



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Influência de eventos climáticos extremos na ocorrência de queimadas e no poder de regeneração vegetal

José Rafael Ferreira de Gouveia¹, Cristina Rodrigues Nascimento², Hortência Cristina da Silva³, Geber Barbosa de Albuquerque Moura⁴, Fabrício Marcos Oliveira Lopes⁴

¹ Graduado 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). ² 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. ³ Graduanda 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: cris.hort@gmail.com. ⁴ 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.

RESUMO

O fogo é uma ferramenta milenar utilizada pelo homem no meio agrícola. Contudo, essa prática pode causar infortúnios pela destruição da fauna e flora local, principalmente se ocorrido em regiões de clima semiárido e baixa pluviosidade. O objetivo deste artigo foi de verificar as dinâmicas das cicatrizes de queimadas, baseado nas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto; além da influência de fenômenos climáticos extremos e da temperatura do ar para as queimadas nas mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano. Utilizou-se os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a análise climática e definição dos meses mais secos do ano. Aplicaram-se os dados do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO) para obtenção da temperatura do ar máxima diária. Usou-se os dados do National Weather Service (NOAA) para verificação do El Niño e La Niña. As imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) foram utilizadas para a caracterização das queimadas e também o acompanhamento do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Os meses mais secos do ano são de agosto a novembro, os mais suscetíveis às queimadas e que apenas a temperatura do ar não influencia diretamente nessas situações. O El Niño acarreta em um aumento nesses episódios no mês de novembro, na La Niña, essas ocorrências são mais evidentes nos meses de outubro. Dessa forma, baseado nos artifícios mencionados, verificou-se a interferência dos fenômenos climáticos extremos e da temperatura do ar máxima na ocorrência das queimadas, além da sua caracterização a partir das imagens de satélites e mineração de dados.

Palavras-Chave: temperatura do ar, fenômenos climáticos, focos de calor, NDVI.

Influence of extreme weather events on the occurrence of fires and the power of plant regeneration

ABSTRACT

Fire is an ancient tool used by man in agriculture. However, this practice can cause misfortunes due to the destruction of the local fauna and flora, especially if it occurs in regions with a semi-arid climate and low rainfall. The objective of this article was to verify the dynamics of the scars caused by fires, based on geoprocessing and remote sensing techniques; in addition to the influence of extreme weather phenomena and air temperature for fires in the Sertão and São Francisco Pernambucano mesoregions. Data from the Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) were used for climate analysis and definition of the driest months of the year. Data from the Agrometeorological Monitoring System (AGRITEMPO) were applied to obtain the maximum daily air temperature. National Weather Service (NOAA) data was used to verify El Niño and La Niña. Images from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor were used to characterize the fires and also monitor the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The driest months of the year are from August to November, the most susceptible to fires and that only the air temperature does not directly influence these situations. El Niño causes an increase in these episodes in the month of November, in La Niña, these occurrences are more evident in the months of October. Thus, based on the aforementioned devices, the interference of extreme weather phenomena and the maximum air temperature in the occurrence of fires was verified, in addition to their characterization from satellite images and data mining.

Keywords: air temperature, weather phenomena, hot spots, NDVI.

Introdução

O uso do fogo é uma prática milenar na agricultura em algumas culturas e regiões. No Brasil é utilizado em alguns locais como ferramenta de trabalho, segundo Silva (2020) e Silva (2023), o fogo é um dos mais antigos instrumentos utilizados pelo homem para manejo e ocupação de terras, por ser uma ferramenta acessível e célere na eliminação do material vegetal indesejável, no preparo do solo para cultivo e pastagem. Porém, esta prática pode causar bastante prejuízo ao meio ambiente e a atmosfera terrestre, como a destruição da fauna e flora, aumento dos processos erosivos; além de afetar as características do solo, causando danos às propriedades físicas, químicas e biológicas dele, destacando os prejuízos na fauna edáfica (organismos que vivem no solo), sobretudo a microfauna, responsável por serviços ecossistêmicos fundamentais para a fertilidade do solo, além da perda da matéria orgânica do solo (Silva, 2023).

Um elemento que intensifica o problema das queimadas é o uso do fogo em áreas antropizadas, onde é empregado para o desmatamento ilegal da vegetação nativa e da criação de pastagens, o que muitas vezes leva a situações de difícil controle que afetam grandes áreas de terra (Libonati et al. 2021). Além disso, estes incêndios podem ser desencadeados por condições climáticas específicas, como secas prolongadas e ventos fortes. Consequentemente, de acordo com Gouveia et al. (2022), devido a predominância do bioma Caatinga, ao clima semiárido e baixas ocorrências pluviométricas, fatores que favorecem a incidência de queimadas; as mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano apresentam uma alta vulnerabilidade à ocorrência de incêndios.

Segundo Rodrigues et al. (2022), as mudanças climáticas têm levado os ambientes naturais a instabilidades relacionadas ao aumento ou intensificação do número de queimadas, visto que essa apresenta relação direta com o regime hídrico associado à seca duradoura. Bolwerk & Ertzogue (2021) destacam que é na época de maior seca que se observa um acréscimo nos acontecimentos de focos de calor. Conjuntamente, os eventos severos de El Niño, que provocam extensa seca, têm demonstrado correspondência na disseminação das queimadas (Barni et al., 2021). Para Gomes et al. (2020) e Hoki et al. (2021), as queimadas exibem uma relação indireta com a temperatura do ar em virtude da quantidade de calor necessária para a ignição desses eventos. Isso

porque em locais onde a temperatura do ar é elevada há o aquecimento também do material combustível, onde menos calor será o suficiente para a ignição, além de provocar a diminuição da precipitação local e assim aumentando os riscos de seca e queimadas.

As geotecnologias permitem a espacialização e o monitoramento da dinâmica de propagação dos incêndios, podendo ser integradas a produtos cartográficos que facilitem a análise dos eventos de queimadas. Permitindo o monitoramento e o mapeamento essenciais para a implementação de um plano de manejo destinado à recuperação das áreas atingidas (Pirajá et al., 2022). De acordo com Lizundia-Loiola et al. (2020) e Silva Junior et al. (2021), o sensoriamento remoto tem sido utilizado para gerenciar as fases da dinâmica de uma queima, com o objetivo de detectar o comportamento do fogo e analisar a recuperação da vegetação do local afetado, além de estimar as condições de perigo. Dessa forma, os dados de sensores remotos possibilitam a observação de maneira contínua e repetitiva de várias regiões, principalmente as de difícil acesso, permitindo detectar e analisar a dinâmica da ocorrência de queimadas nessas áreas (Reis et al. 2019). Essas análises são possíveis através da utilização das imagens de satélites, que são um dos produtos mais populares do sensoriamento remoto (Teixeira et al., 2021).

