Quanto à classe mapeada como água, ocupava 0,03% da área mapeada, sendo distribuída em áreas de veredas, rio e lagos. Ao Sul da APA, esta classe se destaca uma vez que representa áreas brejosas e alagadas.

A classe mapeada como "Vereda", representa 4,82% da APA Rio Pandeiros no período analisado em 2016. São áreas de grande função ecológica, e que apresentam características peculiares e diferenciadas no bioma Cerrado. Conceitualmente, as áreas de veredas são como um sistema de drenagem superficial, sendo regulado pelo regime climático regional, com cursos de água intermitentes que ocupam os interflúvios dentro do domínio Cerrado (AB' SABER,1971). Esse subsistema florestal possui como característica solos argilosos, turfosos com elevada concentração de matéria orgânica (DRUMMOND et al., 2005).

Trata-se de formações florestais frágeis e de baixa resiliência (OLIVEIRA, 2005), que mesmo se tratando de áreas com tal importância, vêm sofrendo ao longo dos anos drasticamente com a ação antrópica (RIBEIRO; WALTER, 2008). Estas ações se norteiam dentro de práticas agropecuárias (com avanços de sistemas de pastagens), a expansão da Silvicultura em larga escala espacial, práticas agrícolas, expansão urbana e entre outras ações antropogênicas. Almeida et. al., (2016), atribuindo do uso de técnicas de sensoriamento remoto, caracterizaram áreas de veredas em diferentes estágios de conservação na APA Rio Pandeiros, e, mostraram invasão de ações antropogênicas no uso da Terra das superfícies nas veredas analisadas.

No tocante à classe mapeada como "Mata Seca", nesse período de análise em 2016, possuía 2,04% em km² da distribuição territorial da APA Rio Pandeiros, sendo que, mesmo sendo um percentual pequeno em área, esta classe é distribuída em praticamente todos os paralelos geográficos da APA.

As áreas de mata seca, são fundamentais para a manutenção do ciclo hidrológico, isso sendo associado às suas características fenológicas. Almeida et. al., (2017), menciona que a mata seca em períodos de inverno perde parte de sua folhagem, pode-se argumentar assim que, este processo da planta tem papel fundamental na manutenção da água no lençol freático, sendo áreas de recarga hídrica. Esta argumentação pode ser corroborada ao pensar no Parque Estadual da Lapa Grande,

situado no município de Montes Claros-MG, sendo que este parque possui grande extensão territorial de mata seca e, serve de recarga hídrica para o município.

3.1. Análise Termal por uso da Terra na APA Rio Pandeiros

Para a análise termal por uso da terra, fez-se necessário gerar mapas termais (Figura 4) para a extensão da APA Rio Pandeiros em ambos os períodos de análise, sendo 08/08/2016 (período seco) e 27/10/2016 (período chuvoso).

É importante salientar que a temperatura de superfície mensurada a partir do algoritmo SEBAL, representa, sobretudo o consumo energético dos usos e coberturas da Terra. Isso é salientável pela seguinte questão: no verão tem – se maior incidência de radiação solar na Terra, fato que provoca aumento nas médias de temperatura do ar conforme visto em Tubelis e Nascimento (1980), e obviamente processo contrário, tende, a acontecer no inverno, onde se tem menores médias de temperatura do ar devido a menor incidência de radiação na Terra. E no algoritmo SEBAL por tratar de consumo energético, na estação chuvosa (verão) a vegetação tende a absorver mais energia e conseguinte manter menores médias termais, já no período seco (inverno) a tendência é que vegetação consuma menos energia e assim refletindo mais (albedo), com tendência de aquecer com mais constância a superfície.

A temperatura de superfície para o período seco variou de 21,08 °C e 46,94 °C, obtendo temperatura média de 34,87 °C no momento da passagem do sensor. Já no período chuvoso, a temperatura de superfície variou entre 19,10°C e 35,49°C, com temperatura média de 28,05°C. Ao mencionar período seco e chuvoso, faz-se necessário analisar os índices pluviométricos de acordo com o INMET para a área de estudo (Gráfico 1).

Quatro meses não apresentaram precipitação: maio, junho, junho e setembro. Fevereiro, agosto e abril apresentaram pluviosidade abaixo de 10 mm, sendo mês de agosto o mais seco. Os demais meses apresentaram maior pluviosidade, para outubro foi identificado 83,7 mm, dentro dessa lógica, pode-se argumentar que esses fatores abióticos tendem a influenciar nas médias de temperatura de superfície da APA Rio Pandeiros se comparar os dois períodos (Figura 5).

