



## Caracterização de Cicatrizes de Queimadas nas Mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano a partir de dados do Sensor MODIS

José Rafael Ferreira de Gouveia<sup>1</sup>, Cristina Rodrigues Nascimento<sup>2</sup>, José Galdino de Oliveira Júnior<sup>3</sup>, Geber Barbosa de Albuquerque Moura<sup>4</sup>, Fabrício Marcos Oliveira Lopes<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n; Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil, CEP: 52171-900. E-mail: ferreira.gouveia@hotmail.com (autor correspondente);

<sup>2</sup> Professora Doutora, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n; Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil, CEP: 52171-900. E-mail: crisrodnas@gmail.com;

<sup>3</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n; Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil, CEP: 52171-900. E-mail: dinojr95@gmail.com;

<sup>4</sup> Professor Doutor, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n; Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil, CEP: 52171-900. E-mail: geber.moura@ufrpe.br; fabricao.lopez@ufrpe.br.

Artigo recebido em 07/06/2020 e aceito em 11/02/2021

### RESUMO

As mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano apresentam clima semiárido, que podem afetar a produção agrícola, em função do clima quente e seco, com temperaturas elevadas e regime pluviométrico irregular. O bioma predominante da região é a Caatinga, que vem sofrendo ao longo dos anos com várias ações antrópicas, incluindo além do desmatamento eventos de queimadas. O objetivo deste artigo foi mapear, caracterizar e quantificar a incidência de focos de calor nas mesorregiões acima relacionadas, bem como a capacidade de recuperação e/ou regeneração natural da vegetação por meio do sensoriamento remoto e técnicas de mineração de dados. Imagens do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) a bordo da plataforma TERRA foram utilizadas para analisar o estado da vegetação nos períodos pré, durante e pós-queima. Para avaliar as condições necessárias para que ocorra a regeneração natural da superfície vegetal foi utilizado o software de mineração de dados Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA) a partir do cruzamento dos dados do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e precipitação local. Os resultados demonstram um aumento na ocorrência dos focos no período analisado. Existe uma correlação de 91,76% entre o NDVI durante e 48 dias após o evento da queima. Além disso, os parâmetros NDVI 30 e 48 dias após a queima apresentaram um coeficiente de correlação de 83,96%. Portanto, as técnicas de sensoriamento remoto e mineração de dados permitiram avaliar as relações existentes entre o NDVI e a precipitação local para que ocorra a regeneração vegetal.

**Palavras-Chave:** sensoriamento remoto, índices de vegetação, focos de calor, mineração de dados.

### Characterization of Burning Scars in the Sertão and São Francisco Pernambucano Mesoregions from MODIS Sensor data

#### ABSTRACT

The Sertão and São Francisco Pernambucano mesoregions have a semi-arid climate, which can affect agricultural production, due to the hot and dry climate, with high temperatures and irregular rainfall. The predominant biome of the region is the Caatinga, which has been suffering over the years with several anthropic actions, including in addition to deforestation, burning events. The purpose of this article was to map, characterize and quantify the incidence of hot spots in the mesoregions listed above, as well as the capacity for recovery and/or natural regeneration of vegetation through remote sensing and data mining techniques. Images from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor on the TERRA platform were used to analyze the state of vegetation in the pre, during and post-firing periods. To assess the conditions necessary for the natural regeneration of the plant surface to occur, the data mining software Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA) was used, by crossing the data from the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and precipitation. The results demonstrate an increase in the occurrence of outbreaks in the analyzed period. There is a 91.76% correlation between NDVI during and 48 days after burning event. In addition, the NDVI parameters 30 and 48 days after burning presented a correlation coefficient of 83.96%. Therefore, the techniques of remote sensing and data mining allowed to evaluate the existing relationships between NDVI and local precipitation so that plant regeneration to occurs.

**Keywords:** remote sensing, vegetation indexes, hot spots, data mining.

## Introdução

Fernandes et al. (2016) e Melo et al. (2020) definem uma queimada como sendo um processo de degradação ambiental que consiste na queima da biomassa de um local e pode ocorrer por ações antrópicas ou naturais. Tal processo consiste em uma prática antiga e amplamente recorrente no Brasil, quando se diz respeito à expansão e manutenção do território agrícola, podendo ser facilmente intensificada, se o local atingido estiver no período seco do ano. Segundo as técnicas de prevenção de incêndios, bem como a realização de um planejamento estratégico de combate, são alternativas viáveis para redução da ocorrência de incêndios. As formas de detecção dependem das características do local, principalmente a extensão da área a ser monitorada. Estes fatores determinam o meio de monitoramento podendo ser utilizados na vigilância terrestre por postos fixos ou móveis (rondas) e torres de observação, ou monitoramento e patrulhamento aéreo com aeronaves e monitoramento por imagens de satélites (Santos et al., 2019).

Os fatores envolvidos na ocorrência e propagação de um evento de queimada são diversos, tais como a duração do período seco, frequência de raios, ventos intensos, e altas temperaturas (Leal et al., 2019). São consideradas três causas principais para a ocorrência do fogo: naturais, pela incidência de raios; antrópicos de origem acidental; e antrópicos de origem intencional (Forkel et al., 2017; Clemente et al., 2017). Atualmente a quase totalidade dos eventos de fogo em diferentes locais no Brasil é em decorrência da ação antrópica, seja acidental ou de forma intencional (Gomes et al., 2020).

Independente da forma com que ocorrem, os prejuízos são incalculáveis e conduz muitas vezes o ambiente natural a instabilidades do ponto de vista da capacidade de regeneração e reestruturação da paisagem atingida, principalmente quando essas áreas estão em condições de clima seco e regime pluviométrico irregular. Considerando, que as mesorregiões Sertão e São Francisco Pernambucano, se enquadram nessas características e que possuem como bioma predominante a Caatinga, essas mesorregiões apresentam uma alta susceptibilidade à ocorrência de queimadas (Silva, A. et al., 2020).

Um das formas de monitoramento de áreas afetadas pelo fogo é a partir da utilização do sensoriamento remoto, analisando-se um dos seus produtos mais populares, as imagens de satélites (Mendes et al., 2019; Bezerra et al., 2020). De acordo com Souza et al. (2019) e Shimabukuro (2020), o Sensoriamento Remoto auxilia na

aquisição de informações espaciais e temporais em diferentes escalas, relacionada à resolução espacial dos produtos gerados. Essas informações possibilitam a caracterização de ocorrências dos focos de calor, além da medição da área e da biomassa efetivamente afetadas pelo fogo, fornecendo importantes contribuições para estudos sobre esta temática.

Por outro lado, outros dados podem ser associados às imagens de satélite também para detecção de áreas queimadas. Na comunidade acadêmica que trabalha com esta temática, esses dados são conhecidos como focos de calor e representam arquivos vetoriais que representam pontos geográficos captados na superfície do solo, quando detectada temperatura acima de 47°C e área mínima de 900 m<sup>2</sup> (Marques e Costa Sobrinho, 2020). O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) divulga esses dados, que são derivados dos satélites de órbita polar AQUA, TERRA, NOAA's-15, 16, 17, 18 e 19, e dos satélites geoestacionários METEOSAT-02, GOES-12, em uma frequência diária, através do projeto: Banco de dados de queimadas – BDQ (INPE, 2019). Cada satélite polar produz dois imageamentos por dia, e os geoestacionários geram algumas imagens por hora, sendo que no total o INPE processa mais de 200 imagens por dia, especificamente para detectar focos de queima da vegetação.

Os estudos baseados em imagens de satélite para o mapeamento do fogo focam na identificação da variação de emissão de energia detectada no momento da combustão ou no mapeamento das cicatrizes de queimadas a partir da diferenciação da resposta espectral (Franco et al., 2020; Lotufo et al., 2020). Na identificação das áreas queimadas, a técnica mais utilizada combina dois contextos: índice espectral e análise da superfície a partir das imagens de satélites em dois momentos, pré e pós-fogo (Ba et al., 2019). Por sua vez, índices de vegetação podem ser descritos como uma divisão de bandas espectrais que visa o realce das variações de densidade da cobertura vegetal. As características para a resposta espectral da vegetação estão relacionadas aos parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, ou seja, quanto maior for a densidade da cobertura vegetal em uma determinada área, menor será a refletância na região do visível, por outro lado maior será a refletância na região do infravermelho próximo (Pio e Vieira, 2020).

