



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Estimativa da temperatura da superfície por sensoriamento remoto para a região da Amazônia Ocidental Brasileira

Luiz Augusto Siciliano da Silva Júnior¹; Rafael Coll Delgado²; Henderson Silva Wanderley³.

¹Bolsista de Iniciação Científica do CNPq (luizsicilianoufrj@gmail.com). ^{2,3}Professor do Departamento de Ciências Ambientais, Instituto de Floresta (DCA/IF/UFRJ). rafaelcolladelgado32@gmail.com (autor correspondente) e henderson@ufrj.br.

Artigo recebido em 09/11/2017 e aceito em 24/02/2018

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estimar a temperatura da superfície continental, por meio do sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS) do LANDSAT 8 com o uso de sensoriamento remoto e suas ferramentas para uma região da Amazônia Ocidental brasileira. A análise foi realizada para duas imagens no período chuvoso (10/02/2015) e período seco (24/08/2016) com a utilização do sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS) do LANDSAT 8, o Modelo Digital de Elevação, focos de incêndios e o uso e ocupação do solo para analisar as possíveis correlações existentes na área de estudo. Os resultados encontrados mostraram um significativo aumento da temperatura da superfície e focos de incêndio para o ano de 2016. O evento El Niño na região foi o que contribuiu significativamente para o aumento da temperatura da superfície na área de estudo e focos de incêndio. No ano de 2015 as áreas destinadas à concentração urbana (cidades) e atividades que causam bastante alteração na vegetação nativa e no uso original do solo (pecuária) apresentaram os maiores valores de temperatura, entre 23°C e 26°C para cidade e pecuária entre 25,8°C e 28,6°C, respectivamente para 2015 e 2016. A região de área florestal de uso sustentável apresentou o menor registro de temperatura tanto em 2015 (18,31°C) quanto em 2016 (24,44°C), enquanto o maior registro foi apresentado pela classe terra indígena + pecuária + cultivo tanto para 2015 (26,01°C) quanto para 2016 (28,59°C). A metodologia proposta possibilitou identificar as regiões propícias a focos de calor e a vulnerabilidade do ecossistema amazônico diante da ocorrência dos incêndios.

Palavras Chave: Queimadas, LANDSAT 8, estatística descritiva.

Estimation of the surface temperature by remote sensing for the region of the western Brazilian Amazon

ABSTRACT

The objective of this work was to estimate the continental surface temperature using the LANDSAT 8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) with the use of remote sensing and its tools for a region of the Brazilian Western Amazon. The analysis was performed for two images in the rainy season (10/02/2015) and dry period (08/24/2016) using the Thermal Infrared Sensor (TIRS) of LANDSAT 8, the Digital Elevation Model, Fires and the use and occupation of the soil to analyze the possible correlations existing in the study area. The results showed a significant increase in surface temperature and fire outbreaks for the year 2016. The El Niño event in the region contributed significantly to the increase in surface temperature in the study area and fire outbreaks. In the year of 2015, the areas destined to the urban concentration (cities) and activities that cause a lot of change in the native vegetation and the original use of the soil (livestock) presented the highest values of temperature, between 23°C and 26°C for city and livestock Between 25.8°C and 28.6°C respectively for 2015 and 2016. The region of sustainable forest area presented the lowest temperature record in both 2015

(18.31°C) and 2016 (24.44°C), while the highest record was presented by indigenous land + livestock + cultivation for both 2015 (26.01°C) and 2016 (28.59°C). The proposed methodology made it possible to identify the regions that are prone to hot spots and the vulnerability of the Amazon ecosystem in the face of the occurrence of fires.

Keywords: Burnings, LANDSAT 8, Descriptive Statistics.

Introdução

A Amazônia apresenta diferentes características climáticas e meteorológicas em suas diferentes regiões geográficas. Por ser uma região diversificada e de grande extensão, a compreensão da gênese de aspectos como mudança no uso do solo, focos de calor e a dinâmica dos processos que são resultados de mudanças como essas é de grande importância para a região Amazônica.

O crescente interesse nas atividades extrativistas na Amazônia impulsionaram o desenvolvimento comercial em regiões como a de Cruzeiro do Sul, Acre. Essas mudanças proporcionam a intensificação do processo de urbanização, processos esse que, se estabelece por meio da mudança no uso do solo e modificação da cobertura natural do solo. As consequências dessas mudanças são expressivas, para o clima local/urbano, como um importante reflexo do impacto da ocupação e da atividade antrópica sobre o meio ambiente (Nascimento e Oliveira, 2011).

O processo de urbanização da Amazônia tem desencadeado impactos ambientais, muitos deles irreversíveis, os quais vale ressaltar as alterações do microclima devido a ocorrência de eventos extremos de chuva e seca, aumento da temperatura do ar e do solo, e do escoamento superficial, com diminuição na interceptação das chuvas, entre outros.

A urbanização, que tem como seu principal efeito a substituição de superfícies naturais para implementação de outras atividades, tem aumentado significativamente a impermeabilização dos solos, a irradiação do calor para a atmosfera, aumento da temperatura do ar e solo, redução da umidade do ar, aumento de focos de incêndios (Rajasekar e Weng, 2009; Costa et al., 2010; Linh e Chuong, 2015).

Freitas et al. (2012) afirmam que converter áreas florestadas para qualquer outra finalidade, sendo sua execução feita de forma desorganizada e sem o devido controle das atividades inseridas no processo, pode causar grandes problemas ambientais. Deste modo, o uso de geotecnologias surge como uma ferramenta promissora, sobretudo para monitorar a temperatura da superfície, a qual

vêm apresentando resultados satisfatórios para monitorar e quantificar as condições e distribuições espaciais da vegetação, mediante o uso do índice de vegetação, classificações espectrais e dados de temperatura da superfície (Delgado et al., 2012; Rodrigues et al., 2013; Coelho e Correa, 2013).

A temperatura de superfície terrestre pode fornecer informações importantes sobre propriedades físicas do clima local, sendo essa muito importante em processos ambientais, incluindo vegetação e escoamentos (Delgado et al., 2013; Bezerra et al., 2014; Santana, 2014). Os mesmos autores também elucidam a importância do sensoriamento remoto na compreensão desses processos, através da análise espaço-temporal na mudança do uso e cobertura do solo em relação à temperatura de emissividade na superfície.

O conhecimento da temperatura da superfície constitui-se num parâmetro notadamente influenciado por variações no clima, e cuja estimativa é de grande utilidade em estudos de monitoramento de dinâmicas espaciais como os processos de urbanização, catástrofes naturais e focos de incêndios. A perda da biodiversidade por razões antrópicas, seguido de grandes episódios de incêndios florestais, queimadas e secas extremas implicam em consequências devastadoras aos sistemas florestais em escala regional e global, além disso perdas econômicas e aumento de problemas sociais (Martín et al., 2012; Caúla et al., 2015; Jacob et al., 2015; Caúla et al., 2016).