Diante do mapeamento da temperatura de superfície, ao analisar o mapa do dia 08/08/2016, é possível observar a grande espacialização das médias termais entre 35,39°C e 46,94°C, já para o período analisado em 27/10/2016 é notório maior espacialização dos valores médios de temperatura superficial, a exemplo do nordeste da APA do Rio Pandeiros onde há predomínio de médias termais entre 19,10 °C e 27,33 °C.

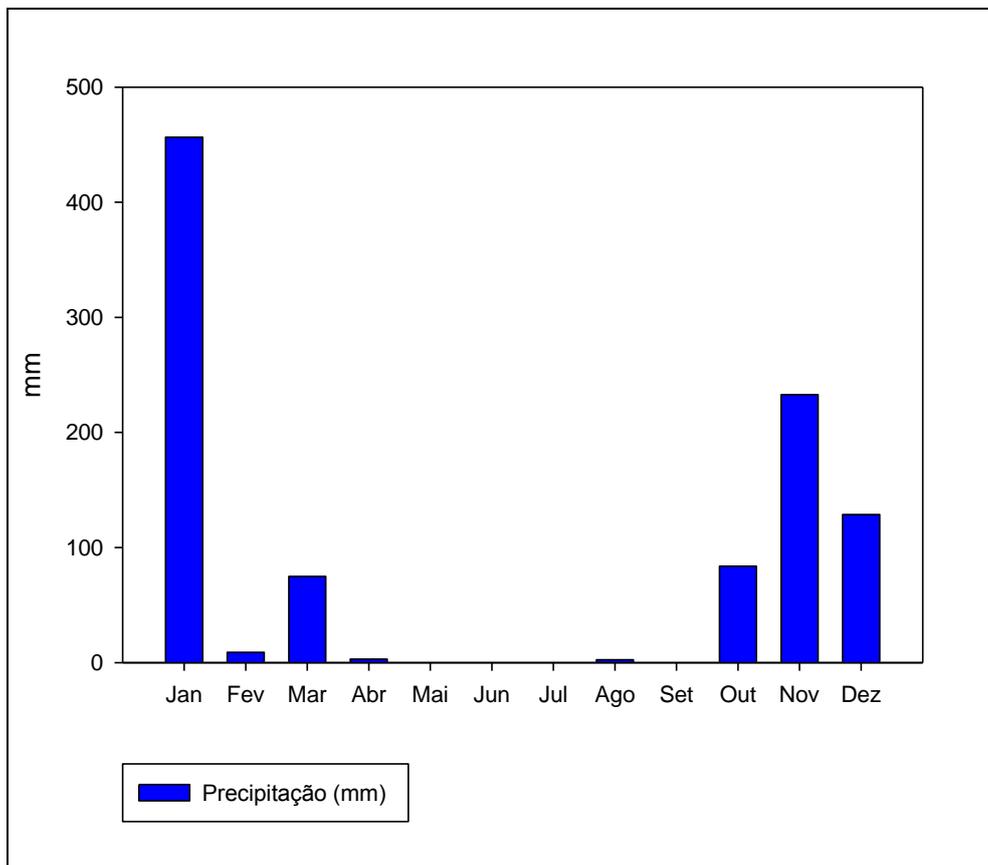


Gráfico 1 - Índices pluviométricos. **Org.:** Lucas Augusto, 2018.
Fonte: INMET, 2016.