No Brasil, estão disponíveis tecnologias que permitem o monitoramento e controle de focos de calor por meio de plataformas de dados gerados por sensores remotos a bordo de satélites. Um exemplo notável é o Banco de Queimadas (BDQ), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e em colaboração com o *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Esta plataforma tem desempenhado um papel fundamental na prevenção e redução dos impactos ambientais dos incêndios e queimadas florestais, além de ter contribuído significativamente para importantes investigações nesta área (Siqueira e Carvalho, 2022). De acordo com Corrêa e Dias (2023), os focos de calor são pontos geográficos detectados pelos satélites que consistem em área mínima de 900 m² cuja temperatura é maior que 47 °C. Esses focos são obtidos pelo INPE a partir de satélites de órbita polar e geoestacionários, gerando, respectivamente, dois imageamentos por dia, e algumas imagens por hora, sendo processado mais de 200 imagens por dia, especificamente para detectar focos de queima da vegetação (INPE, 2023).

As imagens de satélites são resultado da interação entre a radiação eletromagnética e os objetos dispostos na face da terra (Simioni, 2021). Conforme Santori (2022), é possível analisar o poder de refletância de um alvo, como a vegetação, solo exposto e água que possuem características particulares em suas propriedades. Isso condiciona suas respostas espectrais e ao analisar o fator de refletância dos alvos, seria possível ler suas assinaturas espectrais. Os índices espectrais demonstram-se adequados para detectar mudanças nos sinais radiométricos de superfícies em aplicações operacionais. Nas últimas décadas, foi desenvolvida uma grande variedade de índices para detecção de áreas queimadas, devido ao desenvolvimento dos satélites de observação em transportar sensores com maior sensibilidade espectral possível (Silva Junior e Pacheco, 2022).

A vegetação possui uma assinatura espectral específica quando comparada com os outros elementos terrestres. Através do processamento das imagens de sensores, é possível obter o comportamento espectral da vegetação a partir da utilização de técnicas de processamento de imagens conhecidas como Índices de Vegetação. Estes índices têm como objetivo explorar o realce de cenas com diferentes densidades de biomassa vegetal, permitindo uma melhor exploração da área (Meneses et al., 2019; Silva Junior et al., 2021; Caetano et al., 2022).

De forma notável, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) tem desempenhado um papel fundamental na monitorização da vegetação desde a sua proposta em 1974 por Rouse et al. Praticamente todos os satélites de observação da Terra estão equipados com sensores capazes de calcular este índice em várias resoluções espaciais e temporais. Como resultado, o NDVI estabeleceu-se como um indicador líder para a investigação relacionada com a vegetação devido às suas séries de dados de longo prazo, bem como à sua simplicidade e facilidade de aplicação (Xu et al., 2022). O NDVI é calculado como a diferença entre a emissão e a reflexão de dois comprimentos de onda específicos do espectro eletromagnético: o infravermelho próximo (0,725-1,1 μm) e o vermelho (0,58-0,68 μm). Seu resultado varia em uma escala que vai de -1 a 1 (AGRIEXPO, 2021; Lajús et al., 2023). Na aplicação de áreas cobertas por vegetação, este índice geralmente exibe variações, tendendo a assumir valores positivos elevados, ou seja, quanto mais próximo de 1, maior será a densidade de cobertura vegetal, ao passo que quanto menor a abundância de vegetação, menor será o valor do índice (Polonio, 2015; Macedo et al., 2020).

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) está a bordo das plataformas TERRA e AQUA, é um dispositivo desenvolvido pela NASA, projetado para operar em 36 bandas espectrais com comprimentos de onda que variam de 0,4 a 14,4 μm e uma resolução espacial que varia de 250 a 1000 m. Devido à sua ampla faixa de comprimentos de onda, o MODIS é capaz de monitorar uma grande variedade de indicadores essenciais da Terra, incluindo a cobertura de nuvens, a atividade fotossintética de plantas terrestres e marinhas, bem como a extensão da cobertura de neve e gelo (NASA, 2023).

Dentre os produtos disponíveis pelo MODIS, o MOD14A1, apresenta dados orbitais referentes aos produtos de anomalias termais/fogo. Possui resolução temporal diária e resolução espacial de 1000 m, com alto grau de confiabilidade, este produto considera que as áreas acometidas por focos de calor representam a ocorrência de queimadas e/ou incêndios florestais (Chaves et al., 2021). O produto MOD13Q1 possui resolução de 16 dias e 250 m, disponibiliza imagens baseadas nos valores de NDVI e EVI, é um produto usado para análise temporal e mapeamento do comportamento da vegetação durante uma série temporal (Dhillon et al., 2023). Os produtos MOD09GQ com resolução temporal diária e espacial de 250 m, e o produto MOD09Q1 com resolução de 8 dias e 250 m, ambas dispõem da refletância de superfície nas regiões do vermelho e infravermelho próximo, fornece uma estimativa da reflectância espectral da superfície terrestre, como seria medida ao nível do solo na ausência de dispersão ou absorção atmosférica. São usados em várias aplicações, incluindo previsão de rendimento das culturas, monitoramento da vegetação, análise da qualidade do ar e muito mais, a partir do cálculo de índices de vegetação (NASA, 2023).

O *Google Earth Engine* (GEE) é uma plataforma de computação que permite aos usuários, através da obtenção das imagens de satélites, executar análises geoespaciais na infraestrutura do GEE (Brexó et al., 2023). O GEE permite aos usuários implantar algoritmos em seu formato online, usar supercomputadores para realizar cálculos em dados massivos, produzir produtos globais de reconstrução de índices de vegetação e automaticamente mapear a cobertura do solo (Kong et al., 2019; Chen et al., 2021; Xu et al., 2022).

Considerando este contexto, o artigo tem como objetivo analisar as dinâmicas das cicatrizes de queimadas de forma operacional com base nas ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto através da implementação de *script* no GEE

e utilização de imagens do satélite MODIS/TERRA, nas mesorregiões Sertão e São Francisco Pernambucano, na série de 2010 a 2021 no período mais seco do ano, ou seja, nos meses de agosto a novembro, bem como verificar a influência dos fenômenos climáticos extremos e da temperatura do ar para a ocorrência das queimadas.

Material e métodos

A pesquisa foi realizada nas mesorregiões Sertão e São Francisco Pernambucano (Figura 1).