Tanto nas queimadas quanto nos incêndios, a eliminação do material orgânico por fogo gera a emissão de gases poluentes para a atmosfera, com destaque para o gás carbônico ou dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso. São os chamados gases de efeito estufa ou bloqueadores de calor (IPCC, 2014). O acúmulo destes gases na atmosfera, intensifica o efeito estufa, com efeitos diretos na elevação da temperatura, mudança no regime de chuvas e elevação do nível do mar (Meehl et al., 2007).

O impacto dessas mudanças pode atingir proporções significativas quando associado com uma oscilação climática como o fenômeno ENOS (El Niño-Oscilação Sul). O ENOS é o mais importante acoplamento oceano-atmosfera com atuação em todo o planeta (Cai et al., 2015). Os

impactos dos ENOS já foram ratificados para a região amazônica (Sodre et al., 2015).

Assim, um possível aumento na frequência e intensidade nos eventos extremos do ENOS pode contribuir para aumentar a vulnerabilidade de ecossistemas como o amazônico e de sua população. O IPCC (2014) prevê um aumento da temperatura global previsto para o próximo século, podendo chegar a 5°C. O aumento da temperatura global e emissões dos Gases de Efeito de Estufa (GEE), onde suas concentrações vêm aumentando desde a era pré-industrial, impulsionado principalmente pelo crescimento econômico e populacional.

Os impactos associados às mudanças climáticas serão sentidos em todo o globo e, provavelmente, terão implicações profundas para a região amazônica. Deste modo, torna-se necessário estudos que quantifiquem os possíveis impactos do clima da região amazônica e os riscos das mudanças climáticas associadas aos diversos níveis de emissões de GEE.

A resposta da temperatura da superfície, para diferentes uso e cobertura do solo e o aumento/diminuição dos focos de incêndio para esta região da Amazônia Ocidental brasileira, não foi realizada para períodos sobre a influência do fenômeno ENOS

Com base no que foi apresentado, este trabalho teve por objetivo calcular a temperatura da superfície continental, através do sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS) do LANDSAT 8 por meio do uso de sensoriamento remoto e suas ferramentas e, contribuir com a climatologia urbana na Amazônia Ocidental brasileira.

Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo situa-se nos Paralelos - 7,34° e -8,28° e Meridianos -73,30° e -71,51° nas imediações do município de Cruzeiro do Sul, AC, Brasil, sendo o segundo município mais populoso do Estado, atrás apenas da capital, Rio Branco, que fica à 632 quilômetros de distância (Figura 1). Cruzeiro do Sul possui cerca de 82.075 habitantes (IBGE, 2017).

Clima

Segundo a Classificação de Köppen a área de estudo, apresenta clima de monção (Am) com chuva média anual de 2139 mm e temperatura média anual de 25,3°C. O mês mais seco do ano é julho enquanto março é o mês com maior chuva do ano.

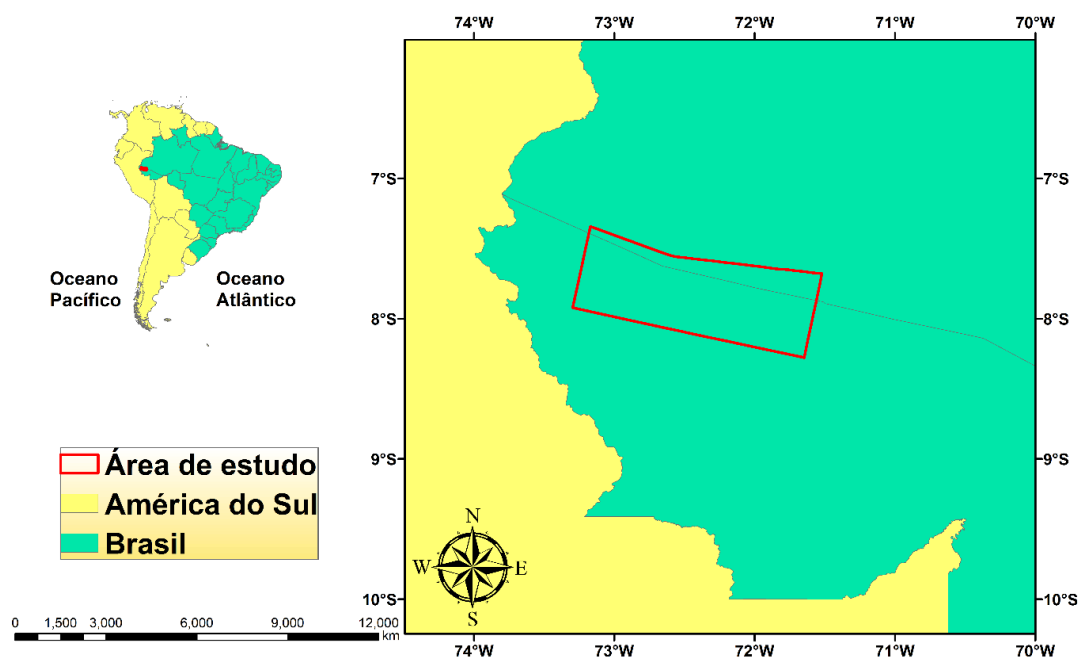


Figura 1. Localização da área de estudo.

Vegetação

O bioma da área de estudo é de Amazônia, sua vegetação é estritamente

florestal, com vegetação natural composta por floresta tropical aberta (baixos platôs e aluvial) e floresta tropical densa (baixos platôs, superfície dissecada da Serra do Divisor). A floresta tropical aberta é caracterizada por gradientes climáticos com mais de 60 dias secos, enquanto a floresta tropical densa é caracterizada pela presença de fanerófitos, lianas e epífitas, ocorre em localidades de temperaturas elevadas e altas chuvas. O potencial econômico da flora é imensurável, a economia do município se sustenta ao redor do extrativismo, da agricultura e pecuária, principalmente da produção de madeira (ZEE-ACRE, 2006).

Solos

Esta região apresenta uma variedade de tipos de solos, desde os mais jovens (Vertissolos) até os mais intemperizados (Latosolos). Os argissolos são predominantes na região, ocupando cerca de 65% do território, seguidos pelos Luvisolos, com 19%. Os Gleissolos e NeossolosFlúvicos são os tipos de solos mais presentes na região de Cruzeiro do Sul com grande potencial agroflorestal (ZEE-ACRE, 2006).