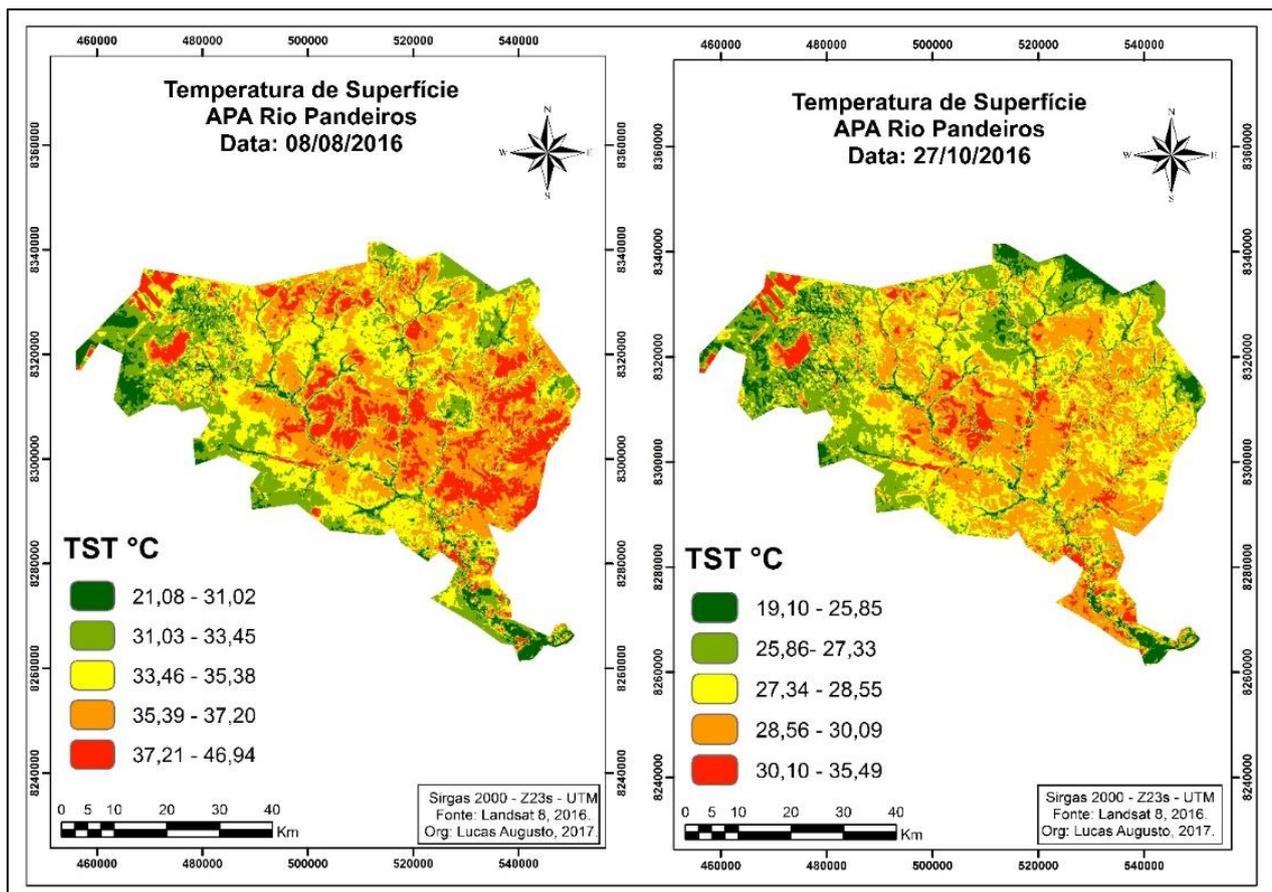


Figura 5: Mapas termais para 08/08/2016 e 27/10/2016 na APA Rio Pandeiros.

Conforme mencionado nos procedimentos técnicos operacionais, para analisar pontualmente os usos da terra, fez-se necessário coletar amostras em ambiente computacional, essas foram divididas em Grupo teste (usos antrópicos) e Grupo controle (vegetação natural). Todavia, vale ressaltar que, os grupos foram selecionados para ambos os períodos de análise (seco e chuvoso) a fim de ter um parâmetro de análise.

No Gráfico 2 estão as médias termais para, agricultura, pastagem e solo exposto representando o grupo teste (usos antrópicos) e, vereda, mata seca, cerrado e campo cerrado, representando o grupo controle (vegetação nativa), sendo representadas graficamente para os dois períodos de análise, 08/08/2016 e 27/10/2016:

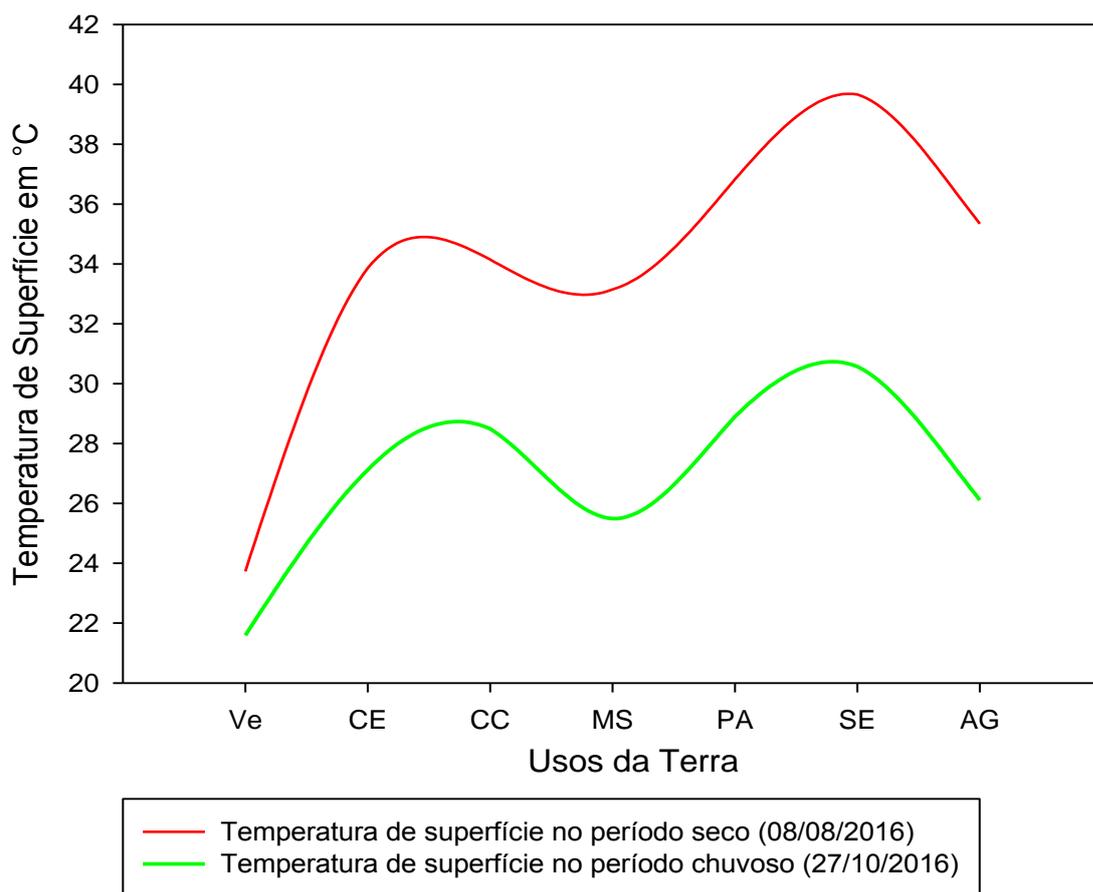


Gráfico 2: Médias Termiais dos usos da Terra². **Org.:** Lucas Augusto, 2018.
Fonte: Os autores, 2018

² As referidas abreviações são referentes aos seguintes significados:

Ve: Vereda
CE: Cerrado
CC: Campo Cerrado
MS: Mata Seca
PA: Pastagem
SE: Solo Exposto
AG: Agricultura

Ao analisar a média das amostras das áreas de veredas, observa-se que a média termal é relativamente baixa em ambos os períodos de análise, tanto no seco, quanto no chuvoso, sendo $23,73^{\circ}\text{C}$ no período seco e sofrendo decréscimo de $2,14^{\circ}\text{C}$ para o período chuvoso, sendo que no período chuvoso foi computado em $21,59^{\circ}\text{C}$ a média termal nas áreas de veredas.

Do ponto de vista analítico, é possível argumentar acerca da influência das propriedades físicas e aspectos fenológicos no comportamento termal das áreas de veredas, sendo áreas de elevado grau umidade, solos brejosos e vegetação densa, isso propicia a umidificação do ar, uma vez que a energia utilizada nessas áreas é absorvida com eficiência e, o processo de umidificação é dado pelo alto índice de evapotranspiração e, conseqüentemente tende a manter médias termais relativamente baixas. Todavia, como citado na discussão sobre uso da terra, em alguns pontos de áreas de veredas na APA Rio Pandeiros, a ação antrópica têm se acentuado com frequência e, isso pode ocasionar distorções significantes nas propriedades termais nesses subsistemas florestais, uma vez que a temperatura de superfície varia no tempo e no espaço considerando as propriedades físicas dos usos e coberturas da Terra.