As mesorregiões do Sertão e São Francisco possuem 41 e 15 municípios, abrangendo 37.871 km² e 24.483 km², respectivamente, e são formadas pelas microrregiões: Itaparica, Petrolina, Araripina, Pajeú, Moxotó e Salgueiro. Juntas correspondem a aproximadamente 64% da área do estado de Pernambuco (IBGE, 2022). Ambas as mesorregiões apresentam o bioma Caatinga, clima semiárido e precipitação média anual inferior a 700 mm (Cerqueira et al., 2020; Gouveia e Nascimento, 2022b).

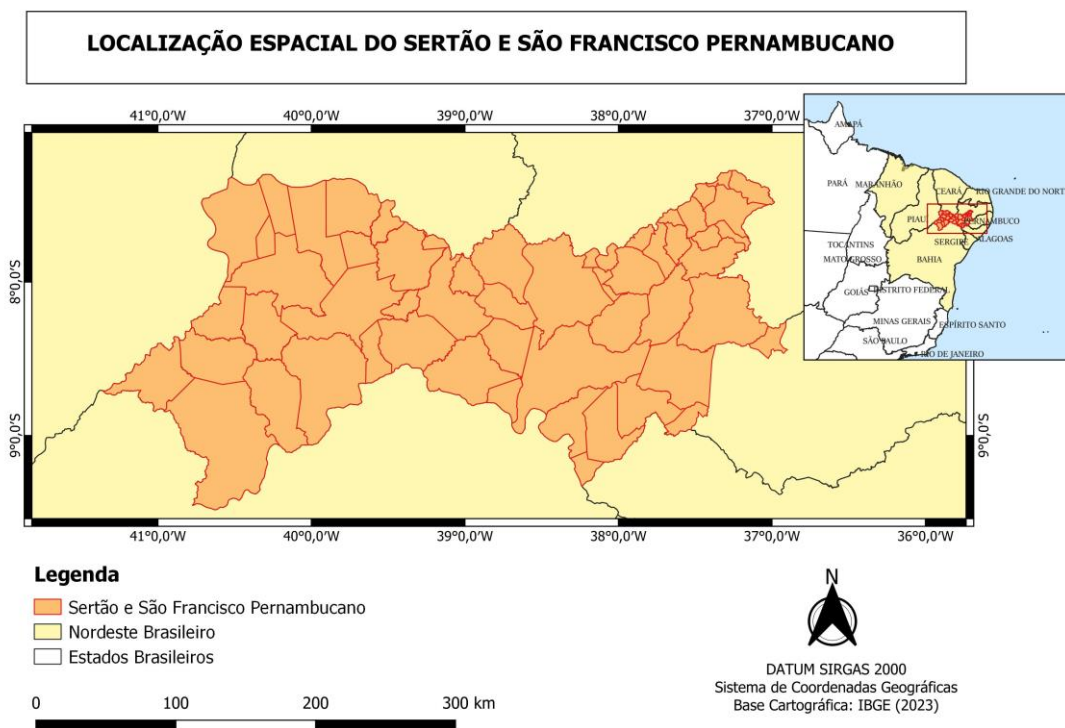


Figura 1. Localização espacial das mesorregiões Sertão e São Francisco Pernambucano.

Em virtude da inexistência de dados de trinta anos consecutivos provenientes de estações meteorológicas nos períodos mais atuais de modo a abranger significativamente as mesorregiões de estudo, a análise climática foi baseada em uma série mensal de vinte e um anos de dados (2001–2021), onde foram utilizadas as normais climatológicas do total de precipitação anual, dos municípios: Ouricuri, Salgueiro, Serra Talhada, Custódia, Arcoverde, Petrolina, Santa Maria da Boa Vista, Cabrobó, Floresta e Tacaratu; a partir dos dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2022) e Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO) (2022a). Foi aplicada a série de precipitação total anual, a análise da técnica de Quantis, de acordo com metodologia utilizada por Monteiro et al. (2012). 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 a condição $\text{Prob}(X \leq Q_p) = p$.

Para cada valor observado X_0 da chuva, o número $(0 < p_0 < 1)$ tal que: $F(X_0) = p_0$, diz-se de ordem quantílica p_0 , 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 Quantis respectivos são designados quartis, onde $Q_{0,25}$, $Q_{0,50}$ e $Q_{0,75}$ são o quartil inferior, à mediana, e o quartil superior, respectivamente.

No projeto 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 2010 a 2021, tomando como referência os municípios acima relacionados de modo a caracterizar o ano em uma das três classes resultantes da análise de *Quantis*. De posse dos valores do NDVI conforme destacado abaixo, foram obtidos os dados de precipitação local para os dias correspondentes aos das imagens de satélite a fim de definir uma relação entre o índice e a precipitação local para a regeneração e/ou recuperação vegetal. Todos os dados pluviométricos, para ambas análises, foram obtidos do INMET (2022) e AGRITEMPO (2022a).

Em seguida a quantificação da ocorrência de focos de calor, foram captados os dados de temperatura do ar máxima diária segundo os meses e municípios afetados pelas queimadas, no período de estudo, com o intuito de verificar a associação entre tais variáveis. Os dados utilizados foram obtidos do AGRITEMPO (2022b).

Concomitantemente, foi realizada a verificação da ocorrência dos eventos climáticos El Niño e La Niña, a fim de avaliar a relação entre as queimadas e esses fenômenos climáticos extremos. Para tal definição foi utilizada a metodologia proposta pelo *National Weather Service* (NOAA) (2012), onde o El Niño é caracterizado quando a temperatura média da superfície do mar Pacífico Equatorial Central e Centro-Leste ultrapassar $0,5^\circ\text{C}$ em 3 meses sucessivos, conforme os dados disponibilizados por NOAA (2022), na Região de Anomalias Niño 3.4. A La Niña refere-se ao resfriamento do referido mar. Desse modo, será El Niño quando o Índice Niño Oceânico (ONI) for superior a $+0,5^\circ\text{C}$ de acordo com a média dos valores de 3 meses ininterruptos e La Niña quando o ONI for menor do que $-0,5^\circ\text{C}$ (Oliveira, J. et al., 2020). Entre $-0,5^\circ\text{C}$ e $+0,5^\circ\text{C}$ haverá El Niño – Oscilação Sul (ENOS) Neutro. As intensidades do El Niño e La Niña também podem ser (para valores

positivos ou negativos do ONI): Fraco de $0,5$ a 1°C ; Moderado de 1 a $1,5^\circ\text{C}$; Forte de $1,5$ a 2°C ; Muito Forte acima de 2°C . Os meses selecionados para essa análise foram os de dezembro (ano anterior ao de definição) a fevereiro (ano de caracterização do fenômeno), entre os anos de 2009 a 2021, em função da maior intensidade do El Niño e La Niña nesse período de meses causado pela temperatura normalmente mais elevada do mar do Pacífico Equatorial.

