



## CARACTERIZAÇÃO DE CICATRIZES DE QUEIMADAS NA MESORREGIÃO DO SERTÃO PERNAMBUCANO A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITES

---

José Galdino de Oliveira Júnior<sup>1</sup>; Cristina Rodrigues Nascimento<sup>2</sup>; Fabrício Marcos Oliveira Lopes<sup>3</sup>; Geber Barbosa de Albuquerque Moura<sup>4</sup>; Landson Carlos da Silva<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Vitória de Santo Antão-PE, Brasil. Email: dinojr95@gmail.com

<sup>2</sup> Profa Dra, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife-PE, Brasil.

<sup>3</sup> Professor Doutor, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife-PE, Brasil.

<sup>4</sup> Prof.dr., Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife-PE, Brasil.

<sup>5</sup> Graduando em Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Ipojuca-PE, Brasil.

Recebido em: 06/04/2019 – Aprovado em: 10/06/2019 – Publicado em: 30/06/2019  
DOI: 10.18677/EnciBio\_2019A35

---

### RESUMO

A mesorregião do Sertão Pernambucano apresenta condições climáticas que afetam diretamente a produção agrícola, pois apresenta um clima quente, seco e regime pluvial irregular. Em função dessas características, o bioma predominante da região é a Caatinga, que vem sofrendo ao longo dos anos com várias ações antrópicas, incluindo além do desmatamento, as queimadas. Com o intuito de mapear e monitorar a incidência de focos de calor nessa mesorregião durante o período de dez anos (2010-2017), este artigo tem como objetivo: identificar e caracterizar o perfil dessas cicatrizes de queimadas, almejando-se acompanhar o processo de regeneração natural da superfície vegetal. Baseado nos resultados do processamento digital das imagens de satélite e dos arquivos vetoriais de focos de calor no Software de Mineração de Dados “WEKA” foi encontrada uma correlação de 0.8153 ao cruzar os dados dos índices NDVI no momento da queima e posterior a tal evento, onde também, essas áreas susceptíveis ao fogo demonstraram atrelamento direto à precipitação anterior ao evento de queimada. Tais pixels variaram em uma faixa espectral de NDVI entre 0.25 e 0.44. Quando foi avaliada a capacidade de recuperação natural da vegetação no campo após o evento de queimada, os parâmetros mais importantes foram: a precipitação e o índice NDVI, ambos posteriores à queima. A partir de uma correlação existente entre esses valores de 0.7264, foi observado que tal processo somente ocorreria se dois critérios fossem atendidos: uma precipitação crítica de 32,25 mm e um índice NDVI posterior mínimo de 0.39.

**PALAVRAS-CHAVE:** Focos de calor, índices de vegetação, pluviosidade, sensoriamento remoto.

## CHARACTERIZATION OF BURNING SCARS IN THE MESORREGIÃO DE SERTÃO PERNAMBUCANO FROM SATELLITE IMAGES

### ABSTRACT

The mesoregion of Sertão Pernambucano presents climatic conditions that directly affect agricultural production, since it presents a warm, dry climate and irregular rainfall regime. Due to these characteristics, the predominant biome of the region is the Caatinga, which has been suffering over the years with various anthropic actions, including besides deforestation, fires. In order to map and monitor the incidence of hot spots in this mesoregion during the ten year period (2010-2017), this article aims to identify and characterize the profile of these burn scars, aiming to follow the process of regeneration of the plant surface. Based on the results of the digital processing of the satellite images and the vector files of heat sources in the WEKA Data Mining Software, a correlation of 0.8153 was found when crossing the NDVI index data at the time of burning and after such event, where also, these areas susceptible to fire showed a direct link to precipitation prior to the burn event. Such pixels varied in a spectral range of NDVI between 0.25 and 0.44. When the natural recovery capacity of the vegetation in the field after the burn event was evaluated, the most important parameters were: precipitation and NDVI index, both after burning. From a correlation between these values of 0.7264, it was observed that such a process would only occur if two criteria were met: a critical precipitation of 32.25 mm and a posterior minimal NDVI index of 0.39.

**KEYWORDS:** Heat sources, vegetation indexes, rainfall, remote sensing.

### INTRODUÇÃO

A mesorregião do Sertão Pernambucano apresenta condições climáticas que podem afetar diretamente a produção agrícola, visto que, o seu clima é o Semiárido: quente, seco e regime pluvial irregular. Essas condições se refletem intrinsecamente na vegetação, nos solos e no regime dos rios (quase todos sendo intermitentes, exceto o rio São Francisco). Os solos, em sua maior extensão, são rasos e com predomínio de vegetação do tipo xerófila - mais adaptadas a climas secos e à deficiência hídrica (ALVES et al., 2008). De acordo com Giulietti et al. (2003) a caatinga, bioma característico dessa mesorregião de Pernambuco, apesar de bastante alterada, ainda contém uma grande variedade de espécimes vegetativos endêmicos remanescentes bem preservados. A oscilação espaço-temporal das precipitações pluviométricas ocorrente nessa região deve-se às variações dos padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos tropicais, os quais afetam o posicionamento e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico (NOBRE; MELO, 2001 citado por MOURA et al., 2007). Como exemplo dos fatores meteorológicos atuantes nessas variações tem-se o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), caracterizado por anomalias, positivas (El Niño) ou negativas (La Niña), de temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico Equatorial, (CPTEC/INPE, 2018).