No que concerne às áreas de Cerrado, o comportamento da temperatura de superfície de um período de análise para o outro, obteve variações significativas, sendo que, no período seco, a temperatura média foi estimada em $33,86^{\circ}\text{C}$, tendo diferença de $6,72^{\circ}\text{C}$ ao comparar com o período chuvoso, sendo que no período chuvoso a média foi estimada em $27,12^{\circ}\text{C}$. Este comportamento de acréscimo infere-se à sazonalidade climática que a vegetação é imposta.

No entender de Tubelis e Nascimento (1980), a vegetação quando passa por um determinado regime hídrico, seus estômatos tendem a se fecharem lentamente e, isso pode acarretar na ineficiência evapotranspirativa da vegetação, podendo argumentar assim que, ao possuir menores taxas de evapotranspiração a umidificação do ar em suas proximidades tende a ser menor, elevando a temperatura superficial. Processo contrário ocorre no período chuvoso, uma vez que a vegetação está em pleno processo de desenvolvimento e, a taxa de evapotranspiração tende a ser mais elevada, além dos seus índices de vegetação, ocasionando assim médias termais de temperatura de superfície mais amenas.

Dentro do grupo controle, que é destinado às áreas de vegetação nativa, a vegetação de campo cerrado foi a que obteve maiores valores de temperatura de superfície em ambos os períodos analisados. Obtendo média termal de $34,15^{\circ}\text{C}$ no período seco e $28,49^{\circ}\text{C}$ no período chuvoso. Mesmo sendo a classe com maiores médias termais, é notório a variação da temperatura de superfície diante da sazonalidade climática na área de estudo.

As características fenológicas das áreas de campo cerrado são influenciadoras do comportamento termal dessa classe, uma vez que a mesma possui uma vegetação de pequeno porte e é distribuída espaçadamente na superfície, sendo que em algumas localidades, áreas de solo exposto

ficam visíveis, isso acarreta em incidência direta de radiação solar no solo, ocasionado maior fluxo de calor no solo e, proporcionalmente médias elevadas de temperatura de superfície.

Tangente às áreas de mata seca, a temperatura de superfície em suas extensões fora estimada em 33,15°C no período seco e, 25,8°C para o período chuvoso, obtendo comportamento de variação correspondendo à sazonalidade climática devido aos eventos chuvosos na área. No período seco, a mata seca perde sua folhagem (como já mencionado), isso pode acarretar em aumentos significativos da temperatura de superfície, sendo que, sem as folhas a vegetação tende a perder seu poder de absorção de energia, e, conseqüentemente a energia é refletida com maior intensidade (albedo), tendo esse escape de energia, a superfície tende a superaquecer com maior frequência.

No tocante às amostras do grupo teste, que são das áreas de usos antrópicos, observa-se grande variabilidade em suas propriedades hidrotermais. As áreas de pastagem na APA Rio Pandeiros, mostraram instabilidade em suas médias termais, sendo que, foi computado valor médio de temperatura de superfície de 36,83°C para o período seco e, 28,9°C para o período chuvoso. Sendo uma classe que mantém médias termais elevadas em ambos os períodos analisados. Quanto a variação termal de acordo com a sazonalidade climática, pode-se discutir que, no período seco a matriz vista pelo sensor em áreas de pastagem é o solo, inferindo assim em médias termais elevadas, já no período chuvoso, com a disponibilidade hídrica e desenvolvimento da planta, há maior concentração de biomassa e, maior absorção de energia, tendo menores taxas de reflexão de radiação solar, ocasionando menores valores de temperatura de superfície.

Do ponto de vista de aplicabilidade das técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) e do SEBAL, ao analisar a variação termal nas áreas de pastagens, abre um amplo espaço de discussões, sobretudo ao pensar em aplicar a mensuração de temperatura de superfície para identificar pastagens degradadas e não degradadas, pois, uma pastagem não degradada, se encontra com boa cobertura vegetal, inferindo em níveis elevados de biomassa, sendo assim tenderá a ter menores médias termais, no entanto isso precisa de base de pesquisa a campo para fortalecer as análises por SR e SEBAL, não deixando de ser uma boa hipótese de análise, visto a variação termal nessas áreas.