Em seguida, com base nas informações adquiridas através do Banco de Dados de Queimadas – BDQ do INPE, foi determinada e identificada a ocorrência mensal dos focos de calor.

Para a análise das cicatrizes deixadas por queimadas e o estudo da dinâmica de regeneração e/ou recuperação da vegetação, foram adquiridas imagens provenientes do sensor MODIS/TERRA. Os produtos utilizados incluíram o MOD14A1, que foi empregado para mapear a localização geoespacial das queimadas, em conjunto com os dados vetoriais de focos de calor fornecidos pelo INPE. Além disso, o produto MOD09GQ foi utilizado para avaliar o comportamento da vegetação no dia da queima, utilizando a refletância da superfície e o cálculo do índice de vegetação NDVI (de acordo com a Equação 1).

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

Onde:

ρ_{NIR} = Refletância da banda do infravermelho próximo;

ρ_{RED} = Refletância da banda do vermelho.

Para a análise da dinâmica do NDVI, tanto nos 16 dias anteriores à queima quanto nos 32 e 48 dias posteriores à queima, foi empregado o produto MOD13Q1, que consistiu em uma sequência de três imagens. Isso possibilitou a avaliação da capacidade de regeneração e/ou recuperação da vegetação na região, ao mesmo tempo em que se observou como o bioma Caatinga respondeu aos padrões de precipitação.

Por fim, as imagens do produto MOD09Q1 foram utilizadas no *Google Earth Engine* (GEE) para identificar áreas com potencial de regeneração e/ou recuperação vegetal, com base na análise do NDVI.

As imagens do MODIS utilizadas nesta pesquisa foram adquiridas de forma gratuita através do site da *United States Geological Survey* (USGS) e pertencem aos tiles h13v09 e h14v09. Para conversão do formato das imagens de *HDF-EOS para *GeoTiff, utilizou-se o software *Modis Reprojection Tool* (MRT). Posteriormente, as

imagens foram processadas no software ENVI 5.3 para o desenvolvimento de mosaicos e análise da área de estudo.

Foi aplicada a técnica de árvores de decisão com base nos dados de NDVI e precipitação local nos períodos pré-queima, durante a queima e pós-queima. Para tanto, utilizou-se o algoritmo "REPTree" disponível no software *Waikato Environment for Knowledge Analysis* (WEKA), versão 3.9.2. Através desse algoritmo, buscou-se analisar os padrões e correlações entre o NDVI, a precipitação e o processo de regeneração e/ou recuperação vegetal nas áreas de estudo após serem afetadas pelo fogo.

Com a utilização da técnica de mineração de dados com o algoritmo "REPTree", obteve-se as árvores de decisão e por consequência a dinâmica do índice NDVI e da precipitação local para a regeneração vegetal e/ou recuperação vegetal.

Na plataforma *Google Earth Engine* (GEE), com a utilização das imagens do sensor MODIS/TERRA, especificamente o produto MOD09Q1. Essas imagens foram filtradas de acordo com os padrões identificados nas árvores de decisão. Foi implementado um script que, com base nas informações obtidas das árvores de decisão, possibilitasse a classificação das áreas com potencial de regeneração e/ou recuperação vegetal.

O GEE consegue fornecer dados tanto climáticos quanto geofísicos de praticamente todas

as regiões do mundo, com uma grande variação temporal disponível entre as informações, podendo ser utilizado como um método de comparação nas mudanças ocorridas ao longo dos anos. Com a obtenção e processamento de imagens de média resolução, são possíveis várias possibilidades, como o mapeamento do uso e cobertura do solo (Brexó et al., 2023).

Resultados e discussão

A análise da série temporal de 2001 a 2021 das Normais Climatológicas em dez municípios nas mesorregiões do Sertão e São Francisco de Pernambuco foi utilizada para caracterizar o período mais seco do ano, portanto, conforme Jesus et al. (2020) e Silva Junior e Pacheco (2021), aquele mais passível à ocorrência de focos de calor em razão da menor intensidade de precipitação média mensal local e das particularidades intrínsecas da vegetação do bioma Caatinga. A Tabela 1 destaca a análise climática em 21 anos consecutivos dos municípios selecionados, de modo que o resultado fosse representativo da totalidade das mesorregiões de estudo.

Em virtude de tal verificação, pôde-se constatar que os meses mais secos do ano são de agosto a novembro no Sertão e São Francisco Pernambucano, em contrapartida, os mais chuvosos são de janeiro a abril, corroborando o que foi observado por Gouveia et al. (2021).

Tabela 1. Precipitação média mensal nos municípios averiguados entre os anos de 2001 a 2021.

Municípios	Normal Climatológica da Precipitação (2001 - 2021)												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
Ouricuri	112,5	114,2	114,2	75,9	35,6	8,8	9,4	2,2	0,9	13,1	34,0	88,1	608,7
Salgueiro	117,5	131,3	112,1	62,4	24,5	5,6	9,0	1,2	2,8	13,2	31,5	68,9	580,0
Serra Talhada	144,5	144,6	155,6	86,2	39,8	13,1	11,3	2,2	2,2	15,0	29,2	67,1	710,6
Custódia	111,9	134,5	139,5	71,0	36,5	14,9	10,1	2,7	3,2	18,1	26,1	74,8	643,4
Arcoverde	75,0	69,2	112,8	85,0	80,7	73,2	55,0	33,1	11,8	14,8	23,6	37,5	671,7
Petrolina	88,9	89,3	83,9	68,0	11,8	8,3	3,7	1,5	2,7	15,8	30,6	63,2	467,7
Santa Maria da Boa Vista	105,5	86,6	98,8	56,2	22,6	4,3	4,0	2,7	4,0	15,0	37,8	83,3	520,6
Cabrobó	85,1	97,0	112,3	56,0	30,8	6,5	9,2	4,2	2,0	12,6	32,6	62,4	510,6
Floresta	94,9	102,2	88,9	61,7	28,8	17,7	27,5	12,7	14,2	25,8	31,7	67,5	573,8
Tacaratu	104,4	126,6	133,0	64,5	28,2	14,1	27,0	17,9	16,5	34,7	39,2	87,4	693,5

Com o intuito de distinguir os anos dos municípios analisados anteriormente como "SECO", "NORMAL" ou "CHUVOSO", empregou-se a técnica de *Quantis* com fundamento nos dados de precipitação média anual exibidos na Tabela 1 referentes às Normais Climatológicas. Para Spinelli et al. (2020), Pereira et al. (2021),

Silva et al. (2022) e Tórnio e Kede (2023), a estatística auxilia como uma importante ferramenta para o estudo climático e apreciação dos diferentes tipos de tempo em um certo lugar, o que resulta no conhecimento da influência desses elementos no bioma local. E dentre as técnicas estatísticas, a de *Quantis*.