Dentre os mais variados alvos presentes na superfície terrestre que são mapeados pelos satélites, a vegetação apresenta uma assinatura espectral específica (Pereira et al., 2016). A fim de minimizar os efeitos causados pelos gases da

atmosfera, aerossóis e nuvens sobre as imagens obtidas por satélites, a refletância espectral da cobertura vegetal é transformada e combinada em vários índices de vegetação. Os mais empregados utilizam informações referentes às faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, presentes no intervalo do Espectro Eletromagnético (EEM) o qual contém a maior variação de resposta espectral para a vegetação. Assim sendo, é possível obter melhores resultados entre os dados orbitais e os indicadores biofísicos da vegetação, a partir da evidência do comportamento espectral dos alvos (Oliveira Júnior et al., 2019).

Neste sentido, muitas pesquisas sobre detecção e monitoramento de áreas atingidas pelo fogo recaem na avaliação de bandas espectrais (Ba et al., 2019). Oliveira (2019) ressalta que o índice mais difundido é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1974) e que utiliza as bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo. Os valores do NDVI podem variar de -1 a 1, onde os valores próximos a 1 exprimem um maior vigor vegetativo, em contrapartida os mais próximos a 0 (zero) indicam uma superfície com baixo vigor vegetativo ou não vegetada. O NDVI é o mais utilizado nesse tipo de análise para construir perfis sazonal e temporal das atividades da vegetação, podendo ainda detectar pico verde, mudanças fenológicas das folhas e períodos de senescência.

Diferentes plataformas orbitais podem ser utilizadas para o monitoramento de queimadas, porém o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo dos satélites TERRA e AQUA, possui como principal vantagem gerar imagens de diferentes produtos não só da superfície terrestre, como também dos oceanos e atmosfera. Além disso, apresentam uma alta sensibilidade radiométrica (12 bits) e espectral (36 bandas), operando no intervalo de faixa de 0,4 a 14,4  $\mu\text{m}$  do espectro eletromagnético, permitindo a aquisição de imagens com resolução espacial de 250 m, 500 m e 1.000 m e tempo de revisita ao mesmo ponto entre 1 a 2 dias (Kumari et al., 2020; NASA, 2020). Quando se pretende estudar uma série temporal, como é o caso, essas características são determinantes, principalmente porque imagens de satélites são produtos passíveis de apresentar alta cobertura de nuvens e ruídos, o que pode inviabilizar alguns estudos (Belenguer-Plomer et al., 2019). Além disso, segundo Stroppiana et al. (2015) o sensor MODIS apresenta uma limitação para a detecção de pequenas áreas de queima, em virtude da sua baixa resolução espacial.

Pelo comportamento espectro das primeiras 19 bandas, pode-se dividir em aplicações distintas de acordo com a sua interação com a superfície. Segundo Vermote et al. (2015), as bandas 1-7 podem ser utilizadas para estudo na superfície terrestre, as bandas 8-16 nas observações oceânicas e as bandas 17-19 nas interações atmosféricas. Estas características permitiram o desenvolvimento de 44 produtos MODIS, sendo eles trabalhados em diversas áreas referentes a mudanças globais (Silva et al., 2019).

Segundo Wang et al. (2020), o produto referente a refletância da superfície (MOD09) é uma ferramenta significativa para a obtenção de dados para o monitoramento ambiental. Xaud et al. (2013) afirma que o uso das imagens do sensor MODIS especificamente o produto referente a refletância da superfície (MOD09) com resolução espacial de 250 m apresentam a similaridade satisfatória quando relacionado as imagens de outros satélites com resolução espacial de 30 m, o autor sugere a inserção do produto no aprimoramento da detecção das cicatrizes de queima. Para Phan et al. (2020), os dados do produto MOD09GQ podem ser utilizados para o cálculo do NDVI, pois este produto proporciona a obtenção da refletância de superfície diária das bandas 1 e 2 do MODIS com resolução de 250 m, cobrindo a faixa espectral de 0,62 a 0,67  $\mu\text{m}$  e de 0,84 a 0,87  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

O produto MOD14A1/TERRA apresenta resolução espacial de 1 km e está relacionado a identificação de anomalias termais, ou seja, o algoritmo mapeia a ocorrência do fogo e o cálculo da energia emitida pela queimada, além da composição de oito dias de sua ocorrência, introduzindo dados diários sobre cada um dos oito respectivos dias (Jia et al., 2019; Stefanidou et al., 2019). Tal produto MOD14A1/TERRA, como todos os outros produtos MODIS Thermal Anomalies/Fire, tem sua origem sobretudo das radiâncias MODIS de 4  $\mu\text{m}$  e 11  $\mu\text{m}$ . O algoritmo segue o método de obtenção de constatação de incêndio através da detecção absoluta de um incêndio e da detecção em relação aos pixels ao seu redor, para considerar a mudança na temperatura da superfície e a reflexão da luz solar (Yin, 2020).

Já os produtos MOD13 contém os índices de vegetação NDVI e *Enhanced Vegetation Index* (EVI) produzidos em escala global nas resoluções 1 km, 500 m e 250 m em composições de imagens ou mosaicos de 16 dias. Esses índices permitem realizar estudos, tanto ao longo do tempo quanto no espaço, sobre as condições da cobertura vegetal, descrevendo e reconstituindo dados de variações fenológicas e discriminando variações interanuais

da vegetação nas escalas global e regional (Alves, 2019).

À face do exposto, o presente artigo tem como objetivo mapear, caracterizar e quantificar a incidência de focos de calor nas mesorregiões Sertão e São Francisco Pernambucano durante a série temporal de 2015 a 2019, nos meses de agosto a novembro, a partir da utilização de imagens do satélite MODIS/TERRA. A partir desta análise foi possível, avaliar a capacidade de recuperação e/ou regeneração natural da vegetação através do índice NDVI e correlacioná-los com a influência da precipitação local depois da ocorrência da queima sobre a área afetada.

## Material e Métodos

Área de Estudo - O estudo foi desenvolvido nas seguintes mesorregiões do estado de Pernambuco: Sertão e São Francisco (Figura 1). Juntas essas mesorregiões, ocupam cerca de 70% do território pernambucano e estão divididas em seis microrregiões: Araripina, Salgueiro, Pajeú, Moxotó, Petrolina e Itaparica. No geral, a maioria dos municípios tem sua economia baseada na pecuária e plantio de culturas de subsistência, entretanto o município de Petrolina se destaca como um grande polo frutífera de importância mundial, se destacando entre os demais. É a região mais castigada pelas secas que atingem o semiárido nordestino, apresentando precipitação média anual entre 500 e 700 mm concentradas no período chuvoso (IBGE, 2020).

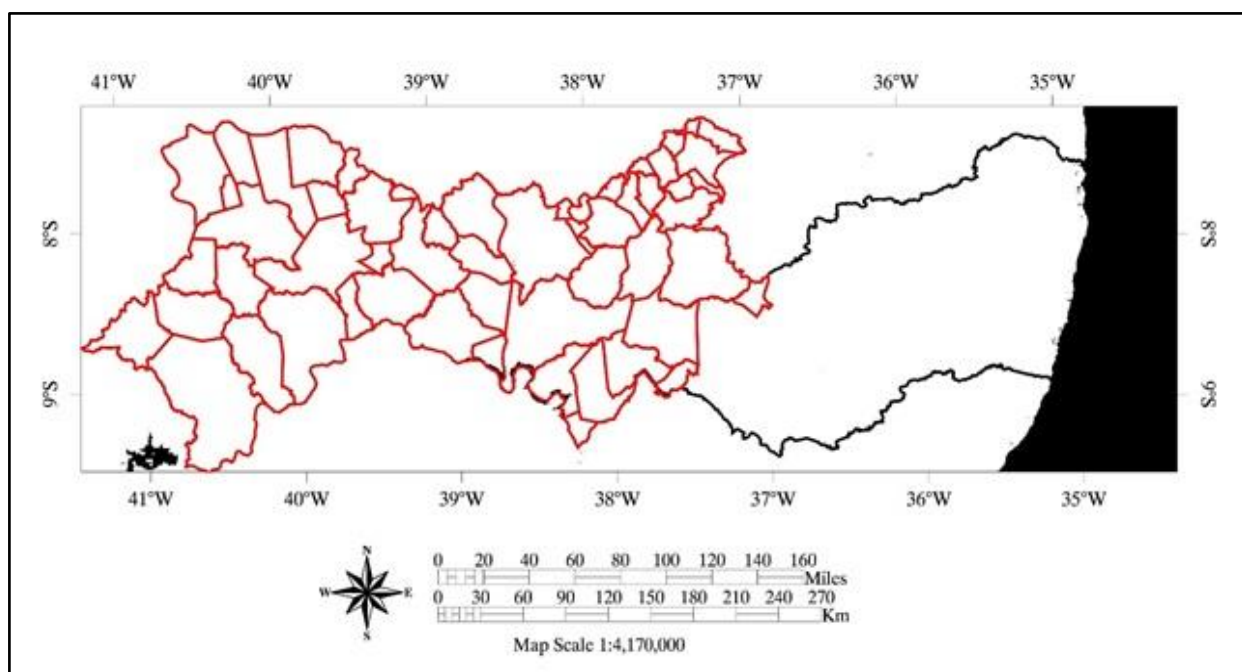


Figura 1. Localização espacial da área de estudo, destacando os municípios que integram as mesorregiões Sertão e São Francisco Pernambucano.