Devido a essas condições meteorológicas e climáticas, essa região torna-se mais suscetível à ocorrência de queimadas nos períodos anuais que apresentarem baixos índices pluviométricos. Pois, a queimada consiste em um processo de combustão da biomassa de um local, causado por ações antrópicas ou naturais; podendo ser facilmente intensificada, se o local atingido estiver no período seco do ano. Trata-se também de uma prática antiga de expansão e manutenção do território agrícola que ainda é amplamente recorrente no Brasil. (PIROMAL et al., 2008).

Os impactos provocados pela ação do fogo podem acarretar, direta ou indiretamente, grandes alterações no solo e na vegetação, decorrentes principalmente da redução do material morto, cobertura vegetal e alterações na umidade do solo, principalmente quando associado ao pastejo intensivo (PIROMAL et al., 2008). Neste âmbito, Silva e Baptista (2015) relatam que, através do Sensoriamento Remoto é possível analisar diretamente o grau de degradação ambiental e os efeitos posteriores gerados pelos eventos de queimadas. Pois, este é capaz de adquirir informações espaço-temporais, que possibilitam a caracterização de ocorrências desses focos de calor, além da medição da área e da biomassa efetivamente afetadas pelo fogo, fornecendo importantes contribuições para estudos sobre esta temática, relacionando estes temas ao meio ambiente, e aos seus efeitos ecológicos, climáticos e na química da atmosfera.

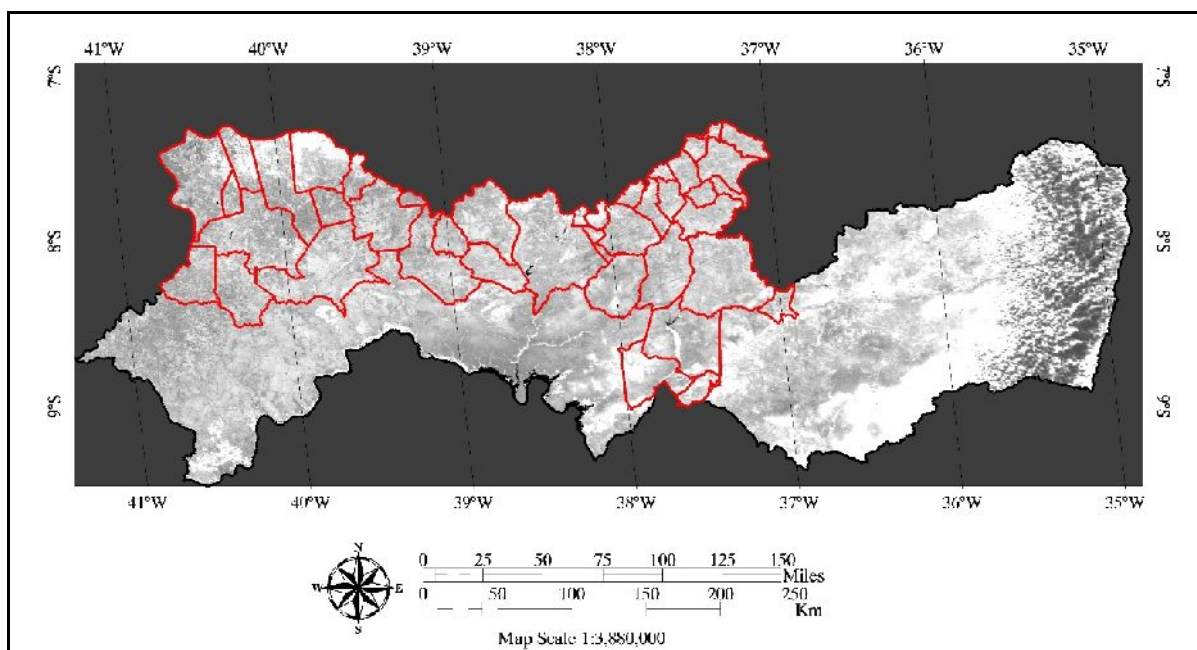
O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo das plataformas TERRA e AQUA, possui a função de fornecer dados relativos aos fenômenos ocorridos na superfície da terra, nos oceanos e atmosfera. Possui alta sensibilidade radiométrica (12 bits) e espectral (36 bandas), operando no intervalo de faixa de 0,4 a 14,4µm do espectro eletromagnético, permite a aquisição de imagens com resolução espacial de 250m a 1.000m e o tempo de revisita ao mesmo ponto entre 1 a 2 dias (NASA, 2018). Para Giglio (2018), entre os produtos gerados pelo sensor MODIS, o MOD14A1 foi eficiente no estudo sobre queimadas, visto que, este discrimina grandes e pequenas áreas atingidas pelo fogo. Seguindo esta mesma linha de raciocínio, notou-se que este produto é apropriado para estimar a biomassa queimada quando há necessidade de se realizar esse processo de forma regular e sistemática em relação à extensão dessas áreas, pois, apresenta uma detecção baseada na estimativa de confiabilidade gerada por esses pixels, variante entre 0% e 100%, sendo usada para atribuir uma delimitação em três classes de fogo: fogo de baixa confiança, fogo de confiança nominal ou confiança alta fogo.

Os índices mais empregados nessa combinação utilizam informações referentes às faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, intervalo do espectro eletromagnético (EEM) que contém a maior variação de resposta espectral para a vegetação. Desta forma, obtêm-se melhores resultados entre os dados orbitais e os parâmetros biofísicos da vegetação, a partir do realce do comportamento espectral dos alvos (PONZONI, 2002). Dentre estes, o índice de vegetação da diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*) é um dos mais utilizados nesse tipo de análise, pois, é capaz de construir perfis sazonal e temporal da variação da vegetação em relação a eventos de queimadas (FERNANDES et al. 2016).