Thermal Infrared Sensor

As imagens multiespectrais recentemente disponíveis dos sensores Operational Land Imager (OLI) e o Thermal Infrared Sensor (TIRS) do satélite LANDSAT 8 lançado em 2013, surgem como uma promessa futura em estudos ambientais. Sua importância é significativa para estender a missão de monitoramento de florestas pela série LANDSAT, dadas as suas melhorias no que diz respeito à relação sinal-ruído, resolução radiométrica e resolução espacial (Irons et al., 2012; Roy et al., 2014;).

Para realização deste trabalho foram selecionadas duas imagens de satélite (10 de fevereiro de 2015 e 24 de agosto de 2016), referente a banda 10 (infravermelho termal) do sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS) com comprimento de onda de 10.60 - 11.19 micrômetros e resolução de 30 metros. As mesmas foram fornecidas pelo Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS) no endereço <https://glovis.usgs.gov/>.

As imagens do LANDSAT-8 são entregues em 16 Bits (sendo necessário redefini-los para 8 Bits), projeção UTM, Datum WGS 1984 (sendo necessário redefini-los de Norte para Sul) e período de revisita de 16 dias.

Com a obtenção das imagens, foi selecionado, por meio do ArcGIS 10.2, a banda 10 referente a faixa do infravermelho termal e posteriormente executada na ferramenta raster calculator, onde aplicou-se os parâmetros de conversão de níveis de cinza da imagem para radiação e, em seguida, para temperatura em Kelvin. Estes procedimentos são explicitados e fundamentados pelas equações 1 e 2 a seguir:

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

em que,

L_{λ} -Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts/ (m²sr μm);

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

Q_{cal} - Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = imagem 10;

A_L - Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.1.

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

em que,

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

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

K1 - Constante de calibração 2 = 774.89 (K);

L_{λ} - Radiância espectral em Watts/ (m²sr μm).

Shuttle Radar Topography Mission

Nesta análise, também foi utilizado dados do projeto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponibilizados em Embrapa Brasil em Relevo (<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevo-br/download/>), o qual foi um projeto para obter o Modelo Digital do Terreno (MDE), criando uma base de dados completa de cartas topográficas digitais terrestre de alta resolução. Por meio desses dados foi possível estabelecer o MDE para a área de estudo, buscando-se

aplicar os dados de relevo para o planejamento de uso e ocupação do solo.

Uso e ocupação do solo

Os dados foram adquiridos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm) agrupados no software ArcGIS 10.2, de acordo com a sua similaridade e que compreendesse a área de estudo (Tabela 1). Em

seguida os valores obtidos em Kelvin, referentes a temperatura da superfície das duas imagens, foram subtraídos por 273,15, obtendo-se o raster da temperatura de superfície em graus Celcius (°C). Com isso, a área de interesse foi recortada e, por meio da tabela de atributos, foi posteriormente dividida em classes, considerando o seu uso e cobertura do solo (Tabela 1). Em cada classe foi extraído o valor médio de temperatura e especializada em forma de gráfico através do software Excel.

Tabela 1. Uso e ocupação do solo selecionado para a área de estudo.

Aquicultura em corpo d'água continental	A
Cidades	B
Cultivos temporários+Pecuária animais de pequeno porte+Extrativismo animal em área florestal	C
Extrativismo vegetal em área florestal+Cultivos temporários diversificados	D
Outros cultivos permanentes	E
Pecuária de animais de grande porte	F
Pecuária de animais de grande porte+Cultivos temporários diversificados	G
Terra indígena em área florestal	H
Terra indígena em área florestal+Pecuária de animais de grande porte+Cultivos temporários diversificados	I
UC de proteção integral em área florestal+Pecuária de animais de grande porte+ Cultivos temporários diversificados	J
UC de uso sustentável em área florestal	K

Focos de Incêndio e ENOS

Os dados dos focos de calor para os anos de 2015 e 2016 foram obtidos, em arquivo shapefile, no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (BDQUEIMADAS – Banco de dados de Queimadas) (BDQUEIMADAS, 2017). Esse banco de dados do INPE identifica os focos de calor, entre outras informações, através de um conjunto de satélites, são eles: NOAA, TERRA, AQUA, GOES E METEOSAT02. O software ArcGIS 10.2 foi utilizado para acessar o banco de dados

e assim realizar a contagem do número anual de focos de incêndio. Esses dados foram transferidos para o Excel.

As informações de ocorrência do ENOS foram obtidas na base de dados da National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Prediction Center - NOAA/CPC (NOAA-CPC, 2017). Na Tabela 2, encontram-se os anos de El Niño, La Niña e de Neutralidade de 2010 a 2017, que abrange o período de análise desta pesquisa, classificados como quente (vermelho) e frio (azul) com base em um limite de +/-5°C da temperatura da superfície do mar (TSM) (NOAA-CPC, 2017).

Tabela 2. Anos e meses de ocorrência do ENOS (El Niño, La Niña e Neutro).

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.3	1.2	0.9	0.5	0.0	-0.4	-0.9	-1.2	-1.4	-1.5	-1.4	-1.4
2011	-1.3	-1.0	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.6	-0.8	-0.9	-1.0	-0.9
2012	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2014	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.4	0.5	0.6

2015	0.6	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3
2016	2.2	2.0	1.6	1.1	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7
2017	-0.4	-0.1	0.2	0.4								

Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Prediction Center.

Foi calculada a estatística descritiva para as duas datas a fim de obter uma melhor forma de analisar a distribuição da temperatura da superfície. Foram calculados o valor mínimo, valor máximo, média (\bar{x}), variância (S^2), desvio padrão (s) e coeficiente de variação (CV%) pelas equações de 3 a 6.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (3)$$

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (4)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (5)$$

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (6)$$

em que, x representa o valor observado; e n o número de observações.

Resultados e discussão

Os resultados obtidos mostraram que para o ano de 2015 (período chuvoso) nesta região (Figura 2), as áreas destinadas à concentração urbana (cidades) e atividades, que causam alteração na vegetação nativa e no uso original do solo (pecuária), apresentaram os maiores valores de temperatura, entre 23°C e 26°C para cidade e 25,8°C e 28,6°C para pecuária. Valores semelhantes da temperatura da superfície foram encontrados nos trabalhos

de Delgado et al. (2012 e 2013) e Bezerra et al. (2014), onde áreas que sofreram intenso processo de urbanização ou retirada de vegetação natural, apresentou aumentos significativos na temperatura da superfície.