Dados Climáticos - Para análise climática, baseada em uma série mensal de 30 anos de dados (1961 – 1990), foram utilizadas as normais climatológicas do total de precipitação anual, dos municípios: Arcoverde, Cabrobó, Floresta, Pesqueira, Petrolândia e Petrolina (INMET, 2009). Foi aplicado a série de precipitação total anual, a análise da técnica de Quantis, de acordo com metodologia utilizada por Monteiro et al. (2012). Nobrega e Farias (2016) destacam que a técnica dos Quantis é amplamente utilizada para caracterizar períodos secos e chuvosos, embora no Brasil, em climatologia, esta técnica não seja utilizada somente para categorizar chuvas. Tal técnica possibilita a revelar de maneira clara e

objetiva o significado exato de um total pluviométrico em referência ao conjunto de dados (Terassi et al., 2018). Os “Quantis” constituem “estatísticas” extremamente úteis e oportunas para o tratamento de inúmeras situações de interesse em meteorologia, climatologia e hidrologia (ou em outras áreas). Entre as suas várias utilidades, pode-se citar o seu emprego como uma técnica de “discretização” ou de “categorização”, envolvendo a obtenção de classes cujas probabilidades (ou frequências) sejam equidistribuídas. Seja X a chuva total de um ano da localidade, ao longo de anos ininterruptos, uma variável aleatória contínua. O Quantil  $Q_p$ , para cada número p entre zero e um,

é o valor de chuva satisfazendo à condição  $\text{Prob}(X \leq Q_p) = p$ .

Para cada valor observado  $X_0$  da chuva, o número  $(0 < p < 1)$  tal que:  $F(X_0) = p$ , diz-se de ordem quantílica  $p$ , associada a  $X_0$ . Uma interpretação simples para o quantil  $Q_p$  é a seguinte: supondo que  $p$  se expressa em potenciais: espera-se que em  $p$  (%) dos anos a altura da chuva  $X$  não deve ultrapassar o valor do Quantil  $Q_p$ , enquanto para  $(100-p)$  dos anos tal valor será excedido. Com respeito às ordens quantílicas  $p = 0,25; 0,50$  e  $0,75$  (25%, 50% e 75%) os Quantil respectivos são designados quartis, onde  $Q_{0,25}$ ,  $Q_{0,50}$  e  $Q_{0,75}$  são o quartil inferior, a mediana, e o quartil superior, respectivamente.

Na análise os Quantis referem-se as ordens 0,33 e 0,66, com o fim de delimitar os níveis (ou faixas): SECO (S), NORMAL (N), e CHUVOSO (C). Seja  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  uma série de chuva num determinado período e numa dada localidade, ao longo de  $N$  intervalo de anos sejam os Quantis  $Q(0,33)$ ,  $Q(0,66)$ . Então um ano  $i$  passa a ser considerado: (SECO) quando  $X_i \leq Q_{0,33}$ ; (NORMAL) quando  $Q_{0,33} < X_i < Q_{0,66}$ ; e (CHUVOSO) quando  $X_i \geq Q_{0,66}$ .

Após esta análise, foram utilizados dados de precipitação anual da série temporal de 2015 a 2019, tomando como referência os municípios acima relacionados de modo a caracterizar o ano em uma das três classes resultantes da análise do Quantis. Os dados pluviométricos foram obtidos do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO), da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

**Quantificação da Ocorrência de Focos de Calor -** Após a caracterização dos períodos mais secos de cada ano, da série anual (2015 a 2019), foi realizada a coleta e quantificação mensal dos focos de calor obtidas através do Banco de Dados de Queimadas - BDQ do INPE.

**Processamento das Imagens de Satélite MODIS/TERRA -** Foram utilizados três produtos do sensor MODIS da plataforma orbital TERRA, disponibilizados no site da United States Geological Survey (USGS). Todo processamento foi executado no software Environment for visualizing images (ENVI), versão 4.1, onde utilizou-se imagens dos tiles h13v09 e h14v09, incluindo a conversão do formato \*HDF-EOS para \*GeoTIFF, realizado do software Modis Reprojection Tool (MRT), e geração de mosaicos, que possibilitaram a análise da área de estudo. Segue abaixo os produtos utilizados:

i. Produto MOD14A1: Este produto tem como característica identificar a ocorrência (dia/noite) e a localização espacial das anomalias termais (fogo), apresentando resolução espacial de 1 km e resolução temporal diária. O produto distingue três classes: Fogo, Sem Fogo e Sem Observação. No artigo, essas imagens são utilizadas no monitoramento da distribuição espacial dos eventos de queimadas que coincidirem com os focos de calor disponibilizados pelo INPE;

ii. Produto MOD09GQ: Após a identificação dos pixels com ocorrência de queimadas, de acordo, com o critério estabelecido no item i., foram analisadas as imagens correspondentes à superfície de reflectância (MOD09) das bandas 1 e 2, respectivamente as regiões espectrais do vermelho e do infravermelho próximo. A conversão para reflectância incluiu aplicar o fator de escala de 0.0001 aos pixels das imagens. Esta etapa da pesquisa possibilitou determinar qual o comportamento da vegetação no momento da queima, através do índice de vegetação NDVI (Equação 1). Este produto apresenta resolução espacial de 250 m e resolução temporal diária.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

$\rho_{NIR}$  = Refletância da banda do infravermelho próximo;

$\rho_{RED}$  = Refletância da banda do vermelho.

iii. Produto MOD13Q1: De modo a avaliar o comportamento da vegetação antes e depois da queima, foram utilizadas imagens composição de 16 dias do NDVI. A conversão para reflectância incluiu aplicar o fator de escala de 0.0001 aos pixels das imagens. Na pesquisa, a área que foi atingida pelo fogo, foi analisada através da utilização das imagens dispostas em duas etapas: A primeira 16 dias antes da queima e a segunda utilizando uma sequência de três imagens MOD13Q1, contemplando um período de 48 dias. Esta etapa da pesquisa teve como objetivo acompanhar o poder de recuperação e/ou regeneração da vegetação após a queima. Concomitantemente, avaliou-se também a precipitação, uma vez que o bioma Caatinga apresenta uma rápida resposta a chuva podendo alterar o valor do NDVI. Este produto apresenta resolução espacial de 250 m e resolução temporal de 16 dias.