Nesse contexto, o objetivo do artigo foi caracterizar e mapear a incidência de focos de calor na mesorregião do Sertão Pernambucano. A partir desta análise espectral, identificar a área efetivamente afetada pelo fogo, como também, acompanhar o processo de regeneração da superfície vegetal tomando como referência os padrões com que as cicatrizes de queimadas ocorrem no campo e a influência sob tal processo da precipitação local (ocorrida posteriormente ao evento de queima).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A Figura 1 apresenta a localização espacial da área de estudo. A mesorregião do Sertão Pernambucano, que representa aproximadamente 35% da área total do estado e com aproximadamente 1.039.733 de habitantes, tem como limites os estados do Ceará, Paraíba e Piauí (IBGE, 2019).



**FIGURA 1.** Localização Espacial da mesorregião do Sertão Pernambucano em uma imagem MOD09GQ do dia 31 de Outubro de 2012.

Fonte: Elaborada pelos autores, (2019).

A fim de realizar a identificação dos meses mais secos do ano (aqueles que apresentariam um maior potencial para eventos de queimadas), foram utilizados dados de precipitação mensal da série temporal de 2010 a 2017, de 10 municípios distribuídos espacialmente na mesorregião do Sertão Pernambucano, são eles: Araripina, Arcoverde, Exu, Flores, Ibimirim, Ouricuri, Parnamirim, Salgueiro, São José do Egito e Serra Talhada. A seleção desses municípios está relacionada com o comportamento da precipitação, durante os anos analisados. Os dados pluviométricos foram obtidos do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico da EMBRAPA (AGRITEMPO), da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

A análise climática baseada na média de trinta anos de dados (1985 – 2015) foi realizada tomando-se como referência três municípios: Arcoverde, Ouricuri e Triunfo. Foi aplicada a esta série de precipitação a técnica de “*Quantis*”, de acordo com Xavier e Xavier (1999), classificando os anos estudados como: Seco, Normal e Chuvoso, obedecendo às ordens quantílicas de  $Q(0,33)$  e  $Q(0,66)$ . Para a análise e monitoramento das áreas de queimadas foram utilizados os seguintes dados e etapas:

- i. Imagens do produto MOD14A1 composto por dados de focos de calor de oito dias;
- ii. Arquivos vetoriais relacionados à ocorrência de focos de calor disponibilizados pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE);
- iii. Imagens do produto MOD09GQ, caracterizando a refletância da superfície, das bandas 1 e 2, utilizadas para o Cômputo do índice espectral NDVI, representando respectivamente as regiões espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, conforme Equação 1:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

Eq.1

Onde NIR e RED representa a refletância respectivamente da região espectral do infravermelho próximo (0,84 - 0,88  $\mu\text{m}$ ) e vermelho (0,62 - 0,67  $\mu\text{m}$ ) (VERMOTE et al., 2015).

As imagens do sensor MODIS/TERRA foram adquiridas gratuitamente junto ao *United States Geological Survey (USGS)* em sua base de dados do *Land Processes distributed Active Archive Center (LPDAAC)* (<http://lpdaac.usgs.gov/tools/data-pool/>). Para todas as imagens do sensor MODIS, foram utilizados os tiles h13v09 e h14v09, referentes à localização espacial da área de estudo. As imagens dos meses de julho a novembro foram analisadas levando-se em consideração os seguintes parâmetros: Quantidade dos focos de queimadas diariamente, área queimada e o comportamento da vegetação antes e após a ocorrência desse evento mensalmente.

O processamento digital das imagens de satélite e dos arquivos vetoriais foi realizado no software *ENVI (Environment for Visualizing Images)* versão 4.2, sendo as imagens do sensor MODIS convertidas outrora do formato Hierarchical Data Format (HDF) para \*geotiff, utilizando-se para isso o aplicativo MODIS Reprojection Tool (MRT). Esta etapa do estudo consistiu em avaliar a associação dos pontos de calor (disponibilizados pelos arquivos vetoriais) com a área queimada das imagens MOD14A1. Ocorrendo esta associação, foi avaliado o comportamento da superfície vegetal expressa nas imagens MOD09GQ, em três intervalos: Antes, Durante e Após o evento de queimada.

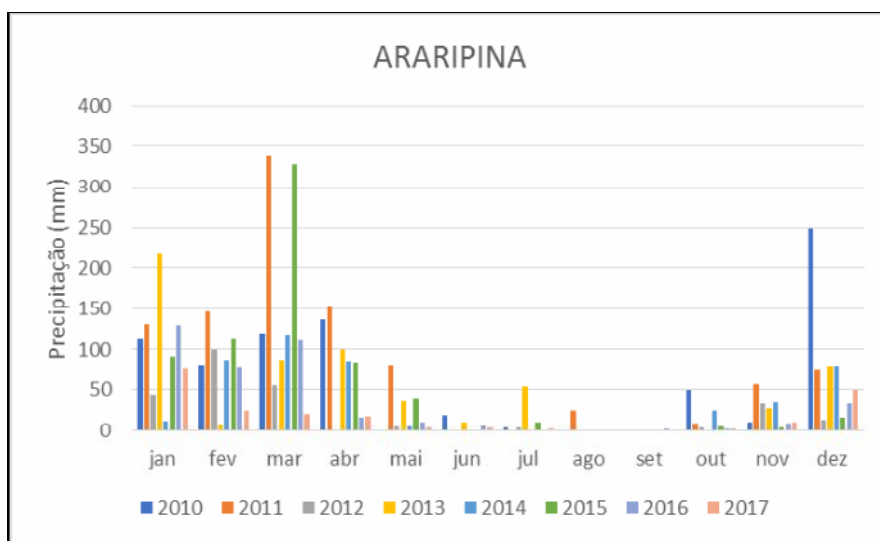
Para caracterização das áreas onde foi observada a queima, foi utilizada a técnica de mineração de dados a partir de árvore de decisão (AD), que se mostrou bastante eficaz, devido a sua praticidade, em vários estudos sobre classificação de dados relacionados à área de Sensoriamento Remoto (RUIZ et al., 2014). Sousa et al. (2015) abordam que essa técnica consiste em um método de descobrimento de padrões de interesse a partir de um conjunto de dados, que foram organizados em uma estrutura hierárquica formada por regras de decisão. Regras estas que proporcionam a divisão desse conjunto de treinamento até que sejam gerados subconjuntos que contenham casos de uma única classe (LATORRE et al., 2007).