Sendo assim, foram utilizados os *Quantis* correspondentes a 0,33 e 0,66, o que resulta nas faixas de precipitação de: menor ou igual a 548,7 mm para os anos “SECOS”; acima de 548,7 mm e abaixo de 629,7 mm para os anos “NORMAIS”; e os “CHUVOSOS” com precipitação superior a 629,7 mm e inferior a 710,6 mm. Deste modo, são exibidos na Tabela 2 a categorização dos

municípios observados, em relação às divisões supracitadas. Evidencia-se que no período estudado apenas o ano de 2012 foi classificado como “SECO” em todos os municípios estudados, os outros anos se exibiram como “CHUVOSO” (com chuvas além do esperado) ou “NORMAL” (com chuvas dentro do previsto).

Tabela 2. Categorização dos municípios segundo a técnica de *Quantis* da série temporal de 2010 a 2021.

Municípios	Anos					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ouricuri	CHUVOSO	CHUVOSO	SECO	NORMAL	CHUVOSO	CHUVOSO
Salgueiro	CHUVOSO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	SECO	SECO
Serra Talhada	CHUVOSO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	NORMAL	SECO
Custódia	CHUVOSO	CHUVOSO	SECO	NORMAL	NORMAL	SECO
Arcoverde	CHUVOSO	CHUVOSO	SECO	NORMAL	SECO	NORMAL
Petrolina	SECO	SECO	SECO	SECO	CHUVOSO	NORMAL
Santa Maria da Boa Vista	NORMAL	NORMAL	SECO	SECO	SECO	SECO
Cabrobó	SECO	NORMAL	SECO	SECO	SECO	SECO
Floresta	CHUVOSO	NORMAL	SECO	SECO	CHUVOSO	SECO
Tacaratu	CHUVOSO	CHUVOSO	SECO	SECO	CHUVOSO	SECO

Municípios	Anos					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ouricuri	SECO	SECO	NORMAL	SECO	NORMAL	NORMAL
Salgueiro	SECO	SECO	NORMAL	SECO	CHUVOSO	NORMAL
Serra Talhada	SECO	NORMAL	CHUVOSO	NORMAL	CHUVOSO	CHUVOSO
Custódia	SECO	SECO	SECO	SECO	CHUVOSO	CHUVOSO
Arcoverde	CHUVOSO	SECO	SECO	SECO	CHUVOSO	SECO
Petrolina	SECO	SECO	SECO	SECO	CHUVOSO	CHUVOSO
Santa Maria da Boa Vista	SECO	SECO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	CHUVOSO
Cabrobó	CHUVOSO	SECO	SECO	SECO	CHUVOSO	SECO
Floresta	SECO	SECO	NORMAL	SECO	CHUVOSO	CHUVOSO
Tacaratu	SECO	SECO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	CHUVOSO

Segundo Gouveia et al. (2022), a ocorrência de focos de calor não delimita, definitivamente, aos episódios de queimadas. Desse modo, necessitando de uma validação de dados para a sua definição. Levando em consideração os municípios efetivamente afetados através do tratamento dos vetores de focos de calor com o cruzamento das imagens do produto MOD14A1, foi possível verificar a coincidência desses eventos com a temperatura do ar máxima do dia. Para a aferição da influência da temperatura do ar nos casos de queimadas, foram cruzadas as informações das datas de focos de calor confirmados como de queimadas e da temperatura

do ar máxima dos dias e municípios afetados. A Tabela 3 expõe essa relação, onde constata-se na coluna “QUANTIDADE DIAS QUEIMA” a quantidade efetivamente de dias que se sucederam tal evento de 2010 a 2021. Semelhantemente, na coluna “DIAS COINCIDENTES” são demonstradas apenas aquelas datas onde se reconheceu que as queimadas aconteceram exatamente nos dias de temperatura do ar máxima diária. Nos demais municípios não foi percebida a coexistência das variáveis supracitadas.

Em consideração a isso, observa-se que apenas a temperatura do ar não influencia diretamente nas situações de queimadas, exceto por

aquelas datas onde aconteceram eventualidades e foi detectada a coincidência descrita acima. Além disso, é possível constatar que nessas causalidades a temperatura máxima do ar foi sempre superior a 33 °C e inferior a 39 °C. Isso concorda com o que foi destacado por Cheng e AghaKouchak (2014), onde os mesmos mencionam que a temperatura

apresenta um papel secundário na incidência de queimadas. Em contrapartida, a precipitação dispõe de papel crucial para a ocorrência ou não desses eventos. Isso porque essas queimadas ocorrem, em sua maior quantidade, por causas antrópicas.

Tabela 3. Temperatura do ar máxima por município afetado pela queima.

MUNICÍPIO	QUANTIDADE DIAS QUEIMA	DIAS COINCIDENTES	TEMPERATURA DO AR MÁXIMA (°C)
AFOGADOS DA INGAZEIRA	1	-	-
AFRÂNIO	4	31/10/2012	37,95
ARARIPINA	4	31/10/2012	38,39
CABROBÓ	1	-	-
BODOCÓ	2	-	-
CARNAUBEIRA	4	-	-
CUSTÓDIA	3	-	-
DORMENTES	6	28/09/2019	36,80
EXU	1	-	-
FLORES	1	-	-
FLORESTA	2	-	-
IBIMIRIM	1	11/10/2020	37,60
IGUARACY	3	28/09/2019	34,64
INGAZEIRA	2	-	-
IPUBI	1	-	-
LAGOA GRANDE	1	-	-
MIRANDIBA	3	-	-
OURICURI	1	-	-
PARNAMIRIM	2	-	-
PETROLINA	11	16/08/2010; 31/10/2012	33,20; 37,80
QUIXABÁ	1	-	-
SALGUEIRO	1	-	-
SANTA CRUZ	3	28/09/2019	36,55
SANTA CRUZ DA BAIXA VERDE	1	-	-
SANTA MARIA DA BOA VISTA	4	-	-
SÃO JOSÉ DO BELMONTE	5	-	-
SÃO JOSÉ DO EGITO	1	-	-
SERRA TALHADA	4	31/10/2012	34,87
SERTÂNIA	4	31/10/2012	34,37
SOLIDÃO	2	-	-
TABIRA	1	-	-
TRINDADE	1	-	-
TUPARETAMA	1	-	-