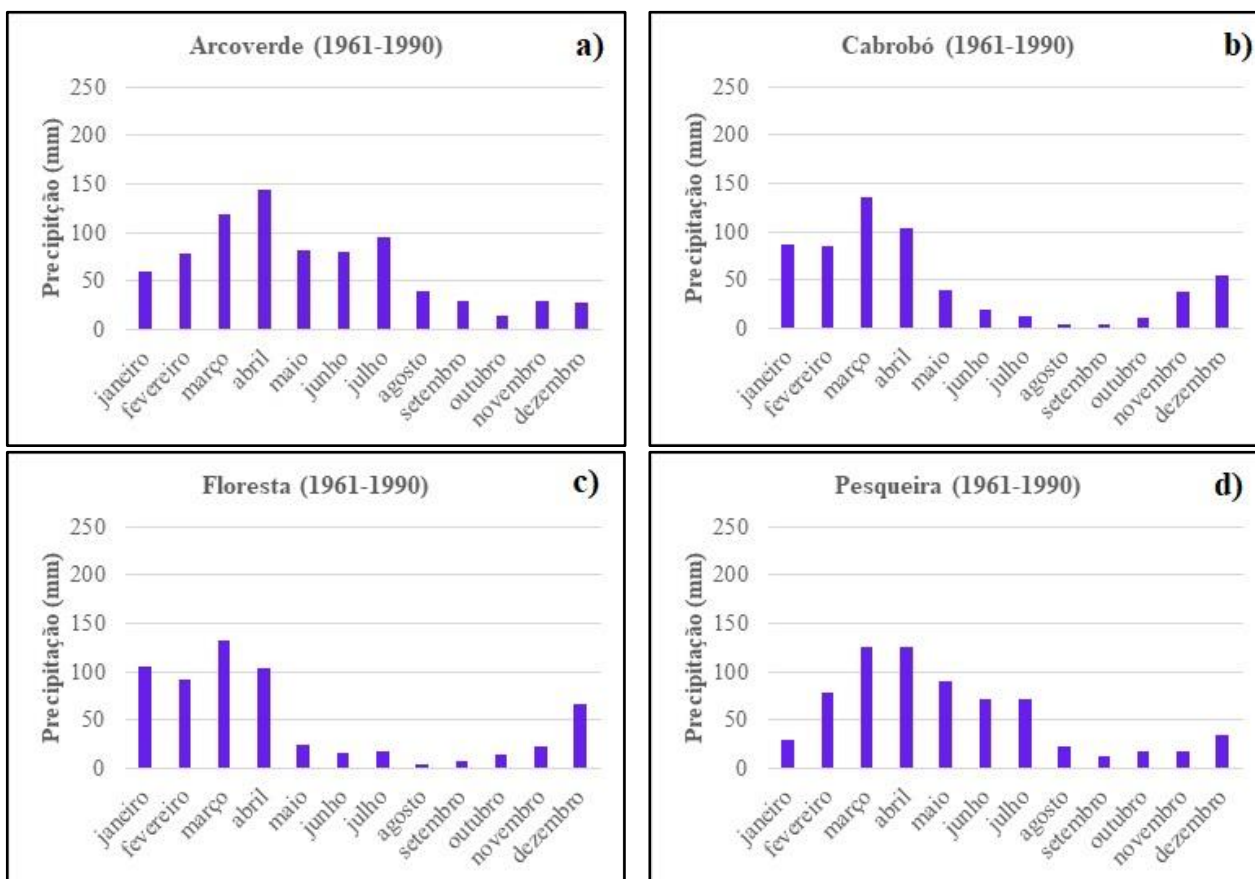
Waikato Environment For Knowledge Analysis (WEKA) - A técnica de árvores de decisão foi testada para a busca de padrões nos pixels correspondente à área queimada considerando também as informações do NDVI nos diferentes intervalos temporais que proporcionou o fornecimento da resposta ao desenvolvimento do algoritmo, além dos dados climáticos como a precipitação. Silva, J., et al. (2020) constatou que as regras estabelecidas pelas árvores de decisão em conjunto com o uso de índices indicadores são satisfatórias na quantificação e monitoramento da degradação vegetal, apresentando uma análise estatística precisa.

Para a construção da árvore utilizou-se o algoritmo “REPTree” que não depende de suposições sobre a distribuição dos valores das variáveis ou da independência entre si das variáveis. Isto é importante quando se utiliza dados de imagens de satélite (Araki, 2005). Para esta

etapa do projeto foi utilizado o software WEKA, da Universidade de Waikato, Nova Zelândia (WEKA, 2020). O pacote WEKA consiste de uma coleção de algoritmos de aprendizado de máquina para tarefas de mineração de dados.

### Resultados e discussão

A fim de definir quais são os meses mais secos do ano, foi realizada uma análise através das Normais Climatológicas, em um período de 30 anos consecutivos, em seis municípios distribuídos nas mesorregiões de estudo de forma que a definição dos meses mais secos fosse significativa para os demais municípios. A Figura 2 (2a a 2f) apresenta a análise climática dos municípios selecionados considerando a série temporal de 1961 a 1990, na mesorregião do Sertão e São Francisco Pernambucano. Pode-se verificar que agosto a novembro, são os meses mais secos do ano.



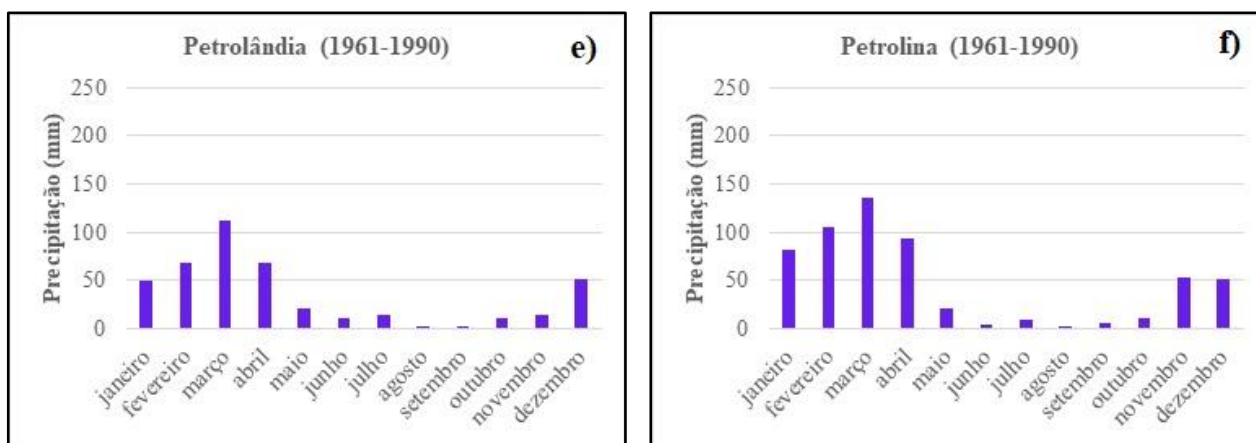


Figura 2. Distribuição temporal da precipitação média mensal da série temporal de 1961 a 1990 dos municípios analisados: a) Arcoverde; b) Cabrobó; c) Floresta; d) Pesqueira; e) Petrolândia e f) Petrolina.

Esta característica torna a área susceptível à incidência de focos de calor, 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 Tabela 1 apresenta a normal climatológica no período de 1961 a 1990 dos municípios estudados.

**Tabela 1.** Normal climatológica dos valores de precipitação dos municípios analisados.

Municípios	Normal Climatológica da Precipitação (1960 - 1991)					
	Jan	Fev	Mar	Abri	Mai	Jun
<b>Arcoverde</b>	59,2	78,0	118,5	144,7	81,6	80,9
<b>Cabrobó</b>	87,2	85,8	136,1	104,6	40,4	19,4
<b>Floresta</b>	105,1	91,4	133,2	104,1	24,0	16,6
<b>Pesqueira</b>	30,2	78,6	126,5	126,4	90,2	71,6
<b>Petrolândia</b>	49,8	69,1	112,0	68,2	22,1	11,0
<b>Petrolina</b>	81,9	105,9	136,3	93,6	21,7	5,1

Municípios	Normal Climatológica da Precipitação (1960 - 1991)						Total
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
<b>Arcoverde</b>	94,9	40,1	29,0	14,0	30,0	27,2	798,1
<b>Cabrobó</b>	13,5	3,8	4,1	10,5	38,8	55,4	599,5
<b>Floresta</b>	18,0	4,9	7,8	15,3	23,2	66,7	610,1
<b>Pesqueira</b>	71,9	22,9	13,1	17,4	18,7	34,0	701,5
<b>Petrolândia</b>	14,1	2,4	3,2	10,4	14,8	51,0	428,1
<b>Petrolina</b>	8,7	2,4	5,6	11,9	53,5	50,8	577,4

A partir dos dados de precipitação da Tabela 1 foi aplicada a técnica de Quantis baseado na média anual dos valores de precipitação observados. Esses valores foram divididos em três grupos: 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 551,4 mm), os “NORMAIS” com probabilidade maior que 25% e inferior ou igual a 75% (superiores a 551,4 mm e inferiores a 674,8 mm), e os “CHUVOSOS” com

probabilidade maior que 75% (superiores a 674,8 mm e inferiores a 798,1 mm). Neste sentido, a Tabela 2 apresenta a classificação dos municípios no período estudado, quanto às classes acima relacionadas. Pode-se observar que no período estudado não houve a ocorrência de anos classificados como “chuvosos” e que apenas nos municípios de Arcoverde e Floresta foram observados anos classificados como “normal”, ou seja, com chuvas dentro do esperado.