De acordo com as informações de ocorrência do ENOS, os anos de 2015 e 2016 foram anos de ocorrência do fenômeno El Niño, o que caracterizou anos mais quentes e secos para a região em análise. Segundo o Banco de Dados de Queimadas (BDQUEIMADAS, 2017), o ano de 2015 foi o que apresentou para esta região a menor quantidade de focos de calor (543 focos) e 2016 foi ano que teve a maior quantidade de focos 1823 (Figura 3). Os focos de incêndio se concentraram em áreas D e E para ambas as imagens, o que caracteriza áreas potenciais de controle ao fogo nesta região (Figura 3). Estes resultados são importantes, já que a temperatura da superfície encontrada neste estudo foi superior em seus valores médios para todos os usos do solo para o ano de 2016.

Áreas destinadas a comunidades indígenas, com cultivo e uso do solo único e exclusivamente para subsistência, e áreas decretadas como unidades de conservação na categoria de uso sustentável apresentaram os menores valores de temperatura, entre 18.3°C e 23.1°C em 2015 e entre 24.4°C e 25.5°C em 2016 (Figura 2). Com isso, evidencia-se a importância da vegetação como um fator que contribui na regulamentação e no conforto térmico e do uso adequado dos recursos, produzindo e extraindo sem levar a escassez dos recursos naturais daquela área.

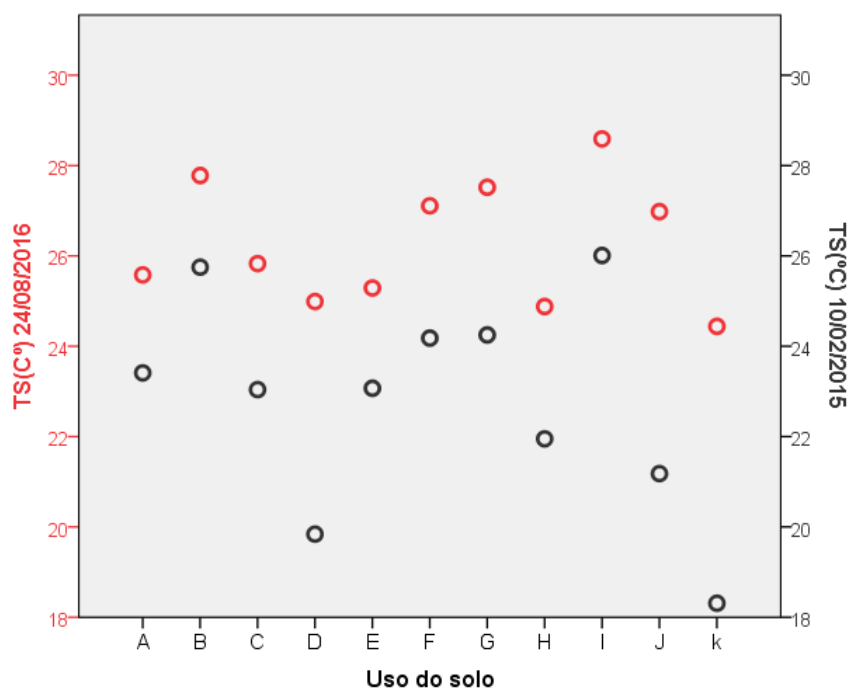


Figura 2. Temperatura da superfície (TS) versus o uso e cobertura do solo.

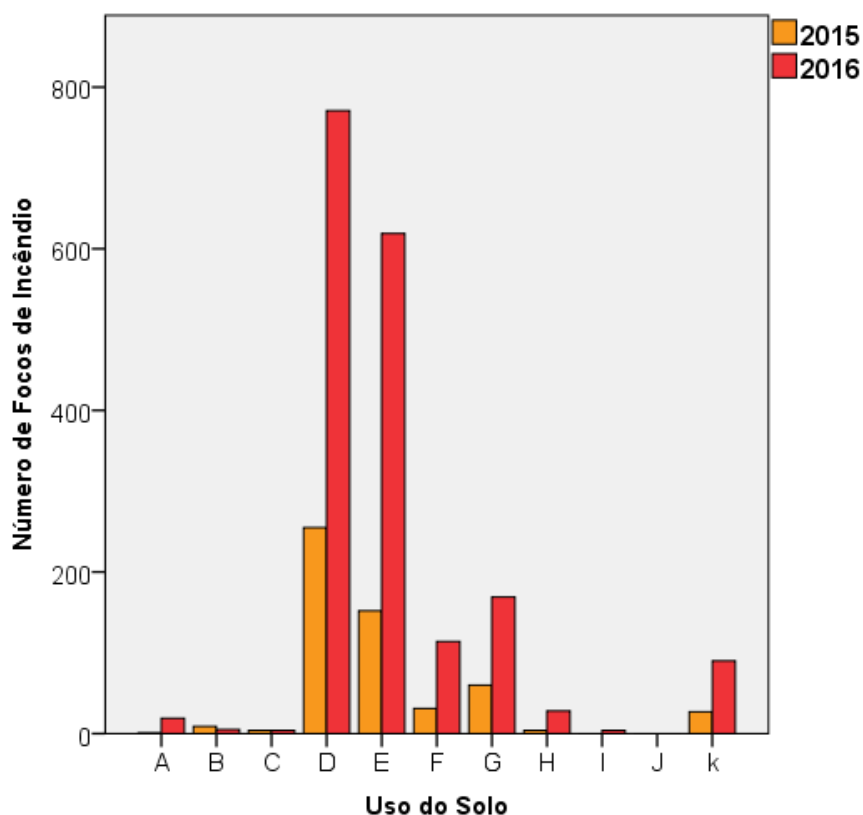


Figura 3. Uso do solo e focos de incêndio para os anos de 2015 e 2016.

Por meio dos dados de valor médio de temperatura da superfície para cada classe nos anos de 2015 e 2016, foi possível obter uma

análise estatística descritiva (Tabela 2). A variação dos valores de temperatura com relação à média (desvio padrão) apresentou um

erro menor para o ano de 2016 (1,38) do que 2015 (2,36). Para maior confiabilidade na interpretação dos dados estatísticos observou-se também o coeficiente de variação (CV%), o qual apresentou o valor de 10,35 para 2015 e 5,24 para 2016, estando estes dentro do aceitável, mostrando que os valores que estão sendo trabalhados aqui estão muito próximos da média.