De modo a verificar a relação entre fenômenos climáticos extremos e a ocorrência e/ou intensificação dos focos de calor, os anos de 2010 a 2021 foram classificados quanto às situações de El Niño e La Niña. Baseado na Figura 2 pode-se inferir que entre os anos de 2010 a 2021 somente ocorreu El Niño nos anos de 2010 (+1,50 °C), 2015 (+0,55 °C), 2016 (+2,50 °C) e 2019 (+0,75 °C); do mesmo modo, a La Niña se sucedeu nos anos de 2011 (-1,42 °C), 2012 (-0,87 °C), 2018 (-0,91 °C) e 2021 (-1,05 °C). Fundamentado nessas

informações e reconhecendo a dinâmica dos episódios de focos de calor no período analisado, verifica-se que a incidência de focos de calor é mais acentuada no mês de novembro quando o cenário é de aumento na temperatura de superfície do mar, ou seja, quando o cenário é de El Niño. Em contrapartida, à medida que a situação tende à neutralidade ou aos valores extremos de La Niña, a ocorrência de focos de calor é mais evidente no mês de outubro.

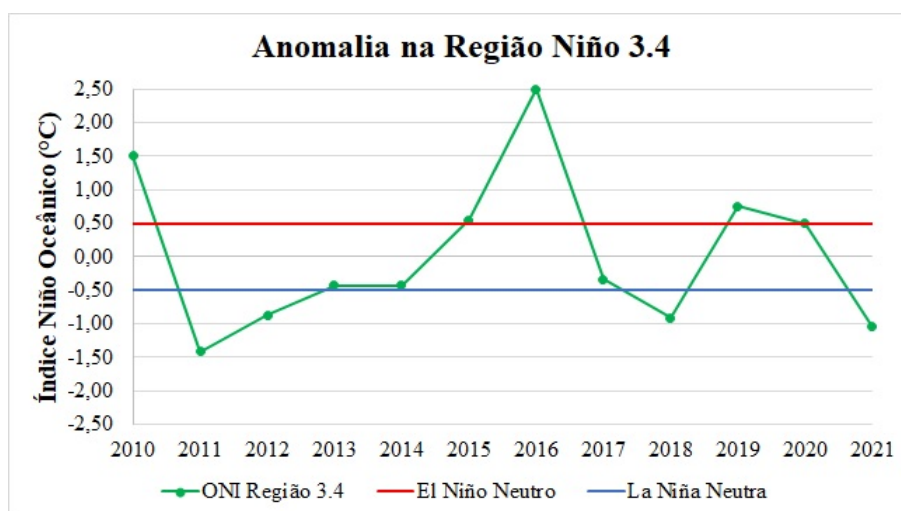


Figura 2. Anomalia de temperatura da superfície do mar na região Niño 3.4.

Esses fatos são relevantes e demonstram a importância da La Niña para a diminuição das quantidades de focos de calor no mês de novembro, onde se inicia o período pré-chuvoso da área de estudo (Alexandre Irmão, 2015; Oliveira Júnior et al., 2019). Quando ocorre esse fenômeno, existe um acréscimo na intensidade das chuvas na região Nordeste do Brasil, assim, diminuindo as condições de seca e tornando a temperatura mais amena, o que desfavorece os episódios de focos de calor ou a sua expansão. De maneira oposta, quando da situação de El Niño, as chuvas são enfraquecidas ao mesmo tempo que as temperaturas se elevam, além do favorecimento de secas e consequentemente dos focos de calor, com isso, nos anos de acontecimentos desse fenômeno, se observa uma tendência crescente no número de focos de calor nos meses de agosto a novembro.

Diante do descrito, e reconhecendo as áreas efetivamente afetadas pelos focos de calor, aplicou-se a análise do NDVI para os dias de ocorrências desses eventos baseado no cálculo das bandas espectrais 1 e 2 do produto MOD09Q1, que representam as regiões do vermelho e infravermelho próximo, respectivamente; além de

uma sequência de três imagens do produto MOD13Q1 para a avaliação desse índice antes e após a queima. Concomitantemente, foi observada a interferência da precipitação local para a regeneração vegetal.

Fundamentado nesses dados e com o conhecimento da dinâmica de eventos de queimadas quando nos momentos de El Niño e La Niña foi possível determinar a relação entre tais eventos extremos e a capacidade de regeneração vegetal.

A Figura 3 demonstra o quantitativo de áreas que alcançaram a regeneração vegetal de acordo com o período de estudo e a incidência de focos de calor por município. Foi possível constatar que a regeneração vegetal não apresentou relação com os eventos extremos El Niño e La Niña, como é verificável quando se realiza o cruzamento entre o quantitativo de áreas regeneradas em novembro de 2019 e 2021, que apresentaram as maiores quantidades, no entanto em anos de El Niño e La Niña, respectivamente. Circunstâncias semelhantes as ocorridas quando comparadas as áreas regeneradas em outubro de 2020 e 2021 e os eventos climáticos extremos.

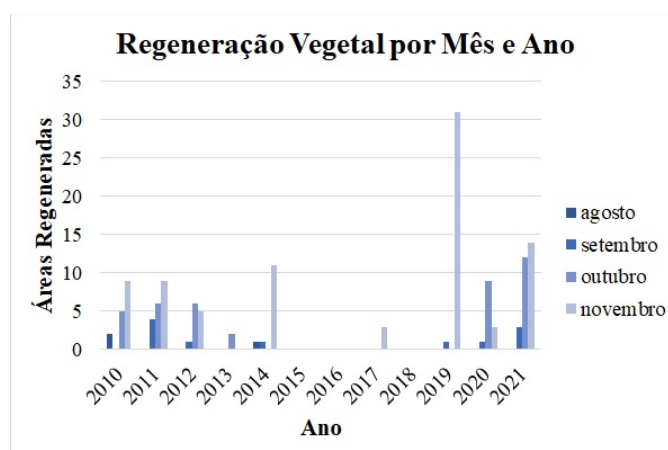


Figura 3. Quantitativo de áreas de regeneração vegetal através do cruzamento do NDVI e precipitação local.