**Tabela 2.** Classificação a partir da técnica de Quantis da série temporal de 2015 a 2019.

Municípios	Anos				
	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Arcoverde</b>	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal
<b>Cabrobó</b>	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
<b>Floresta</b>	Seco	Seco	Seco	Normal	Seco
<b>Pesqueira</b>	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
<b>Petrolândia</b>	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
<b>Petrolina</b>	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco

Após a análise climática foram selecionados os dias de maior ocorrência de focos de calor considerando na análise o período mais seco do ano da série temporal de 2015 a 2019. A Tabela 3 apresenta os dias de maior incidência de focos de calor para os municípios afetados. Pode-se observar que para a área de estudo, os focos de calor ocorreram nos meses de agosto a novembro, com maior ocorrência no mês de novembro.

É possível observar que para todos os municípios o risco de incêndio é igual a 1. Vale ressaltar que o risco de incêndio é também considerado um índice de perigo de incêndio e reflete a probabilidade de ocorrência de um foco de calor no campo, assim como a facilidade do mesmo se propagar. Condições atmosféricas locais do dia, influenciam significativamente neste índice que varia do zero até o valor extremo 1. No período e na área analisada, o ano de 2019, se destaca como o ano onde foram observadas maiores ocorrências

de focos de calor nas mesorregiões estudadas, 549 focos.

É importante ressaltar que os valores da coluna (Focos) refletem a detecção de todos os focos de calor monitorados pelo INPE por diferentes plataformas orbitais. Na pesquisa foram utilizadas imagens do satélite TERRA, por esta razão a coluna (Focos Conf.) apresentam apenas os focos de calor detectados neste satélite e que serão monitorados. Pode-se observar que o município de Floresta se destaca dos demais, dia 06/11/2019, onde foram identificados 241 focos de calor. Observa-se também que as imagens do produto MOD14A1 referentes ao estudo do ano de 2018 não apresentaram pixels que demonstrassem a presença de focos de calor. Tal fato decorre da baixa resolução espacial do sensor MODIS, o qual impossibilita a detecção de pequenas áreas de queima.

**Tabela 3.** Incidências de Focos de Calor por município e data de ocorrência.

Município	Lat. (S)	Long. (W)	Dat.	Núm. Focos	Focos Conf.	Risco
<b>Parnamirim</b>	-8,29°	-39,71°	17/10/2015	92	1	1
<b>Granito</b>	-7,69°	-39,69°	17/10/2015	92	3	1
<b>Lagoa Grande</b>	-8,23°	-40,29°	17/10/2015	92	3	1
<b>Santa Cruz</b>	-8,32°	-40,34°	20/09/2016	75	2	1
<b>Ipubi</b>	-7,57°	-40,19°	25/11/2016	113	1	1
<b>Araripina</b>	-7,36°	-40,38°	21/11/2017	137	2	1
<b>São José do Belmonte</b>	-8,03°	-38,64°	21/11/2017	137	1	1
<b>Santa Cruz da Baixa Verde</b>	-7,90°	-38,18°	21/11/2017	137	2	1
<b>Serra Talhada</b>	-7,93°	-38,38°	30/08/2019	49	4	1
<b>Santa Filomena</b>	-8,13°	-40,44°	28/09/2019	120	1	1

<b>Santa Cruz</b>	-8,32°	-40,34°	28/09/2019	120	2	1
<b>Parnamirim</b>	-8,29°	-39,71°	28/09/2019	120	1	1
<b>Serrita</b>	-7,67°	-39,48°	28/09/2019	120	1	1
<b>Iguaracy</b>	-7,79°	-37,50°	28/09/2019	120	2	1
<b>Dormentes</b>	-8,58°	-40,72°	28/09/2019	120	4	1
<b>Santa Maria da Boa Vista</b>	-8,45°	-39,78°	28/09/2019	120	1	1
<b>Solidão</b>	-7,61°	-37,62°	31/10/2019	236	4	1
<b>Trindade</b>	-7,75°	-40,35°	06/11/2019	549	11	1
<b>Betânia</b>	-8,15°	-38,06°	06/11/2019	549	1	1
<b>Dormentes</b>	-8,58°	-40,72°	06/11/2019	549	3	1
<b>Santa Maria da Boa Vista</b>	-8,45°	-39,78°	06/11/2019	549	8	1
<b>Floresta</b>	-8,64°	-38,34°	06/11/2019	549	241	1

Onde: Lat. (S) – Latitude/Sul; Long. (W) – Longitude/Oeste; Dat. – Data de ocorrência; Núm. Focos – Número de focos; Focos Conf. – Focos de calor confirmados/detectados.

A Figura 3 apresenta uma comparação no quantitativo de focos de calor detectados pelo INPE em relação aos meses mais secos do ano nas mesorregiões do Sertão e São Francisco e os anos de 2015 a 2019. Pode-se observar, na Figura 3, que os meses de agosto e setembro dos anos de 2015 a 2019 apresentaram as menores quantidades de incidência de focos de calor quando comparados com os meses de outubro e novembro dos mesmos anos. Além disso, vale ressaltar que o mês de agosto demonstrou as menores quantidades de focos em relação aos meses de setembro a

novembro, assim como o mês de novembro exibiu as maiores quantidades de focos em relação aos meses de agosto a outubro.

Os dados do INPE apontam para o crescimento na quantidade de focos de calor no período analisado. Um fato que contribui para esta constatação é que no mês de agosto de 2015, foram registrados 21 focos e no mesmo mês no ano de 2019, foram registrados 46. Da mesma maneira, no mês de novembro de 2015, foram registrados 148 focos de calor e no mesmo mês no ano de 2019, foram registrados 549.

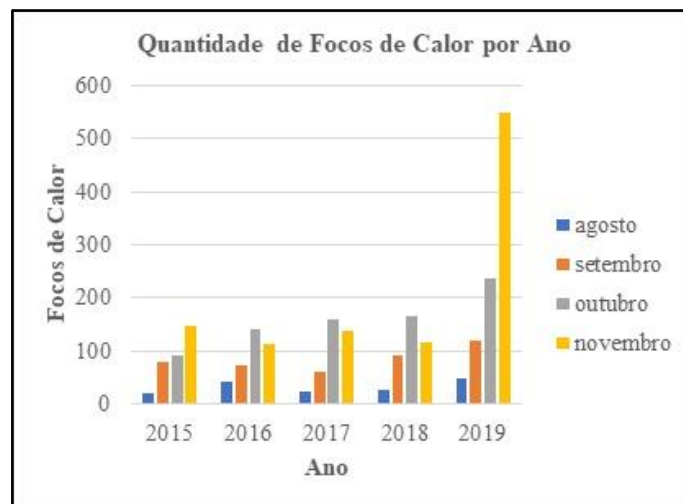


Figura 3. Comparativo da quantidade de focos de calor em relação aos meses de agosto a novembro nos anos de 2015 a 2019.

A Figura 4 apresenta a imagem MOD14A1 do dia 06/11/2019 do município de Floresta com os pixels afetados pelos focos de calor (Figura 4a), os

quais possuem uma escala de cinza mais clara, e 241 focos de calor disponibilizados pelo INPE (Figura 4b).