A classe K (área florestal de uso sustentável) apresentou o menor registro de temperatura tanto em 2015 (18,31°C) quanto em 2016 (24,44°C), um aumento de 6,13°C. O maior registro de temperatura foi apresentado pela classe I (terra indígena + pecuária + cultivo) tanto para 2015 (26,01°C) quanto para 2016 (28,59°C). Quando comparados, os anos de 2015 e 2016 apresentaram diferenças significativas nos registros de temperatura, variando em 3,45 °C no valor da média, 2,58 °C no valor máximo e 6,13 °C no valor mínimo. Essas diferenças devem-se principalmente a maior ocorrência de nuvens no período chuvoso de 2015, as quais agem diminuindo a incidência dos raios solares na superfície terrestre, resultando em menores temperaturas quando comparado com o período seco de 2016. Dados de focos de incêndio reforçam os resultados encontrados.

As condições meteorológicas exercem um importante papel no controle de incêndios na região da floresta amazônica (Morton et al., 2011). Alencar et al. (2011) encontraram maior variação de área queimada nos anos com seca prolongada e Vasconcelos et al. (2015), comparando um ano de seca normal (2004) com um ano de seca severa (2005), encontraram

maior suscetibilidade ao fogo no ano de 2005, assim como maior número de focos de calor. De forma geral, as condições climáticas nas quais ocorreu maior incidência de focos de calor, no presente estudo, são semelhantes a encontradas em outros estudos (Caúla et al., 2015 e 2016). O aumento da temperatura da superfície associado a redução das chuvas no período chuvoso pode aumentar consideravelmente o número de queimadas e associando a estes eventos um maior desmatamento. Trabalhos como o de Zeng et al. (2008) analisaram 10 conjuntos de dados de precipitação e encontraram uma redução na precipitação na maior parte da bacia amazônica no ano de 2005. Foi observado um decréscimo gradual anormal no nível de chuvas desde o ano 2000, com ápice no fim de 2005. Segundo esse estudo, o déficit de chuvas nesse ano atingiu principalmente o sudoeste amazônico. Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em seu bando de dados de queimadas (BDQUEIMADAS, 2017) relatou que no estado do Amazonas, o número de pixels de fogo detectados pelo satélite NOAA12 quase triplicou no ano de 2005, quando comparado ao ano anterior onde foram detectados 760 pixels em setembro de 2004 e 2166 em setembro de 2005. Dentre as consequências da seca de 2005 pode-se destacar a drástica redução da bacia do rio Solimões relatada por Serrão et al. (2015). Além disso, os impactos socioeconômicos são evidentes visto que para as populações ribeirinhas, os rios são as principais vias de transporte, bem como fontes de trabalho, alimento e saúde.

Tabela 2. Estatística descritiva da área de estudo.

Anos	Média	Máximo	Mínimo	Desvio padrão	Variância	CV(%)
TS°C (2016)	26,27	28,59	24,44	1,38	1,90	5,24
TS°C (2015)	22,87	26,01	18,31	2,36	5,58	10,35
Diferença (°C)	3,45	2,58	6,13			

O mapa de uso e ocupação do solo e as faixas de temperaturas, para os anos de 2015 e 2016, percorrendo toda a área estudada, onde cada classe se encontra é apresentado nas Figuras 4 e 5. As maiores temperaturas, próximo dos valores máximos encontrados na Tabela 2 (26,01°C em 2015 e 28,59°C em

2016), para ambos os anos, foram registradas em áreas urbanas e em áreas onde a pecuária de grande porte era presente, enquanto as menores temperaturas, próximo dos valores mínimos encontrados na Tabela 2 (18,31°C em 2015 e 24,44°C em 2016), foram registradas, em sua grande maioria, em área destinada a unidade de

conservação, cultivos diversificados e extrativismo vegetal, sendo a pecuária ausente nestas áreas. Gamarra et al. (2013) afirma que transformar áreas rurais em áreas urbanas, causa alteração do albedo e, com isso alteração no balanço de radiação o que, conseqüentemente, ocasiona mudanças na temperatura da superfície. Com isso, maiores temperaturas em áreas onde a cobertura vegetal foi substituída por estruturas urbanas ou retirada para implementação de sistema pecuário é

observada, uma vez que a incidência dos raios solares passa a ser direto. Esse fato ressalta os resultados encontrados nesta pesquisa uma vez que, a maior parte das áreas destinadas ao extrativismo vegetal em área florestal é destinada a cultivos temporários diversificados. Estes dados foram comparados com o trabalho de Delgado et al. (2012), Coelho e Correa (2013) e Bezerra et al. (2014), os quais também relacionaram classes de uso e ocupação do solo com classes de temperatura da superfície.

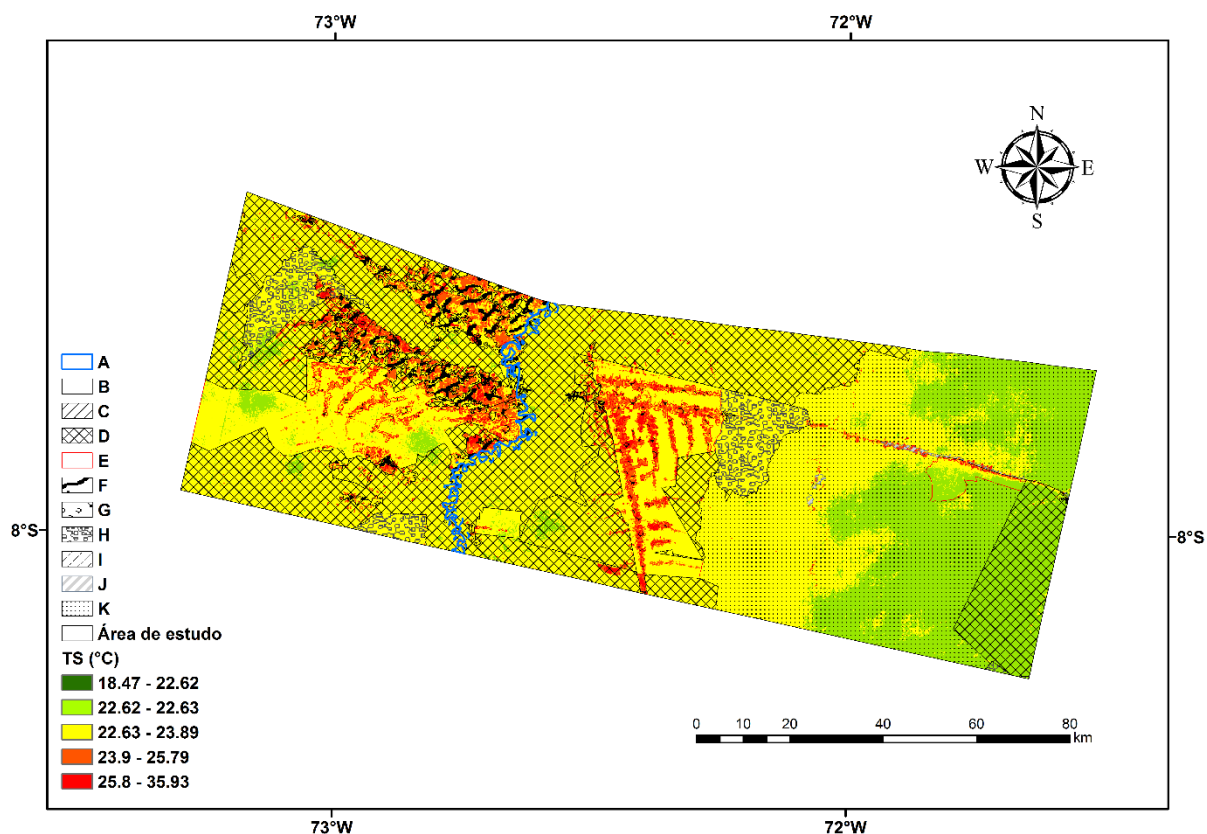


Figura 4. Temperatura da superfície e uso e ocupação do solo em 2015.