No tocante ao solo exposto, foi a classe que correspondeu com maiores médias termais em ambos os períodos, sendo que comportou com 39,66°C no período seco e 30,57°C no período chuvoso. Mesmo sendo uma classe cujo as propriedades termais são relativamente elevadas, passa da mesma forma que as demais classes, por variações devido à sazonalidade climática, isso porque o solo pode estar úmido no período chuvoso, acarretando em leves decréscimos nas médias termais. Essas médias de temperatura de superfície elevadas, estão relacionadas à falta de cobertura do solo, sendo que, isso acarreta em constante incidência de radiação solar, e, o solo exposto possui alta amplitude térmica, assim, aquecendo rapidamente durante o período de exposição solar, levando a

consequente elevação de temperatura durante o dia, aumentando a irradiação de calor e a temperatura em seu entorno (GARTLAND, 2010).

Nas áreas amostradas para sistemas agrícolas, as médias nos períodos seco e chuvoso, variaram em função dessa sazonalidade climática, obtendo maiores valores para o período analisado em 08/08/2016 durante a passagem do sensor, correspondendo a 35,34 °C e sofrendo decréscimo no período chuvoso, com valor médio estimado em 26,11°C. O período de desenvolvimento da planta tende a ter relação intrínseca com esse decréscimo nas propriedades termais, pois é nesse período que os sistemas agrícolas utilizam maior quantidade de energia para seus processos bioquímicos, essa maior absorção tende a diminuir o albedo e consequentemente a temperatura mantém comportamento semelhante.

As áreas de afloramento rochoso se englobam em classes de temperatura de superfície estimadas entre 35,39°C e 46,94°C no período seco, já para o período chuvoso corresponde a abrangência das médias entre 28,56°C e 35,49°C, conforme observa-se nos mapas termais da figura 4. Já as áreas de água, detém as menores médias termais em ambos os períodos, sendo, 21,08°C a 31,02°C no período seco e 19,10 e 25,85°C no período chuvoso.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise e discussão dos dados de uso da terra e temperatura de superfície, é possível acentuar que a temperatura de superfície comporta de maneira proporcional às propriedades das ocupações e usos do solo, além das variações sazonais climáticas, no caso específico dessa pesquisa, os eventos chuvosos. No entanto, mesmo com essa variação significativa da temperatura de superfície para com os eventos chuvosos e a falta dos mesmos, o comportamento termal dos SUT seguiram a mesma curva de tendência. As classes do grupo teste, apresentaram maiores médias termais que os usos da Terra do grupo controle, sendo o grupo teste os usos antrópicos e o grupo controle as matas nativas.

Dessa forma pode-se fazer analogias de projeções, ao se pensar no crescimento demasiado da população e da busca intensa por suprimentos das necessidades da mesma, principalmente com os investimentos no setor agropecuário, especificamente nas áreas de pastagem, sendo que um ambiente com maior percentual de uso da Terra coberto por pastagens tende a ter temperaturas superficiais mais elevadas (salientando que esta temperatura estar associada ao consumo energético da vegetação em tese), conforme as áreas de pastagens desse estudo demonstraram, ainda mais agravante é analisar que, para dar espaço às pastagens a supressão da mata nativa tende a ser intensificada e dessa forma as propriedades térmicas tendem a se elevar. Contudo, reforça nessa discussão a importância da

preservação da mata nativa, tanto para manter o equilíbrio ecológico, quanto para manter o equilíbrio térmico na superfície.