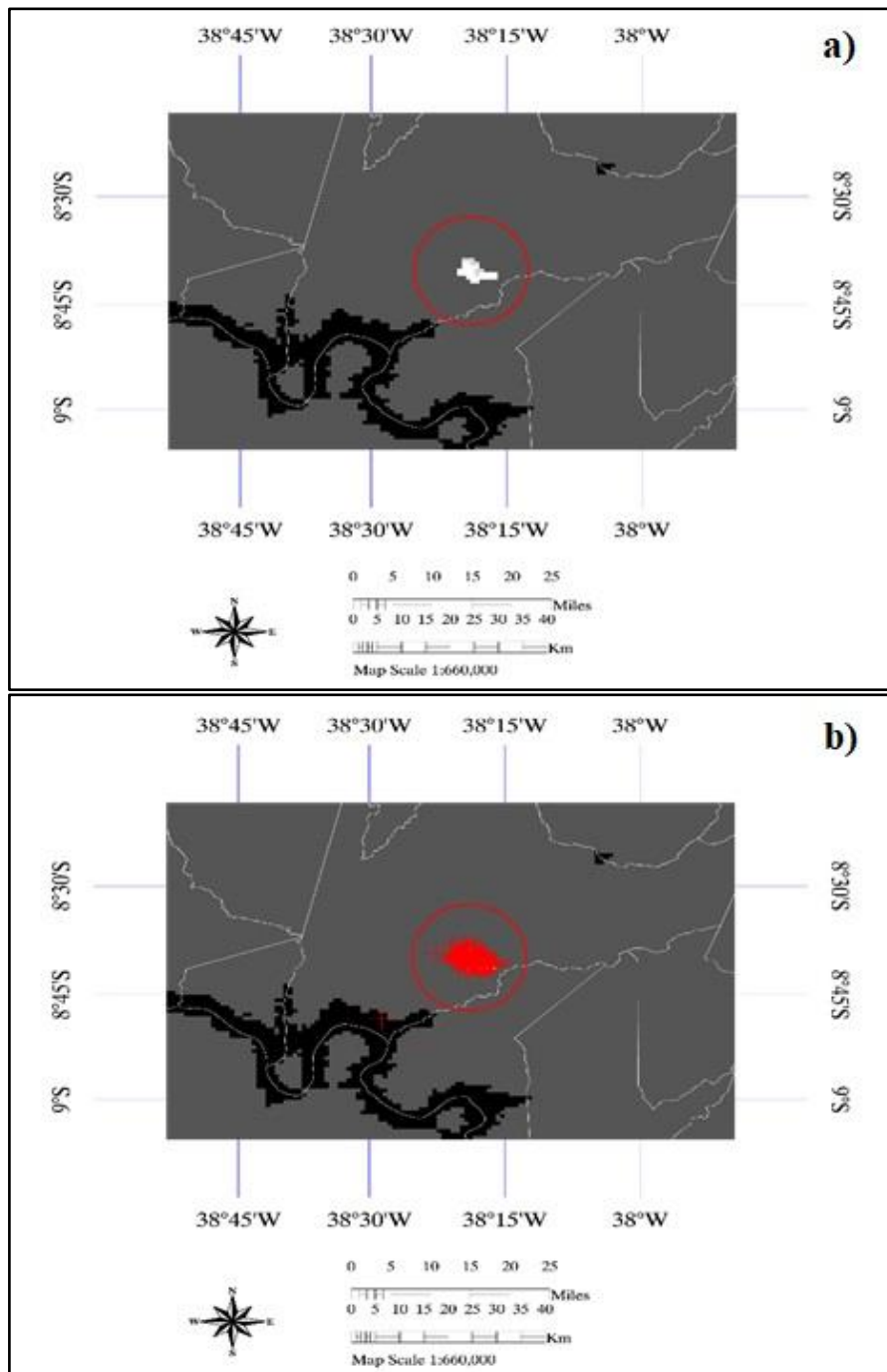


Figura 4. Imagem MOD14A1 do dia 06/11/2019 do município de Floresta: a) destacando os pixels identificados como área queimada e b) destacando os focos de calor detectados pelo INPE.

Após a identificação e mapeamento das áreas afetadas pelos focos de calor através da utilização das imagens do produto MOD14A1, foram selecionadas as imagens do produto MOD09QG referentes aos dias dos focos, dado que tal produto apresenta a superfície de refletância das áreas nas regiões espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, que correspondem as bandas 1 e 2, respectivamente. Desta forma, foi possível analisar o comportamento da vegetação no momento da queima, através do índice de vegetação NDVI.

A fim de avaliar o poder de recuperação e/ou regeneração vegetal, foram utilizadas imagens do produto MOD13Q1 que correspondiam ao período de 16 dias antes da queima e uma sequência de três imagens do mesmo produto, que totalizaram um período de 48 dias após a queima. Assim, possibilitando o acompanhamento da recuperação e/ou regeneração vegetal após a queima através do índice de vegetação NDVI. Simultaneamente, avaliou-se também a precipitação local, uma vez que o bioma Caatinga apresenta uma rápida resposta a chuva podendo

alterar o valor do NDVI. A Figura 5 apresenta a quantidade de áreas que obtiveram recuperação e/ou regeneração vegetal após o episódio da queima nos municípios que apresentaram focos de

calor confirmados no período de 2015 a 2019, nos meses de agosto a novembro, de acordo com a Tabela 3.



Figura 5. Quantidade de áreas regeneradas e/ou recuperadas de acordo com os índices NDVI e precipitação local.

A partir da Figura 5 pode-se observar que o mês de novembro de 2019 apresentou a maior quantidade de áreas regeneradas e/ou recuperadas, mesmo sendo o período com a maior quantidade de áreas afetadas pelos focos de calor.

De acordo com a Figura 2 o período mais chuvoso dentro dos meses analisados é o mês de novembro e o período chuvoso do ano vai de janeiro a abril. Levando em consideração que as áreas afetadas foram analisadas a partir de dados de 16 dias antes, no dia da queima e também 48 dias depois da queima, fica notória a importância da precipitação local para a regeneração vegetal, visto que os meses que mais apresentaram áreas regeneradas foram os meses de novembro de 2017 e novembro de 2019.

Analisando a correlação entre a precipitação local e os níveis de NDVI, ambos pré, durante e pós-queima, para a regeneração vegetal, tais dados foram submetidos a análise de

mineração de dados no software WEKA, utilizando o método de árvore de decisão criada pelo algoritmo “REPTree”.

Com base na árvore de decisão criada através do cruzamento dos dados dos índices de NDVI durante e 48 dias após a queima, foi constatada uma correlação de 91,76% entre os parâmetros para a recuperação e/ou regeneração vegetal. A Figura 6 demonstra a árvore de decisão gerada, nota-se que a regeneração vegetal é dependente do nível de NDVI durante a queima, visto que a partir dela, a área terá dois cenários possíveis a partir de um índice de 0,23. Neste sentido, constata-se que a regeneração vegetal acontecerá somente em duas situações:

- i. Se o NDVI no dia da queima for menor que 0,23;
- ii. Se o NDVI no dia da queima estiver entre 0,23 e 0,29, e o NDVI depois de 48 dias for maior ou igual a 0,23.

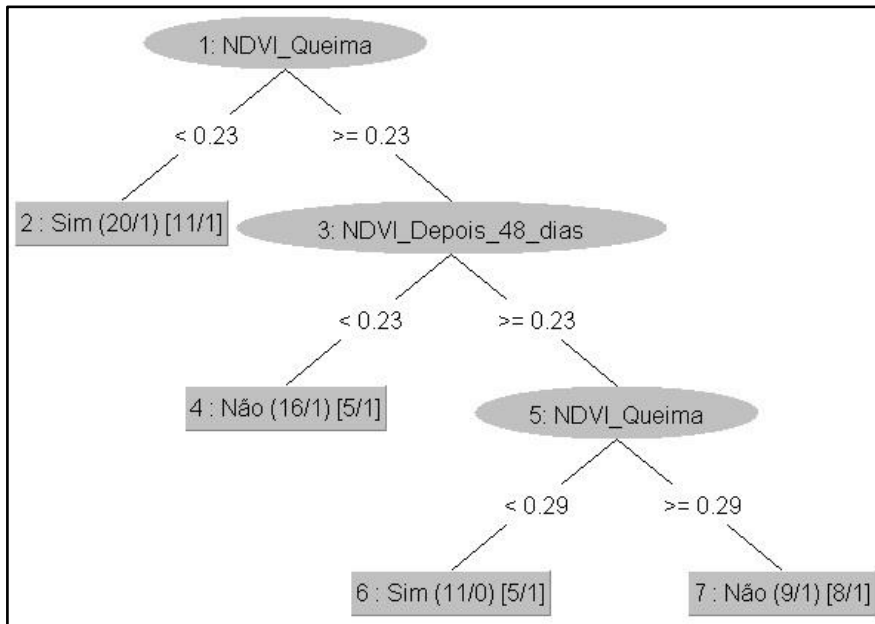


Figura 6. Árvore de decisão: Avaliação da Regeneração Vegetal.

Pode-se notar a dependência do nível de NDVI depois da queima para que ocorra a regeneração. Neste sentido, foi avaliado, a partir do mesmo algoritmo “REPTree”, as condições

necessárias para que o índice de NDVI depois de 48 dias da queima pudesse ser maior ou igual a 0,23. Para tanto, a Figura 7 apresenta as condições para esta ocorrência.