Nesse contexto, a técnica de AD foi usada para a busca de padrões nos pixels correspondentes à área queimada considerando as informações do NDVI e a precipitação ocorrida no local, ambos nos intervalos temporais mensais: Antes, Durante e Após a queima. Para a construção da árvore foi usado o algoritmo "REPTree", lotado dentro do *WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis)* versão 3.9.2 – software de domínio público composto de uma coleção de algoritmos de aprendizado de máquina para tarefas de mineração de dados desenvolvido pela Universidade de Waikato, Nova Zelândia (*University of Waikato*, 2018).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a precipitação média mensal da série temporal de 2010 a 2017, de uma das cidades analisadas no estudo: Araripina, escolhida pelo fato das demais cidades apresentarem comportamento semelhante a esta quanto à pluviosidade anual. Pode-se verificar que de Junho a Outubro demonstram-se como sendo os meses mais secos anualmente. Esta característica torna a área mais susceptível à incidência de focos de calor nessa faixa temporal, especialmente porque o bioma predominante é a Caatinga. Observa-se também que o período

chuvoso da região é concentrado entre os meses de janeiro a abril, com redução da precipitação a partir do mês de maio. A pré-estação chuvosa, por sua vez, inicia-se no mês de novembro estendendo-se até dezembro.



**FIGURA 2.** Distribuição temporal da precipitação média mensal (série temporal de 2010 a 2017) ocorrida em Araripina/PE, um dos municípios analisados. Fonte: Elaborada pelos autores, (2018).

Posteriormente, baseando na metodologia proposta por Xavier e Xavier (1999), foi aplicada a técnica de *Quantis* que se baseia na média anual dos valores de precipitação. A técnica foi aplicada em três municípios: Arcoverde, Ouricuri e Triunfo para uma série de 30 anos de dados de 1985 a 2015. Esses valores foram divididos em períodos “SECOS” aqueles em que os totais de precipitação foram iguais ou menores que a frequência acumulada de ocorrência de 25% (intervalo de valores inferiores a 543,3 mm), os “NORMAIS” com probabilidade maior que 25% e inferior ou igual a 75% (intervalo de 543,3 mm a valores inferiores a 855,4 mm), e os “CHUVOSOS” com probabilidade maior que 75% (intervalo superior a 855,4 mm). Valores semelhantes a estes foram encontrados por Monteiro et al. (2012) quando analisaram durante o mesmo intervalo de tempo de 30 anos (1980 – 2009), a região do baixo curso do Rio Apodi localizado no município de Mossoró/RN (região essa que também apresenta o clima semiárido). A Tabela 1 apresenta a classificação quanto aos períodos acima relacionados:

**TABELA 1:** Classificação a partir da técnica de *Quantis* da série temporal de 2010 a 2017.

Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Precipitação Média Anual (mm)</b>	1031,8	1007,2	327,2	641,1	668,1	593,7	434,7	430,3
<b>Classe</b>	C	C	S	N	N	N	S	S