Conclui-se essa pesquisa relatando a importância do sensoriamento remoto e o algoritmo SEBAL sobretudo para as discussões no que concerne às variações climáticas em micro e macro escala espacial, destacando o carácter técnico e científico do algoritmo que mensurou dados em conformidade com os encontrados e embasados na literatura, sendo que, nessa pesquisa, o uso de tais técnicas apresentou bom suporte técnico para execução de estudos com este viés analítico.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. 1971. **A organização natural das paisagens inter e subtropicais brasileiras**. III Simpósio sobre o Cerrado, Editora Blücher e Editora da Universidade de São Paulo. (Republicado em inglês na Revista do Instituto Geológico 21(1/2), p.57-70, São Paulo, 2000, Natural organization of Brazilian inter and sub-tropical landscapes).
- ALLEN, R. G., TASUMI, M. AND TREZZA, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) **Advanced Training and Users Manual**– Idaho Implementation, version 1.0, 97 p., 2002.
- ALMEIDA, J.W.L. **Métodos de sensoriamento remoto no mapeamento de Veredas na APA Rio Pandeiros**. 2016. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas ambientais). Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2016.
- ANTUNES, F. Z. Caracterização climática. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 17, n. 181, p. 15-19, 1994.
- DRUMOND, G.M.; MARTINS, C.S; MACHADO, A.B.M; SEBAIO, F.A, ANTONINI, Y. 2005. **Biodiversidade em Minas Gerais**. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 222 pp.
- FLORENAZNO, T.G. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2002. 97p.
- FONSECA, D. S.R; NASCIMENTO, C. R.; MIRANDA WA, FIGUEIREDO, F.P. 2011. Diagnóstico do uso do solo e degradação ambiental na bacia hidrográfica do Pandeiros-MG como subsídio para estudos de impacto ambiental. **Revista Eletrônica Georaguia**, Barra do Garças, (1)1-20. 9.
- GARTLAND, L. **Ilhas de calor: Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 248p.
- HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index – SAVI. **Remote Sensing of Environment**, v. 25, 295–309 p., 1988.
- LEITE, M.R. 2011. **Sensoriamento remoto aplicado à Análise temporal da relação uso da Terra/Temperatura e Albedo de superfície na Bacia hidrográfica do Rio Vieira no Norte Minas Gerais**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade federal de Uberlândia, Uberlândia/MG.

LILLESAND, KIEFER E CHIPMAN. **Remote Sensing and Image Interpretation**. Wiley; 6 edition (November 6, 2007).

MACHADO, L.M. 2016. **Áreas de arenização e areais no Sudoeste de Goiás: O uso do sensoriamento remoto para identificação e mapeamento**. Goiás. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás. 2016.

MARKHAM, B. L., BARKER, J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures, **EOSAT Landsat Technical Notes**, v. 1, p. 3-8, 1986.

MENESES, P. R.; SANO, E. E. Classificação Pixel a Pixel de Imagens. In: **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Meses, P. R; Almeida, T. de. (Org.). Brasília, 2012.

NEVES, W. V. **Avaliação da Vazão em Bacias Hidrográficas com Veredas em Diferentes Estágios de Conservação, na APA do Rio Pandeiros – MG**. 2011, 58p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2011.

NIMER, E. BRANDÃO, A. M.P. M. **Balanço Hídrico e Clima da região do Cerrado**. Rio de Janeiro, IBGE, 1989.

PEREIRA, C.C. 2014. **Temperatura de Superfície na Bacia da Usina Hidrelétrica (UHE) Barra dos Coqueiros, utilizando climatologia e sensoriamento remoto**. Goiás.2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás. 2014.

PEREIRA, C.C.; MARIANO, Z.F.; WACHHOLZ, F.; CABRAL, P.B.J. Análise da temperatura de superfície e do uso da Terra e cobertura vegetal na bacia Barra dos Coqueiros (Goiás). **REVISTA GEONORTE**, Ed. 2, V.2, N.5, p.1243 – 1255, 2012.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 4 ed. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 2001. 210 p.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 208p

SILVA, L.A.; LEITE, M.R. Estimativa por sensoriamento remoto do comportamento da temperatura de superfície diante da conversão de Cerrado à Pastagem na bacia do rio Jatobá no Norte de Minas Gerais. **GEOGRAFIA EM ATOS (ONLINE)**, v.1, p. 34-53, 2017.

SILVA, L.A.; LEITE, M.R.; MAGALHÃES FILHO, R. Estimativa por sensoriamento remoto do comportamento da temperatura de superfície em área de veredas. **GEOGRAFIA EM QUESTÃO (ONLINE)**, v.11, p. 89-105, 2018.

TASUMI, M. **Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery**. PhD thesis, Dept. Biological and Agricultural Engineering, University of Idaho. Idaho, 2003.

TUBELIS, A. E NASCIMENTO, F.J.L. do. **Meteorologia Descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras** / Antônio Tubelis, Fernando José Lino do Nascimento. – São Paulo: Nobel, 1980. p. - 374.

VELOSO, G. A. Análise Espaço Temporal dos Componentes do Balanço de Radiação, Energia e Evapotranspiração, Usando Técnicas de Sensoriamento Remoto em Áreas Irrigadas do Projeto Jaíba/MG. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia/IG, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

Trabalho enviado em 29/01/2018

Trabalho aceito em 10/05/2018