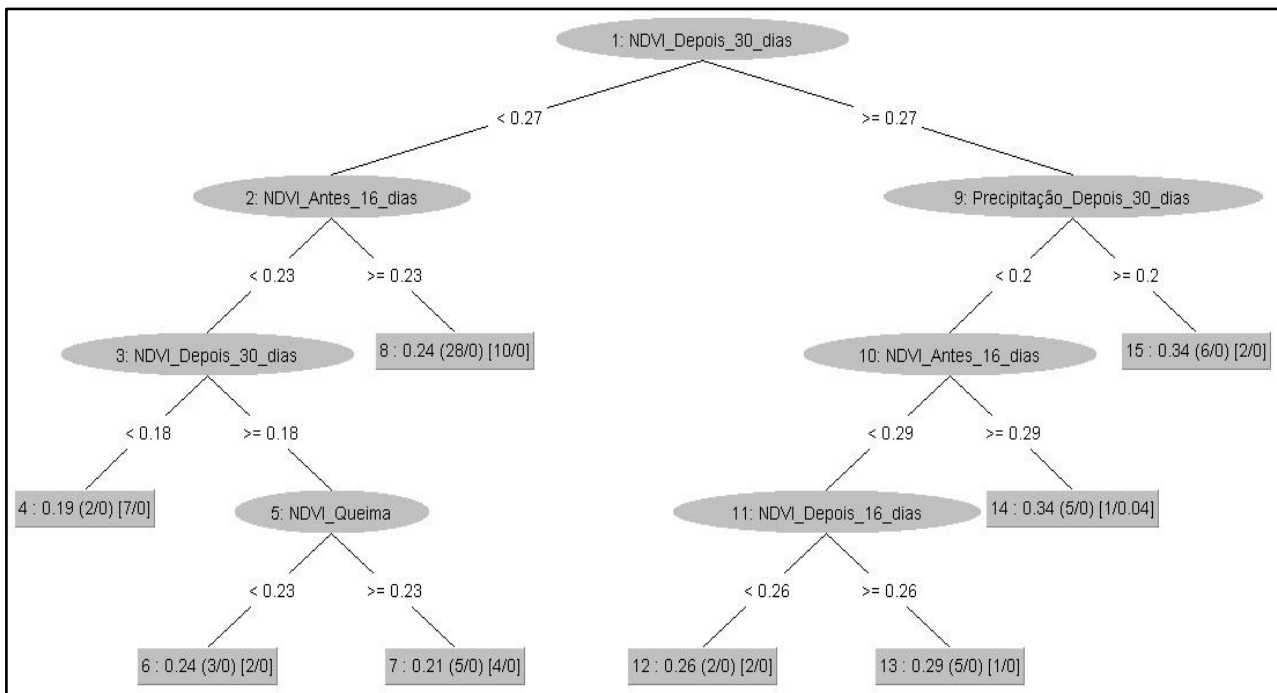


Figura 7. Árvore de decisão: Avaliação do NDVI 48 dias depois da queima.

A Figura 7, demonstra que os valores do NDVI após 48 dias depois da queima dependem expressivamente da precipitação local 30 dias depois do evento da queima, visto que a maioria das possibilidades para que o NDVI atinja o índice necessário para que ocorra a regeneração vegetal apresentam relação direta com a precipitação local.

A análise demonstrou um índice crítico de 0,27 para o NDVI 30 dias depois da queima. Em relação aos parâmetros: NDVI 30 dias após a queima e NDVI 48 dias depois da queima, apresentaram um coeficiente de correlação de 83,96%. A árvore também evidencia que todos os valores de NDVI dependentes da precipitação assumiram valores que possibilitaram a

regeneração, ressaltando a sua importância e quanto rápida é a resposta do bioma Caatinga à precipitação.

### Conclusões

De acordo com os dados obtidos a partir do cruzamento das imagens MODIS/TERRA (produtos MOD14A1, MOD13Q1 e MOD09GQ), arquivos vetoriais de focos de calor e a mineração de dados foi possível mapear e quantificar as áreas queimadas no período de 2015 a 2019 nos meses mais secos das mesorregiões do Sertão e São Francisco de Pernambuco.

Pôde-se analisar as relações existentes entre as unidades da paisagem afetadas pelo fogo e sua capacidade temporal de regeneração e/ou recuperação a partir da análise dos dados de índice NDVI e de precipitação.

O sensor MODIS apresenta uma limitação para a caracterização de áreas pequenas de queima, o que pode estar relacionado com a sua resolução espacial de 250 m, 500 m e 1.000 m. Além disso, a presença de nuvens ou ruídos na imagem podem interferir na identificação e estudo de algumas áreas.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo incentivo a pesquisa.

### Referências

Alves, L. E. R., 2019. Análise espaço-temporal da chuva e grau de secura via dados observacionais e produtos orbitais para a bacia hidrográfica do médio São Francisco. Dissertação (Mestrado). Maceió, Instituto de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas.

Araki, H., 2005. Fusão de Informações Espectrais, Altimétricas e de dados auxiliares na classificação de Imagens de Alta Resolução Espacial. Tese (Doutorado). Curitiba, Universidade Federal do Paraná.

Ba, R., Song, W., Li, X., Xie, Z., Lo, S., 2019. Integration of Multiple Spectral Indices and a Neural Network for Burned Area Mapping Based on MODIS Data. Remote Sensing [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs11030326>. Acesso: 06 abr. 2020.

Belenguer-Plomer, M. A., Tanasea, M. A., Fernandez-Carrillo, A., Chuvieco, E., 2019.

Burned area detection and mapping using Sentinel-1 backscatter coefficient and thermal anomalies. Remote Sensing of Environment [online] 233. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111345>. Acesso: 06 abr. 2020.

Bezerra, A. C., Silva, J. L. B., Silva, D. A. O., Batista, P. H. D., Pinheiro, L. C., Lopes, P. M. O., Moura, G. B. A., 2020. Monitoramento Espaço-Temporal da Detecção de Mudanças em Vegetação de Caatinga por Sensoriamento Remoto no Semiárido Brasileiro. Revista Brasileira de Geografia Física [online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p286-301>. Acesso: 08 abr. 2020.

Clemente, S. S., Oliveira Júnior, J. F., Louzada, M. A. P., 2017. Focos de calor na Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Meteorologia [online] 32. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0102-7786324014>. Acesso: 15 abr. 2020.

Fernandes, A. C. G., Coutinho, M. A. N., Santos, V. G., Nascimento, C. R., 2016. Utilização de intervalos de índices de vegetação e temperatura da superfície para detecção de queimadas. Caderno de Ciências Agrárias [online] 8. Disponível: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/2845>. Acesso: 08 abr. 2020.

Forkel, M., Dorigo, W., Lasslop, G., Teubner, I., Chuvieco, E., Thonicke, K., 2017. A data-driven approach to identify controls on global fire activity from satellite and climate observations (SOFIA V1). Geoscientific Model Development [online] 10. Disponível: <https://doi.org/10.5194/gmd-10-4443-2017>. Acesso: 08 abr. 2020.

Franco, M. G., Mundo, I. A., Veblen, T. T., 2020. Field-validated burn-severity mapping in north Patagonian forests. Remote Sensing [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs12020214>. Acesso: 05 dez. 2020.

Freitas, E. V., 2010. Queimadas no Brasil: Causa Real nas Rodovias. 25 Folhas. Pesquisa Voluntária. Itabira. Disponível: [http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/material3os/queimadas\\_ed\\_viana.pdf](http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/material3os/queimadas_ed_viana.pdf). Acesso: 05 jun. 2020.