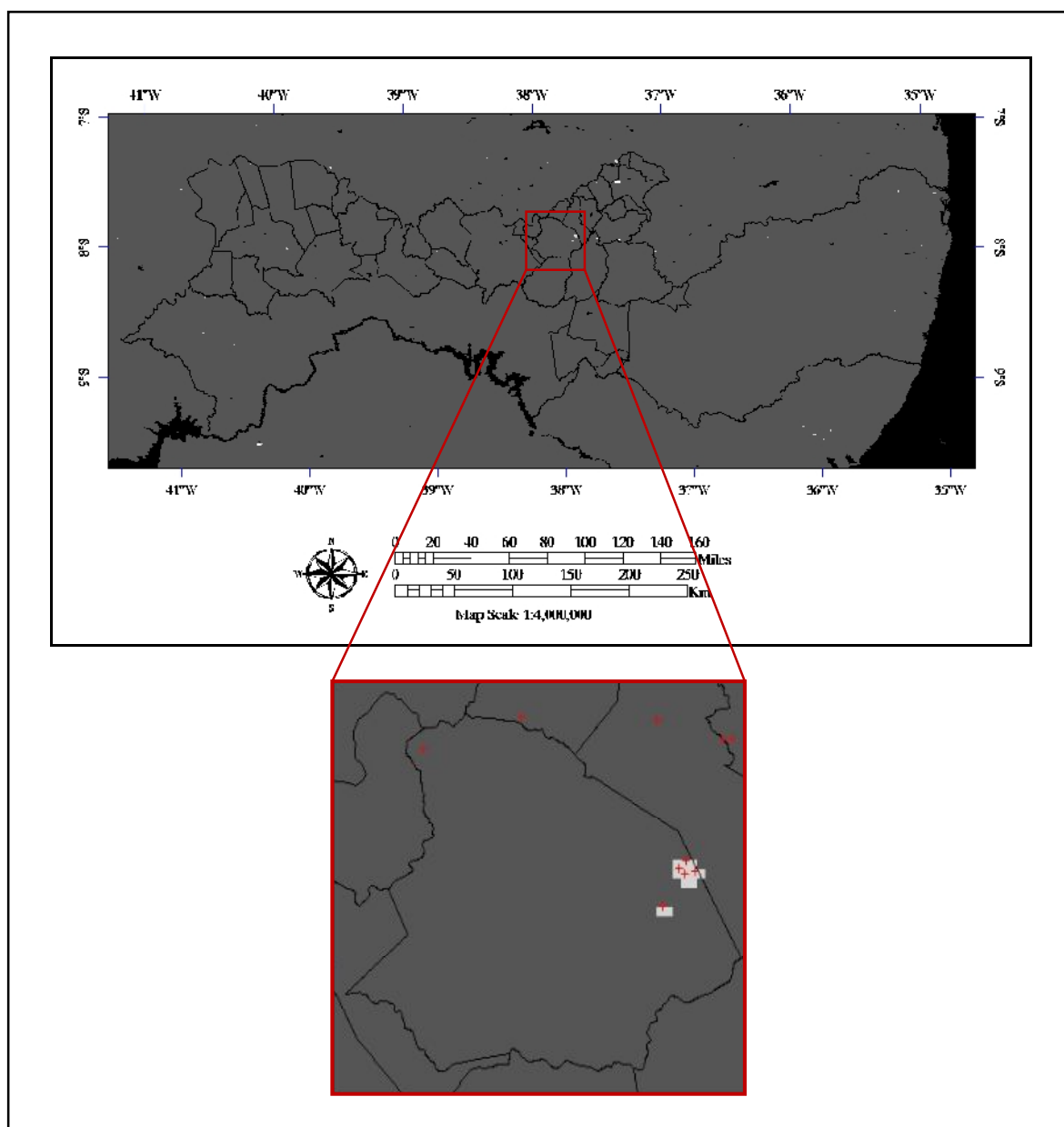
Fonte: Elaborada pelos autores, 2018.

\*Onde: C – Ano Chuvoso, N – Ano Normal, S – Ano Seco.

Após a análise climática, foi avaliada a associação dos pontos de calor (vetores) com as áreas queimadas identificadas nas imagens MOD14A1 (Figura 3).



Foram utilizados os vetores provenientes dos dias de maior incidência de focos de calor localizados pelos satélites, afim de que fossem identificadas maiores áreas de queimadas.



**FIGURA 3.** Imagem MOD14A1 do dia 23 de novembro de 2011 destacando uma das cidades atingidas pelo fogo (Flores), apresentando em branco (áreas com potencial de pertencerem a áreas de queimadas), e em vermelho, os focos de calor ocorridos no mesmo dia.

Fonte: Elaborada pelos autores, (2019).

Baseando-se nos dados gerados, foi realizado o processamento das imagens MOD09GQ e dos focos de calor, analisando cada município atingido pelo fogo, em relação aos valores de NDVI diário em três intervalos mensais definidos (antes, durante e após o evento de queima), almejando assim, caracterizar essas áreas queimadas em relação à capacidade de regeneração da vegetação, ligada à

influência da precipitação ocorrida no local. A Tabela 2 apresenta essa relação associada ao mês, ao ano e à altitude desses locais.

**TABELA 2:** Análise do Índice NDVI e da precipitação mensal para os municípios analisados antes, durante e após a ocorrência dos focos de calor.

Município	Mês	Ano	PM Antes	NDVI Antes	PM Queima	NDVI Queima	PM Dep.	NDVI Dep.	Alt
Bodocó	11	2010	54,7	0,31	0,0	0,41	80,8	0,34	468
Exu	11	2010	26,6	0,33	17,4	0,49	92,2	0,34	523
Flores	11	2010	62,0	0,31	0,0	0,58	11,7	0,40	486
Ouricuri	11	2010	33,6	0,29	1,3	0,33	120,4	0,27	460
Parnamirim	11	2010	5,3	0,28	0,0	0,42	109,6	0,31	561
Santa Cruz	11	2010	35,7	0,26	4,5	0,33	181,1	0,16	513
Custódia	11	2011	28,1	0,40	10,1	0,37	3,3	0,32	542
Flores	11	2011	113,2	0,35	40,6	0,52	12,1	0,39	486
Iguaraci	11	2011	12,2	0,41	16,4	0,39	0,0	0,34	558
Ipubi	11	2011	22,3	0,41	110,0	0,31	30,2	0,11	494
Mirandiba	11	2011	67,1	0,33	57,4	0,30	38,2	0,11	450
Ouricuri	11	2011	59,3	0,29	56,6	0,40	27,3	0,10	460
São José do Egito	11	2011	18,8	0,35	13,8	0,33	0,0	0,18	585
Arapipina	10	2012	0,0	0,26	0,0	0,33	29,8	0,26	597
Serra Talhada	10	2012	0,0	0,26	0,3	0,24	0,5	0,23	499
Sertânia	10	2012	3,3	0,28	0,0	0,28	4,1	0,15	558
Custódia	11	2013	20,0	0,32	37,0	0,31	97,5	0,64	542
Flores	11	2013	0,0	0,26	9,6	0,30	36,5	0,56	486
Iguaraci	11	2013	6,0	0,29	3,0	0,30	135,4	0,57	558
Ouricuri	11	2013	0,5	0,26	2,5	0,25	2,1	0,28	460
São José Do	11	2013	19,8	0,23	23,0	0,29	136,1	0,28	486
Belmonte Serra Talhada	11	2013	4,3	0,29	10,1	0,36	83,7	0,63	499
Sertânia	11	2013	0,0	0,25	1,3	0,27	0,3	0,48	558
Carnaíba	11	2014	30,0	0,31	55,0	0,30	13,0	0,60	485
Flores	11	2014	20,9	0,42	176,9	0,34	0,0	0,61	486
Iguaraci	11	2014	9,6	0,29	36,1	0,26	2,5	0,29	558
Mirandiba	11	2014	3,0	0,28	146,0	0,22	2,0	0,48	450
Salgueiro	11	2014	1,4	0,23	74,8	0,22	16,4	0,37	413
Santa Cruz	11	2014	0,0	0,20	110,0	0,24	45,0	0,53	513
Tuparetama	11	2014	18,6	0,29	10,8	0,26	19,1	0,29	560
Custódia	10	2015	0,0	0,29	0,0	0,36	0,0	0,31	542
Iguaraci	10	2015	4,0	0,33	0,0	0,30	0,0	0,26	558
Parnamirim	10	2015	0,0	0,20	0,0	0,20	0,0	0,21	561
Tabira	10	2015	0,0	0,40	0,0	0,33	0,0	0,28	588
Afogados	10	2016	21,0	0,20	0,0	0,23	0,0	0,24	525