Apesar da inexistente relação direta entre a regeneração vegetal e os eventos climáticos extremos, verificou-se segundo a Figura 3 que o mês de novembro de 2019 exibiu o maior quantitativo de áreas regeneradas. Isto está associado à exuberante quantidade de áreas afetadas pelos focos de calor nesse mês e ano, o que implica em mais áreas com capacidade de restauração. Ademais, essa constatação também resulta do início da pré-estação chuvosa nesse mês, simultaneamente à rápida resposta da vegetação existente na Caatinga a precipitação. Além disso, outubro de 2020 também apresentou uma relevante quantidade de áreas reestruturadas, mesmo experimentando ano de condições normais quanto aos eventos climáticos El Niño e La Niña.

A pré-estação chuvosa na área de estudo se inicia no mês de novembro, dessa forma, exibindo o período mais chuvoso dentro dos meses analisados. Isto deixa nítida a relevância da precipitação local para a regeneração vegetal, uma vez que novembro de 2019 (31), seguido de novembro de 2021 (14) exibiram as maiores quantidades de áreas regeneradas se comparados com os demais anos e meses de estudo. Contudo, vale salientar que o período chuvoso do ano é de janeiro a abril (Ferreira e Kemenes, 2023).

A fim de definir as condições necessárias para a ocorrência da regeneração vegetal, foram cruzadas as informações do índice NDVI com a

precipitação local nos períodos de 16 dias que antecederam a queima, durante o evento e em uma sequência de três análises após a queima (16, 32 e 48 dias). Estes cruzamentos foram submetidos ao método de árvore de decisão, desenvolvida pelo algoritmo “REPTree”, presente no software de mineração de dados WEKA.

Verificou-se uma correlação de 88,76% para a recuperação vegetal, alicerçado nas informações geradas pela árvore de decisão através do cruzamento do NDVI e precipitação local 16 dias antes, durante, 16, 32 e 48 dias após a queima. A árvore de decisão desenvolvida pelo algoritmo é apresentada na Figura 4, onde se percebe que tal regeneração decorre, primordialmente, do nível de NDVI no dia da queima, devido às eventuais conjunturas onde o índice for menor do que 0,31 haverá a recuperação e/ou regeneração vegetal. Além desse elemento, a precipitação depois de 32 dias da queima também representa elevada importância, dado que a partir dela existirá duas situações para o restabelecimento das áreas quando a precipitação depois de 48 dias da queima for igual ou superior a 5,5 mm:

- I. Se a precipitação depois de 32 dias da queima for maior ou igual a 14,05 mm;
- II. Se a precipitação depois de 32 dias da queima for menor do que 14,05 mm e o NDVI no dia da queima for menor do que 0,31.

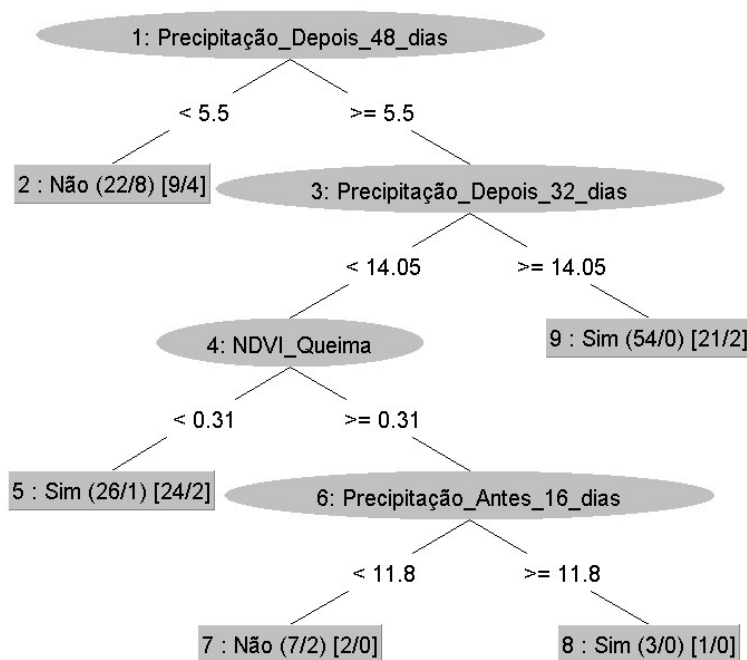


Figura 4. Árvore de decisão com padrão para a regeneração vegetal.

Visto que o trabalho tem a finalidade de estudar as áreas mais suscetíveis à queima, conforme a Figura 4 a regeneração e/ou recuperação vegetal é dependente dos valores do

NDVI no dia da queima e da precipitação local depois do evento. Fundamentado nas condições supracitadas para que ocorra a reestruturação vegetal e realizando uma confluência a fim de

atender aos padrões necessários, baseado nos seus valores limites, constata-se que as condições impostas são atendidas quando o índice NDVI no dia da queima é menor do que 0,31.

Baseado nessa informação, foi implementado um *script* na plataforma do GEE para a detecção dessas áreas com capacidade de regeneração vegetal nas mesorregiões e período de estudo, a partir da aplicação das imagens MOD09Q1 para o cálculo do NDVI.

Congruentemente, o fato de levar em consideração apenas o índice NDVI para a classificação de áreas com potencial de regeneração e a utilização de imagens com baixa

resolução espacial, irão gerar alguns desvios de resultados. No entanto, ainda que ocorram esses erros, a análise realizada pelo *script* se demonstra confiável em virtude da sua porcentagem de acerto.

A Figura 5 demonstra as porcentagens de acertos obtidos com a utilização do *script* para a identificação de áreas com potencial de recuperação vegetal. Esta validação se sucedeu a partir do cruzamento entre as informações oriundas da coleta manual das áreas e aquelas decorrentes do próprio *script*. Os acertos foram sempre maiores ou iguais a 50%, com predominância de acertos maiores do que 85% nos meses e anos analisados.