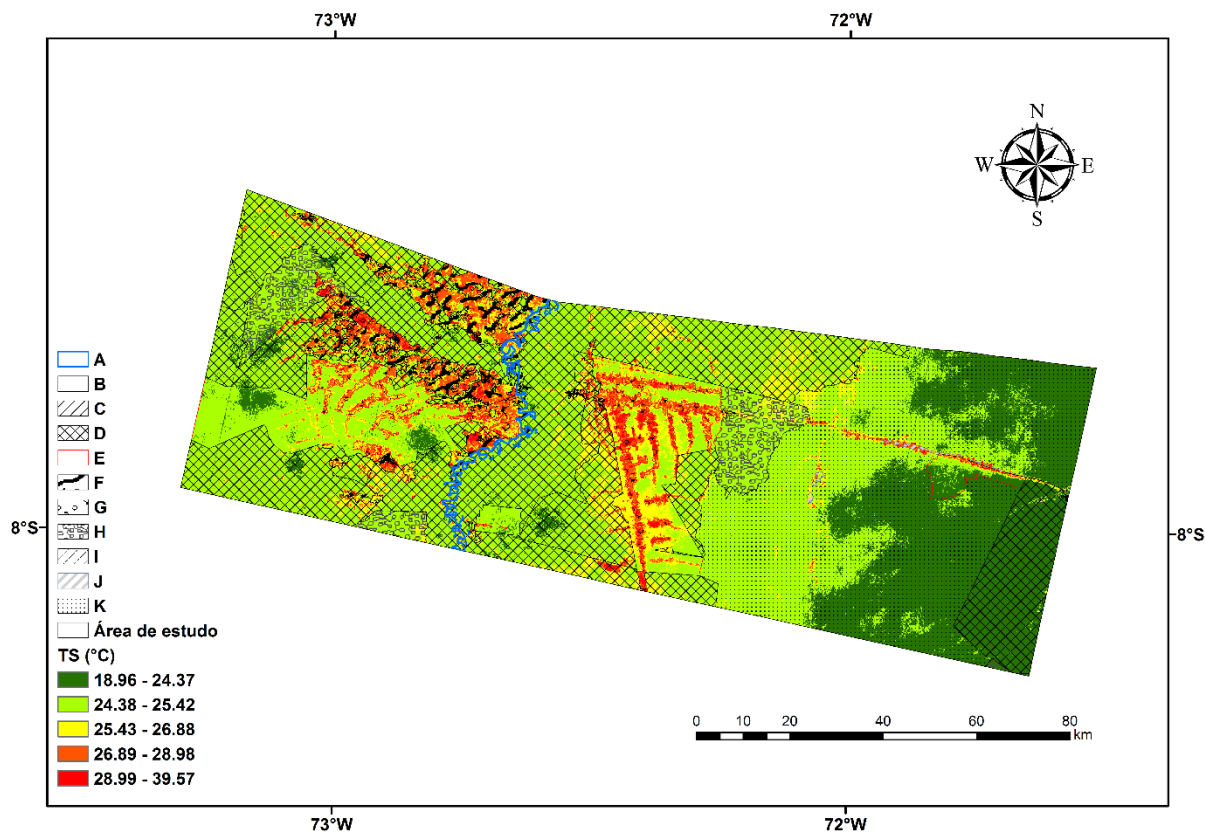


Figura 5. Temperatura da superfície e uso e ocupação do solo em 2016.

As classes de uso e cobertura do solo E, H e K encontram-se nas áreas de maior altitude, variando entre 226,4 m e 234,83 m, e as classes B, C, F e I encontram-se nas áreas de menor altitude, entre 196,03 m e 203,16 m; não apresentaram uma relação significativa entre os dados de altitude e o uso e ocupação do solo. Isso se deve ao fato que essas áreas foram ocupadas conforme crescia a demanda por atividades de cultivo, extrativismo e pecuária, expandindo-se sem ordenamento.

Em relação as queimadas associadas ao uso e cobertura do solo e ao MDE (Modelo Digital de Elevação), os maiores focos de incêndios encontrados foram para a classe D, no período analisado no ano de 2015 foram registrados 255 focos, e em 2016 771 focos. Associando o MDE com os focos de incêndios, os maiores registros de focos de incêndios foram em áreas de média e alta altitude com registro de 255 focos a 217 metros e 152 a 235

metros em 2015, já no ano de 2016 este número aumenta expressivamente com 771 focos a 217 metros e 619 a 235 metros (Figura 6).

Trabalhos de Gobbo et al. (2016) para o Parque Nacional do Caparaó localizado no Estado do Espírito Santo, encontraram resultados semelhantes a este estudo, onde os focos de calor, em sua maioria, aconteceram em beiras de estradas, pastagens, capoeiras e próximo a fragmentos florestais.

Em estudo no Parque Nacional do Itatiaia-PNI, os autores Aximoff e Rodrigues (2011) verificaram que os maiores incêndios ocorridos no PNI atingiram as fitofisionomias campos de altitude, ecossistema nativo da Mata Atlântica e restrito às montanhas do sudeste, o que está de acordo com os resultados encontrados neste estudo, onde o maior número de focos de incêndios foram encontrados em região de médio e alta elevação.