<b>da</b>									
<b>Ingazeira</b>									
<b>Custódia</b>	10	2016	11,0	0,29	0,0	0,26	0,0	0,27	542
<b>Mirandiba</b>	10	2016	0,0	0,29	0,0	0,23	0,0	0,26	450
<b>Araripina</b>	11	2017	3,2	0,22	23,0	0,23	28,0	0,25	597
<b>Santa Cruz</b>									
<b>da Baixa</b>	11	2017	0,0	0,34	0,0	0,40	14,0	0,37	900
<b>verde</b>									
<b>São José</b>									
<b>do</b>	11	2017	0,0	0,34	5,0	0,30	45,0	0,38	486
<b>Belmonte</b>									

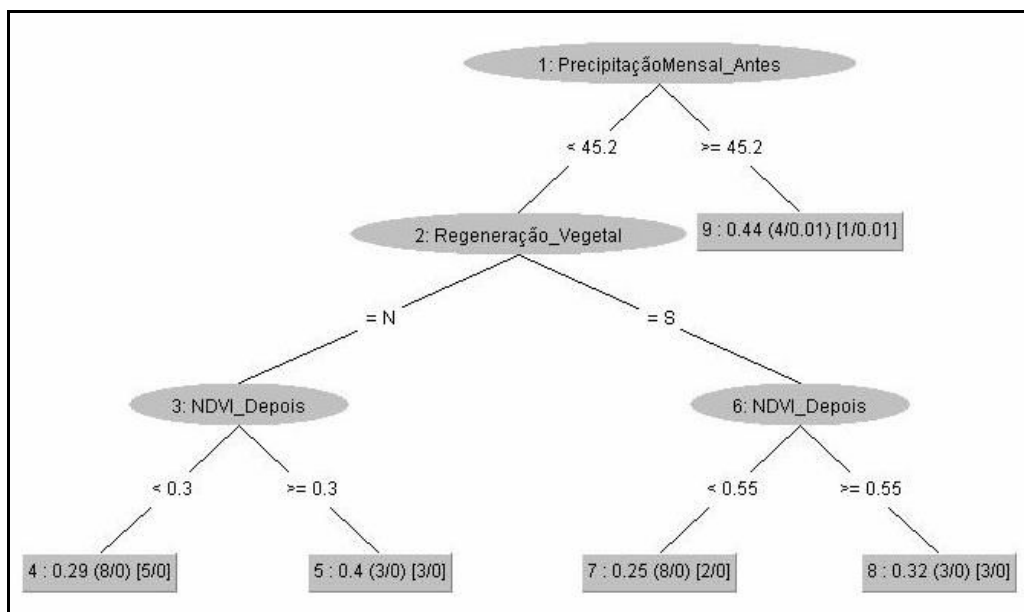
Fonte: Elaborada pelos autores, (2019).

\*Onde: PM – Precipitação Mensal, Dep. – Depois, Alt. – Altitude.

De acordo com a Tabela 2, somente os anos normais (2013 e 2014) exibiram um comportamento espectral de expressiva progressão no índice NDVI após o processo de queima, devido à ocorrência de precipitação no local (em 2013, isso aconteceu no mês posterior à queima, Dezembro; e em 2014, durante o mês de ocorrência das queimadas, Novembro). Tal comportamento foi também evidenciado por Pinheiro et al. (2017) que destacaram essa intrínseca relação da vegetação da Caatinga com a variabilidade temporal da pluviosidade local, denotando que esse bioma apresentou variação rápida aos primeiros indícios de precipitação na área, em uma escala bimensal.