Gomes, D. T., Sakamoto, M. S., Silva, A. E. F., 2020. Avaliação da Distribuição de Focos de

- Calor às Margens de Rodovias Federais no Estado do Ceará/Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* [online] 35. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0102-7786353008>. Acesso: 08 dez. 2020.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Cidades e Estados. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso: 20 mar. 2020.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. Normas climatológicas do Brasil 1961-1990, Edição revista e ampliada. Ed. Letra livre, Brasília.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019. Programa Queimadas: Sistemas de Monitoramento. Disponível: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso: 30 out. 2019.
- Jia, X., Gao, Y., Wei, B., Wang, S., Tang, G., Zhao, Z., 2019. Risk Assessment and Regionalization of Fire Disaster Based on Analytic Hierarchy Process and MODIS Data: A Case Study of Inner Mongolia, China. *Sustainability* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.3390/su11226263>. Acesso: 04 dez. 2020.
- Kumari, P., Kapur, S., Garg, V., Kumar, K., 2020. Effect of Surface Temperature on Energy Consumption in a Calibrated Building: A Case Study of Delhi. *Climate* [online] 8. Disponível: <https://doi.org/10.3390/cli8060071>. Acesso: 05 dez. 2020.
- Leal, F. A., Souza, C. M., Leal, G. S. A., Miguel, E. P., 2019. Utilização do NDVI na análise da vegetação após ocorrência de incêndio. *Nativa* [online] 7. Disponível: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i2.6664>. Acesso: 08 dez. 2020.
- Lotufo, J. B. S., Machado, N. G., Taques, L. M., Mützenber, D. M. S., Neto, N. L., Biudes, M. S., 2020. Índices Espectrais e Temperatura de Superfície em Áreas Queimadas no Parque Estadual do Araguaia em Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p648-663>. Acesso: 05 dez. 2020.
- Marques, R. J., Costa Sobrinho, W. F. R., 2020. Detecção das Ocorrências de Focos de Queimadas e Produção de Mapas de Calor em Timon, MA. *Revista Geonorte* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.21170/geonorte.2020.V.11.N.37.210.228>. Acesso: 03 dez. 2020.
- Melo, D. F., Soares, J. A. B., Vieira, K. P. M., Giongo, P. R., Gomes, L. F., Cunha, F. N., Lopes Sobrinho, O. P., 2020. Análise espaço-temporal de focos de queimadas no Município de Santa Helena de Goiás. *Research, Society and Development* [online] 9. Disponível: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4068>. Acesso: 08 dez. 2020.
- Mendes, O. R., Danelichen, V. H. M., Pereira, O. A. 2019. Avaliação da temperatura da superfície no Pantanal Mato-grossense por Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.5.p1784-1793>. Acesso: 19 mar. 2020.
- Monteiro, J. B., Rocha, A. B., Zanella, M. E., 2012. Técnica dos quantis para caracterização de anos secos e chuvosos (1980-2009). *Revista do Departamento de Geografia* [online] 23. Disponível: <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0023.0010>. Acesso: 12 mai. 2020.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration, 2020. MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer): About. Disponível: <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>. Acesso: 06 mai. 2020.
- Nobrega, R. S., Farias, R. F. L., 2016. Eventos Extremos Pluviais em Jaboatão dos Guararapes: Climatologia e Estudo de Caso. *Revista do Departamento de Geografia* [online] Volume Especial. Disponível: <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.119635>. Acesso: 18 fev. 2020.
- Oliveira, T. M. D., 2019. Monitoramento dos focos de calor e do risco de incêndios florestais no município de Ituiutaba-MG. *Dissertação (Mestrado)*. Ituiutaba, Universidade Federal de Uberlândia.
- Oliveira Júnior, J. G., Nascimento, C. R., Lopes, P. M. O., Moura, G. B. A., Silva, L. C., 2019. Caracterização de Cicatrizes de Queimadas na Mesorregião do Sertão Pernambucano a partir de Imagens de Satélites. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia* [online] 16. Disponível: [https://doi.org/10.18677/EnciBio\\_2019A35](https://doi.org/10.18677/EnciBio_2019A35). Acesso: 18 fev. 2020.

- Pereira, A. A., Teixeira, F. R., Libonati, R., Melchiori, E. A., Carvalho, L. M. T., 2016. Avaliação de Índices Espectrais para Identificação de Áreas Queimadas no Cerrado Utilizando Dados Landsat TM. *Revista Brasileira de Cartografia* [online] 68. Disponível: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasi-leiracartografia/article/view/44386>. Acesso: 08 abr. 2020.
- Phan, V. H., Dinh, V. T., Su, Z., 2020. Trends in Long-Term Drought Changes in the Mekong River Delta of Vietnam. *Remote Sensing* [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs12182974>. Acesso: 02 dez. 2020.
- Pio, F. P. B., Vieira, E. M., 2020. Determinação das Áreas Atingidas por Queimadas em Bacias Hidrográficas por meio do Índice De Queimada (NBR), Estudo de Caso da Bacia do Rio Piracicaba-MG. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p087-101>. Acesso: 03 dez. 2020.
- Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium.*, v. 1, p. 48-62. 1974.
- Santos, B. A., Oliveira, M. D. S., Silva, P. N., Santos, J. G. M., Mattos, E. V., Reboita, M. S., 2020. Distribuição Espaço-Temporal dos Focos de Calor no Estado de Minas Gerais. *Anuário do Instituto de Geociências* [online] 42. Disponível: [https://doi.org/10.11137/2019\\_3\\_64\\_84](https://doi.org/10.11137/2019_3_64_84). Acesso: 08 dez. 2020.
- Shimabukuro, Y. E., Dutra, A. C., Arai, E., Duarte, V., Cassol, H. L. G., Pereira, G., Cardozo, F. S., 2020. Mapping Burned Areas of Mato Grosso State Brazilian Amazon Using Multisensor Datasets. *Remote Sensing* [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs12223827>. Acesso: 03 dez. 2020.
- Silva, R. G., Juvanhol, R. S., Santos, A. R., 2020. Mapeamento de Fragmentos Florestais por meio de Técnica de Mineração de Dados. *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos, SP, Brasil, 19.
- Silva, J. L. B., Moura, G. B. A., Lopes, P. M. O., Silva, E. F. F., Ortiz, P. F. S., Silva, D. A. O., Silva, M. V., Guedes, R. V. S., 2020. Spatial-Temporal Monitoring of the Risk of Environmental Degradation and Desertification by Remote Sensing in a Brazilian Semiarid Region. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p544-563>. Acesso: 19 mai. 2020.
- Silva, A. L. R., Costa, V. R. M., Ferreira, G. B., Castro, E. J. M., Coelho, A. C., Macedo, A. O., Talhari, T. F., Sousa, F. M., Bezerra, D. S., 2020. Análise dos padrões dos focos de queimadas por biomas do estado do Maranhão. *Brazilian Journal of Development* [online] 6. Disponível: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-080>. Acesso: 15 mai. 2020.
- Souza, K. B., Silva, J. B. L., Matias, S. S. R., Almeida, K. N. S., Lisboa, G. S., Ratke, R. F., 2019. Mudança no uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Preto, Piauí. *Brazilian Journal of Development* [online] 5. Disponível: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n11-211>. Acesso: 03 dez. 2020.
- Stefanidou, A., Gitas, I. Z., Stavrakoudis, D., Eftychidis, G., 2019. Midterm Fire Danger Prediction Using Satellite Imagery and Auxiliary Thematic Layers. *Remote Sensing* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs11232786>. Acesso: 04 dez. 2020.
- Stroppiana D., Azar R., Calò F., Pepe A., Imperatore P., Boschetti M., Silva J., Brivio P.A., Lanari R. 2015. Integration of optical and SAR data for burned area mapping in Mediterranean Regions *Remote Sensing*, 7, p. 1320-1345. DOI: 10.3390/rs70201320.
- Terassi, P. M. B., Júnior, J. F. O., Galvani, E., Gois, G., 2018. Frequência e Intensidade Pluviométrica na Região Norte do Estado do Paraná, Brasil. *Revista do Departamento de Geografia* [online] 35. Disponível: <https://doi.org/10.11606/rdg.v35i0.134610>. Acesso: 10 dez. 2019.
- University of Waikato, 2020. Weka 3.8 – Machine Learning Software in Java. Disponível: [https://waikato.github.io/weka-wiki/downloading\\_weka/](https://waikato.github.io/weka-wiki/downloading_weka/). Acesso: 20 mar. 2020.

- Vermote, E. F., Roger J. C., Ray, J. P., 2015. MODIS Surface Reflectance User's Guide - MODIS Land Surface Reflectance Science Computing Facility, v. 1.4.
- Wang, S., Li, J., Zhang, B., Lee, Z., Spyrakos, E., Feng, L., Liu, C., Zhao, H., Wu, Y., Zhu, L., Jia, L., Wan, W., Zhang, F., Shen, S., Tyler, A. N., Zhang, X., 2020. Changes of water clarity in large lakes and reservoirs across China observed from long-term MODIS. *Remote Sensing of Environment* [online] 247. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111949>. Acesso: 02 dez. 2020.
- Xaud, H. A. M., 2013. *Abordagem Multisensor Aplicada ao Monitoramento de Florestas Tropicais atingidas por Incêndios em Roraima*. Tese (Doutorado). São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Yin, S., 2020. Biomass burning spatiotemporal variations over South and Southeast Asia. *Environment International* [online] 145. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106153>. Acesso: 04 dez. 2020.