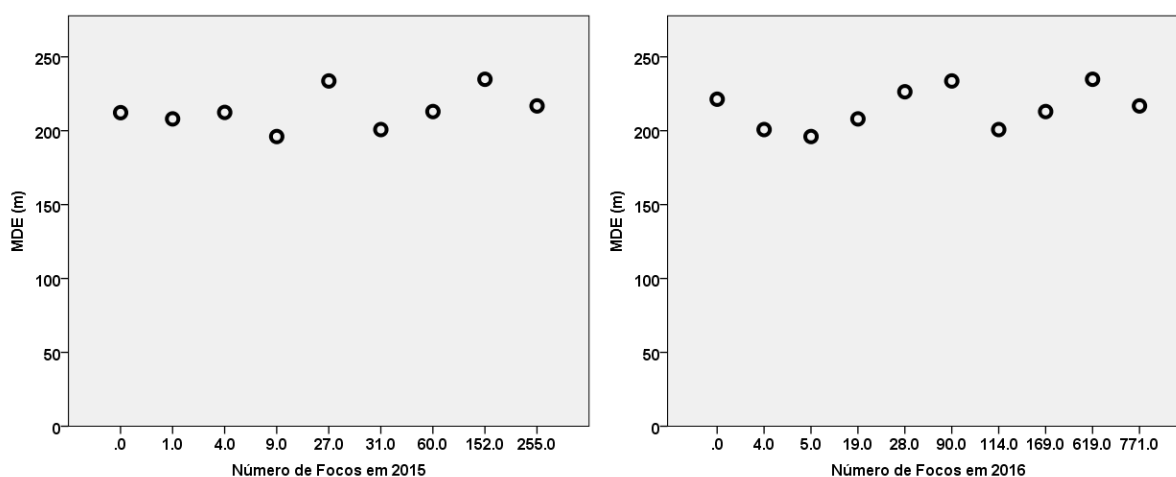


Figura 6. Número de focos de incêndios associado ao MDE da área de estudo.

Além disso, as florestas tropicais hoje existentes no mundo, após séculos de exploração e milhões de hectares desflorestados, hoje apresentam, grandes áreas convertidas em pastagens, lavouras e centros urbanos contribuindo para o aumento da degradação ambiental e queimadas (Fialho e Zinn 2014; Caúla et al., 2015). A perda da biodiversidade por causas de razões antrópicas, seguido de grandes episódios de incêndios florestais como os resultados encontrados na área de estudo como as queimadas implicam em consequências devastadoras aos sistemas florestais.

Torres et al. (2014) produziram um mapa de suscetibilidade a incêndios em vegetação, no perímetro urbano do Município de Ubá no estado de Minas Gerais, a partir de dados de relevo, uso e cobertura do solo e proximidade de vias de acesso e áreas urbanas, como forma de prover subsídios para o poder público estabelecer políticas de prevenção e medidas de controle. Ao realizar a análise do mapa gerado, Torres et al. (2014) observaram que 80% das ocorrências de incêndios têm-se localizado nas áreas de alto e altíssimo risco, 15% nas de médio risco e 5% nas áreas de baixo e baixíssimo risco.

A extensão territorial do Brasil e a diversidade de sua cobertura vegetal, bem como o número expressivo de ocorrências de incêndios florestais verificados no país são fatores que enfatizam a necessidade de um sistema cada vez mais aprimorado e consistente de detecção de incêndios (Antunes, 2000; Graneman e Carneiro, 2009).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) avalia que cerca de um quarto de todas as emissões globais de gases do efeito estufa são derivadas do desmatamento e da queima de seus resíduos (Fearnside et al., 2013). A região Amazônica Ocidental torna-se cada dia mais vulnerável as ações antrópicas por consequência das queimadas e aumento de mudanças relacionadas ao clima, o aumento no número de focos de incêndio encontrados neste trabalho, pode estar associado ao uso incorreto do solo e o aumento de períodos secos na Amazônia.

Conclusão

Os dados do sensor TIRS mostraram-se eficientes na análise da temperatura da superfície em diferentes usos do solo.

Foi verificado aumento da temperatura da superfície na área de estudo em decorrência da retirada dos componentes da paisagem natural para processos de urbanização e conversão de áreas para pecuária.

Os focos de incêndio se concentraram em áreas D e E para ambas as imagens, o que caracteriza áreas potenciais de controle ao fogo nesta região.

Dados de elevação digital do terreno não mostraram-se eficientes na tentativa de estabelecer uma relação significativa com os usos e ocupações do solo, mas por outro lado ao analisar a relação com focos de incêndio esta foi representativa

O estudo é importante, pois coloca em alerta a vulnerabilidade do ecossistema amazônico diante da ocorrência dos incêndios,

e ainda pode subsidiar ações de mitigação da emissão de carbono.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq pela bolsa de Iniciação Científica do primeiro autor.

Referências

- ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre. Base de dados geográficos. Rio Branco: SEMA, 2006.
- Alencar, A., G. P., Asner, D. E. Knapp, D. J. Zarin., 2011. Temporal variability of forest fires in eastern Amazon. *Ecological Application* 21, 2397-2412.
- Antunes, M. A. H., 2000. Uso de satélites para detecção de queimadas e para avaliação do risco de fogo. *Ação Ambiental* 12, 24-27.
- Aximoff, I., Rodrigues, R. D. C., 2011. Past and present forest fires in Itatiaia National Park. *Ciência Florestal* 21, 83-92.
- Bezerra, J. M., Moura, G. B. D. A., da Silva, B. B., Lopes, P. M., Silva, Ê. F. D. F., 2014. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi* 18, 73-84.
- BDQUEIMADAS – Banco de dados de Queimadas. Disponível em: <<https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas>>. Acesso: 29 jun. 2017.
- Cai, W., Wang, G., Santos, A., McPhaden, M. J., Wu, L., Jin, F. F., Timmermann, A., Collins, M., Vecchi, G., Lengaigne, M., England, M. H., Dommenges, D., Takahashi, K., Guilyardi, E., 2015. Increased frequency of extreme La Niña events under greenhouse warming. *Nature Climate Change* 5, 132-137.
- Caúla, R. H., Oliveira-Júnior, J. F., Lyra, G. B., Delgado, R. C., Heilbron Filho, P. F. L., 2015. Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. *Environmental Earth Sciences* 74, 1497-1508.
- Caúla, R. H., Oliveira-Júnior, J. F., Gois, G., Delgado, R. C., Pimentel, L. C. G., & Teodoro, P. E., 2016. Nonparametric Statistics Applied to Fire Foci Obtained by Meteorological Satellites and Their Relationship to the MCD12Q1 Product in the State of Rio de Janeiro, Southeast Brazil. *Land Degradation & Development* 28, 1056-1067.
- Coelho, A. L. N., Correa, W. D. S. C., Nascimento, F. H., 2013. Uso de produtos de sensoriamento remoto para a classificação e análise de temperaturas de superfície no município de Vila Velha/Es (Brasil). *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* 13, 61-76.
- Costa, D. F. D., Silva, H. R., Peres, L. D. F., 2010. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira-SP através da utilização de geotecnologias. *Engenharia Agrícola* 30, 974-985.
- Delgado, R. C., Souza, L. P., Silva, I. W. R., Pessôa, C. S., Gomes, F. A., 2012. Influência da mudança da paisagem amazônica no aumento da precipitação em Cruzeiro do Sul, AC. *Enciclopédia biosfera* 8, 665-674.
- Delgado, R. C., Rodrigues, R. A., Oliveira-Júnior, J. F., Gois, G., 2013. Uso do sensor TM na estimativa da temperatura da superfície e mudança no uso do solo em Viçosa, MG, Brasil. *Revista Geográfica Acadêmica* 7, 17-30.
- Fearnside, P., Barbosa, R., Pereira, V., 2013. Emissões de gases do efeito estufa por desmatamento e incêndios florestais em Roraima: fontes e sumidouros. *Revista Agro@mbiente On-Line* 7, 95-111.
- Fialho, R. C., Zinn, Y. L., 2014. Changes in Soil Organic Carbon Under Eucalyptus Plantations in Brazil: A Comparative