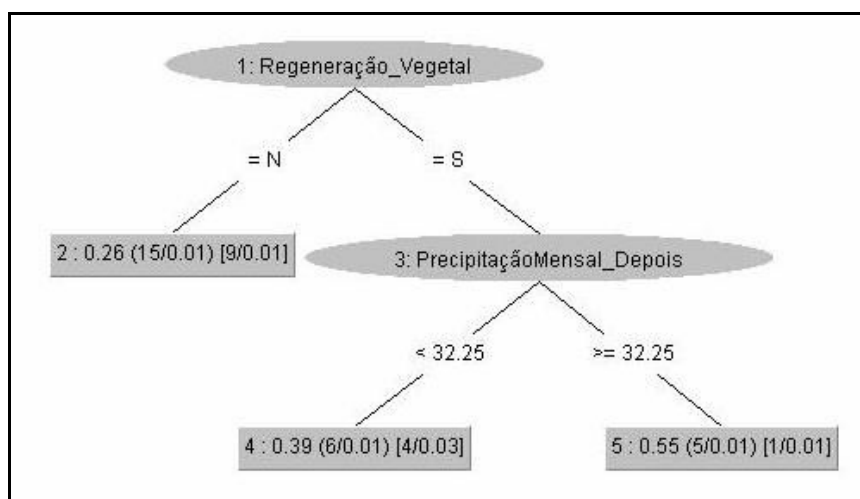
Os demais anos que compuseram a série analisada, nesse contexto ocorreu inversamente, visto que, não houve a presença suficiente de precipitação no local durante os períodos da queima e posterior a tal evento; cenário este que se sucedeu na maioria das cidades atingidas. No caso dos anos secos (2012, 2016 e 2017) e em 2015, especificamente, a precipitação alcançou os menores índices mensais nos três períodos estudados (antes, durante e após a queima). Lourenço et al. (2017) perceberam que a variação do índice NDVI se torna mais abrupta em períodos mensais chuvosos do que em secos, reforçando essa característica de adaptação a deficiência hídrica local, pertencente a esse tipo de vegetação. Dito isso, de modo geral, notou-se que a precipitação é um fator bem importante para a regeneração da vegetação na área analisada.

Para avaliar detalhadamente a correlação existente entre os parâmetros apresentados na Tabela 2, os dados foram submetidos a uma análise de mineração de dados utilizando o software *WEKA*, para busca de padrões entre os valores de NDVI e a precipitação (antes, durante e após o episódio de queimada). Foi utilizado o método de classificação baseado na árvore de decisão criada pelo algoritmo “*REPTree*”. Foi encontrada uma correlação de 0.8153 (através do cruzamento dos dados da precipitação anterior à queima e os índices NDVI de queima e posterior a esta). Tal fato demonstrou que: Os índices NDVI dos pixels pertencentes às áreas de queimadas variam gradativamente a partir do quantitativo de pluviosidade ocorrida no local, mais especificadamente, esses valores estão dependentes a uma precipitação crítica anterior à queima de 45,2 mm, estendendo-se no intervalo de 0.25 a 0.44. Tal afirmação pode ser constatada na Figura 4:



**FIGURA 4.** Árvore de decisão: Análise do índice NDVI diário de queima.  
 Fonte: Elaborada pelos autores, (2019).

Quando foi analisada a relação entre o índice NDVI posterior à queima, encontrou-se uma correlação de 0.7264 entre os dados de precipitação mensal posterior à queima e do processo de regeneração natural da vegetação da região afetada pelo fogo. A Figura 5 representa a árvore de decisão gerada:



**FIGURA 5.** Árvore de Decisão: Análise de regeneração da vegetação.  
 Fonte: Elaborada pelos autores, (2019).

De acordo com a Figura 5, o processo de recuperação e/ou regeneração natural da vegetação local após o evento de queimada expressa uma relação direta entre a precipitação após o evento de queimada. Porém, a regeneração ocorrerá quando o valor mínimo de NDVI for de 0.39 e precipitação crítica de 32,25 mm. Tal árvore demonstrou também que os *pixels* que apresentarem valores iguais ou inferiores a 0.26 não terão a capacidade de recuperação no intervalo mínimo de um mês.

Em relação aos parâmetros “ano”, “mês de ocorrência dos focos” e “altitude” dos municípios, não houve interação direta com os processos de queimada e de recuperação e/ou regeneração da vegetação local, ou seja, eles não influenciaram na resposta da vegetação. Vale ainda ressaltar a sensibilidade à precipitação do bioma Caatinga.

### CONCLUSÕES

O cruzamento das imagens MODIS/TERRA (produtos MOD14A1 e MOD09GQ), arquivos vetoriais de focos de calor e a mineração de dados, permitem o mapeamento e a caracterização do comportamento da vegetação em um evento de queimada para a área em estudo. Foi observado também que a influência da precipitação só ocorre com um intervalo superior a um ou dois meses e que o produto MOD14A1 apresenta uma limitação quanto à identificação de pequenas áreas de queima. Tais descobertas possibilitam estudos futuros mais aprofundados sobre este bioma único em várias áreas relacionadas ao caráter ambiental-sustentável.

### REFERÊNCIAS

ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia, v. 9, n. 27, p. 143-155, set/2008. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15740>>. ISSN: 1678-6343.

CPTEC/INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – INPE. **El niño e la niña**: Condições de neutralidade do pacífico equatorial. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 15 Dez. 2018.

FERNANDES, A. C. G.; COUTINHO, M. A. N.; SANTOS, V. G.; NASCIMENTO, C. R. Utilização de intervalos de índices de vegetação e temperatura da superfície para detecção de queimadas. **Caderno de Ciências Agrárias**. Montes Claros – MG, v. 8, n. 2, p. 30-40, 2016. Disponível em: <<https://seer.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/1230>>. ISSN: 2447-6218.

GIGLIO, L. **MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide Revision A**. Disponível em: <[https://lpdaac.usgs.gov/documents/88/MOD14\\_User\\_Guide\\_v6.pdf](https://lpdaac.usgs.gov/documents/88/MOD14_User_Guide_v6.pdf)>. Acesso em: 20 Out. 2018.