- Analysis. *Land Degradation & Development* 25, 428–437.
- Freitas, D. M., Delgado, R. C., Rodrigues, R. A., Souza, L. P., 2012. Variabilidade espaço-temporal na mudança da paisagem no município de Acrelândia, AC. *Enciclopédia biosfera* 8, 935-946.
- Gamarra, N. L. R., de Paula Corrêa, M., de Lima Targino, A. C., 2013. Utilização de sensoriamento remoto em análises de albedo e temperatura de superfície em Londrina-PR: contribuições para estudos de ilha de calor urbano. *Revista Brasileira de Meteorologia* 29, 537-550.
- Gobbo, S. D. A. A., Garcia, R. F., Atanásio Alves do Amaral, F. C. E., da Silva Alvarez, C. R., & Luppi, A. S. L., 2016. Uso da terra no entorno do PARNA-Caparaó: preocupação com incêndios florestais. *Floresta e Ambiente* 23, 350-361.
- Graneman, D. C., Carneiro G. L., 2009. Monitoramento de focos de incêndio e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. *Revista de Engenharia e Tecnologia* 1, 55-62.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/df/brasil/panorama>>. Acesso: 30 jun. 2017.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>>. Acesso: 30 jun. 2017.
- Irons, J. R., Dwyer, J. L., Barsi, J. A., 2012. The next Landsat satellite: The Landsat data continuity mission. *Remote Sensing of Environment* 122, 11-21.
- Jacob, M., Frankl, A., Beeckman, H., Mesfin, G., Hendrickx, M., Guyassa, E., Nyssen, J., 2015. North Ethiopian Afro-Alpine Tree Line Dynamics and Forest-Cover Change Since the Early 20th Century. *Land Degradation & Development* 26, 654-664.
- Linh, N. H. K., Van Chuong, H., 2015. Assessing the impact of urbanization on urban climate by remote satellite perspective: a case study in Danang city, Vietnam. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40, 207.
- Martín, A., Díaz-Raviña, M., Carballas, T., 2012. Short-and medium-term evolution of soil properties in Atlantic forest ecosystems affected by wildfires. *Land Degradation & Development* 23, 427-439.
- Meehl, G. A., Covey, C., Taylor, K. E., Delworth, T., Stouffer, R. J., Latif, M., ... & Mitchell, J. F., 2007. The WCRP CMIP3 multimodel dataset: A new era in climate change research. *Bulletin of the American Meteorological Society* 88, 1383-1394.
- Morton, D. C., R. S. DeFries, J. Nagol, C. M. Souza, E. S. Kasischke, G. C. Hurtt, and R. Dubayah., 2011. Mapping canopy damage from understory fires in Amazon forests using annual time series of Landsat and MODIS data. *Remote Sensing of Environment* 115, 1706-1720.
- Nascimento, D. T. F., Oliveira I. J., 2011. Análise da evolução do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia/GO (1986 - 2010), *Boletim Goiano de Geografia* 31, 113-127.
- NOAA/CPC - National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Prediction Center. Disponível em:<<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/pr/ecip/CWlink/MJO/enso.shtml>>. Acesso: 29 jun. 2017.
- Oliveira Serrão, E. A., dos Santos, C. A., de Lima, A. M. M., 2015. Avaliação da seca de 2005 na Amazônia: uma análise da calha do rio Solimões. *Estação Científica (UNIFAP)* 4, 99-109.
- Park, J. Y., Kug, J. S., Park, Y. G., 2014. An exploratory modeling study on biophysical processes associated with ENSO. *Progress in Oceanography* 124, 28-41.
- Rajasekar, U., Weng, Q., 2009. Urban heat island monitoring and analysis using a non-parametric model: A case study of Indianapolis. *ISPRS Journal of*

- Photogrammetry and Remote Sensing 64, 86-96.
- Rodrigues, R. Á., Delgado, R. C., dos Santos, R. S., de Faria, A. L. L., 2012. Evolução espaço-temporal de áreas densamente verdes em Belo Horizonte, MG utilizando técnicas de sensoriamento remoto. *Revista de Geografia (Recife)* 30, 139-152.
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., Scambos, T. A., 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment* 145, 154-172.
- Santana, N. C., 2015. Investigação de Ilhas de Calor em Brasília: Análise Multitemporal com Enfoque na Cobertura do Solo (Investigation of Heat Islands in Brasilia: Multi-Temporal Analysis with Focus on Land Cover). *Revista Brasileira De Geografia Física* 7, 1044-1054.
- Sodre, G. R. C., de Moraes, B. C., Ferreira, D. S., Oliveira, J. V., Souza, E. B., 2015
- Teleconexões oceânicas nos padrões climatológicos da Amazônia Oriental: análise dos últimos 40 anos (1974-2013). *Revista Brasileira de Climatologia* 17, 52-66.
- Tekleab, S., Mohamed, Y., Uhlenbrook, S., 2013 Hydro-climatic trends in the Abay/Upper Blue Nile basin, Ethiopia. *Physics and Chemistry of the Earth* 61-62, 32-42.
- Torres, F. T. P., Ribeiro, G. A., Martins, S. V., Lima, G. S., 2014. Mapeamento da suscetibilidade a ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Ubá-MG. *Revista Árvore* 38, 811-817.
- Vasconcelos, S. S, Fearnside, P. M., Teixeira-Silva, P. R., Dias, D. V., Graça, P. M. L. D. A., 2015. Suscetibilidade da vegetação ao fogo no sul do Amazonas sob condições meteorológicas atípicas durante a seca de 2005. *Revista Brasileira de Meteorologia* 30, 134-144.