GIULIETTI, A. M.; BOCAGE NETA A.L.; CASTRO, A.A.J.F.; GAMARRA-ROJAS, C.F.L.; SAMPAIO, E.V.S.B. et al. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. da; LINS, L. V. (Org.). **Biodiversidade da caatinga**: áreas e ações prioritárias para a conservação. Brasília (DF): Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2003. Cap. 2, p. 48-78. Disponível em: <[http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18267/1/Biodiversidade\\_Caatinga\\_parte2.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18267/1/Biodiversidade_Caatinga_parte2.pdf)>. Acesso em: 27 Nov. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA: Censo Demográfico 2013**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/pimpfbr/brasil>>. Acesso em: 25 Mar. 2019.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Programa Queimadas: Monitoramento por satélites**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/>>. Acesso em: 25 Out. 2018.

LATORRE, M. L.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; SANTOS, J. R.; SHIMABUKURO, Y. E. Integração de dados de sensoriamento remoto multi resoluções para a representação da cobertura da terra utilizando campos contínuos de vegetação e classificação por árvores de decisão. **Revista Brasileira de Geofísica, on-line**, v. 25, n.1, p. 63-74, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-261X2007000100006&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-261X2007000100006&script=sci_abstract&tlng=pt)>. ISSN: 0102-261X. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2007000100006>.

LOURENÇO, V. R.; RAMOS, N. N. L. A.; COSTA, C. A. G. Distribuição espaço-temporal do NDVI sob condições de caatinga preservada. **Revista Espaço Aberto**, PPGG - UFRJ, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 101-110, 2017. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/EspacoAberto/article/view/3565/8627>>. ISSN: 2237-3071.

MONTEIRO, J. B.; ROCHA, A. B.; ZANELLA, M. E. Técnica dos Quantis para caracterização de anos secos e chuvosos (1980-2009): baixo curso do Apodi – Mossoró/RN. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, v. 23, p. 232-249, 2012. Disponível em: <[www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47212](http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47212)>. DOI: 10.7154/RDG.2012.0023.0010.

MOURA, M. S. B. de; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. de L.; SOUZA, L. S. B. DE; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. da ; Clima e Água de Chuva no Semi-Árido. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. Cap. 2, p. 37-59. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/36534/1/OPB1515.pdf>>. Acesso em: 27 Nov. 2017.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **MODIS (or Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer): About**. Disponível em: <<https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>>. Acesso em: 20 Nov. 2018.

PINHEIRO, K.; ALVES, E.; MELO, J. G.; ALVES, E.; GALVÍNCIO, J. Avaliação da sazonalidade através do NDVI na Caatinga. In: NÓBREGA R. S. et al. (Org). **Reflexões sobre o semiárido: obra do encontro do pensamento geográfico [livro eletrônico]**. 1. ed. Ananindeua: Itacaiúnas, 2017. Cap. 18, p. 142-148. Disponível em: <<https://editoraitacaiunas.com.br/produto/reflexoes-sobre-o-semiarido-obra-do-encontro-do-pensamento-geografico/>>.

PIROMAL, R. A. S.; RIVERA-LOMBARDI, R. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; KRUG, T. Utilização de dados MODIS para a detecção de

queimadas na Amazônia. **Revista Acta Amazonica**, vol.38, n.1, p. 77-84, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0044-59672008000100009&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0044-59672008000100009&script=sci_abstract&tlng=pt)>. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672008000100009>.

PONZONI, F. J. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica. In: RUDORFF, B. F. T. et al. (Ed.). **Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente**. São José dos Campos: INPE, 2002. Cap. 8. 27p. (INPE-8984-PUD/62). Disponível em: <<http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.13.11>>. Acesso em: 20 Set. 2017.

RUIZ, L. F. C.; CATEN, A. T.; DALMOLIN, R. S. D. Árvore de decisão e a densidade mínima de amostras no mapeamento da cobertura da terra. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.6, p.1001-1007, jun. 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v44n6/a17114cr2013-0290.pdf>>. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782014000600008>.

SANTOS, G. D.; FRANCICO, C. N.; ALMEIDA, C. M. Mineração de dados aplicada à discriminação da cobertura da terra em imagem Landsat 8 OLI. **Boletim de Ciências Geodésicas** - On-Line version, Curitiba, v. 21, n. 4, p. 706-720, out/dez. 2015. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/bcg/article/view/44380>>. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000400041>.

SILVA, S. L.; BAPTISTA, G. M. M. Análise do grau de severidade de áreas queimadas na Estação Ecológica de Águas Emendadas por meio de dados do Landsat 8. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 2, p. 431-438, jul. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233368>>. ISSN: 1984-2295.

SOUSA, G. M.; FERNANDES, M. C.; COSTA, G. A. O. P. Classificação da susceptibilidade à ocorrência de incêndios através de mineração de dados e GEOBIA. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 67, n. 3, p. 555-567, mai/jun. 2015. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/1089>>. ISSN: 1808-0936.

University of Waikato (NZ). **Weka 3**: Data Mining Software in Java. Disponível em: <<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>>. Acesso em: 10 Jun. 2018.

VERMOTE E. F.; ROGER, J. C.; RAY, J. P. **MODIS Surface Reflectance User's Guide**: Collection 6. Disponível em: <[https://lpdaac.usgs.gov/documents/306/MOD09\\_User\\_Guide\\_V6.pdf](https://lpdaac.usgs.gov/documents/306/MOD09_User_Guide_V6.pdf)>. Acesso em: 30 Out. 2018.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S. Caracterização de períodos secos ou excessivamente chuvosos no estado do Ceará através da técnica dos quantis: 1964-1998. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.14, n.2, p. 63-78, dez. 1999. Disponível em: <[http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista\\_artigo.php?id\\_artigo=491](http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=491)>. ISSN: 1982-4351.