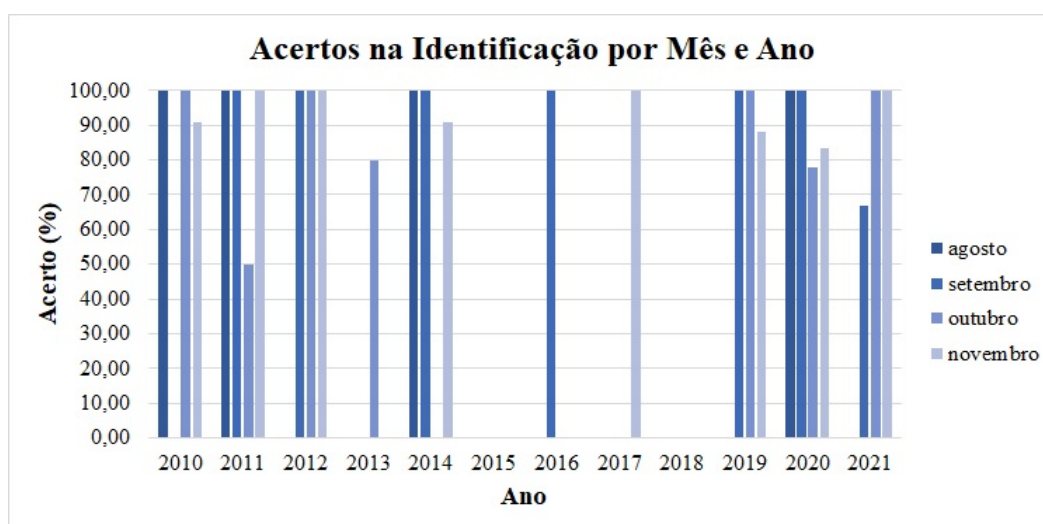


Figura 5. Acertos na identificação operacional das áreas com capacidade de recuperação vegetal.

Diante das possibilidades de erros já destacados, quando no cruzamento das informações obtidas anteriormente com aquelas provenientes do algoritmo, foi possível classificá-los como de omissão e de comissão. Sendo que os erros de comissão são evidenciados por aquelas áreas que mesmo não sendo identificadas a princípio, foram considerados como se pertencessem a uma determinada classe. Em contrapartida, os erros de omissão são aqueles que mesmo sendo detectado como sendo de um conjunto, não foram observados como sendo de sua própria classe (Oliveira, H. et al., 2020).

Os erros de comissão são causados pela intensidade ou áreas diminutas de queimadas, portanto, impossibilitando a verificação mais assertiva principalmente em imagens de baixa resolução espacial. Por outro lado, os erros de omissão são provenientes da presença de nuvens, ruídos ou demais sombras nas imagens de satélites, o que faz independe da resolução espacial (Grameiro et al., 2023; Gouveia e Nascimento, 2023). A Figura 6 explicita os erros de omissão e de comissão sofridos para a identificação das áreas com potencial de regeneração vegetal.

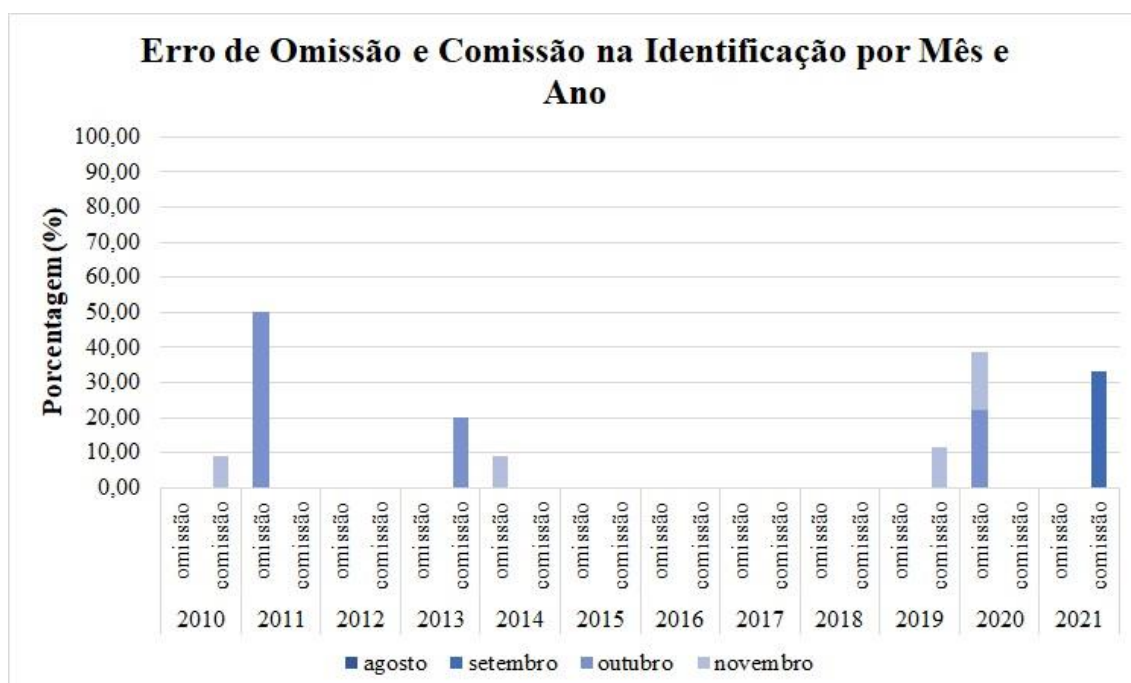


Figura 6. Erros de omissão e comissão na identificação operacional das áreas com capacidade de recuperação vegetal.

Constata-se a partir da Figura 6 que os maiores erros ocorreram em outubro de 2011, sendo de omissão (50%); e em setembro de 2021 (33,33%), sendo de comissão. Conforme a metodologia exposta por Silva Júnior e Pacheco (2023) as áreas caracterizadas anteriormente com potencial de recuperação vegetal e que porventura não apresentaram essa possibilidade na análise do *script* foram definidas como erro de omissão. Aquelas áreas que não haviam sido caracterizadas com capacidade de regeneração vegetal e que mesmo assim foram verificadas no algoritmo como se tivessem essa possibilidade, foram definidas como erro de comissão. De modo semelhante, as áreas que apresentaram concordância entre as duas identificações, foram especificadas como acertos.

Conclusões

Diante do exposto, com base no 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 2010 a 2021 nos meses mais secos das mesorregiões do Sertão e São Francisco de Pernambuco, definidos a partir da técnica de *Quantis*.

Foi exequível a verificação da interferência dos fenômenos climáticos extremos El Niño e La Niña, como também da temperatura do ar máxima diária na ocorrência e/ou intensificação dos eventos de queimadas.

Pôde-se aferir 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. A partir disso, houve a capacidade de elaboração de um *script* para a detecção operacional das cicatrizes de queimadas na área de estudo com a aplicação das imagens MODIS/TERRA MOD09Q1 no GEE.

Agradecimentos

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

Referências

- AGRIEXPO. VirtualExpo Group, 2023. Acesso ao produto: Refletômetro portátil GreenSeeker. Disponível: <https://www.agriexpo.online/pt/prod/trimble-agriculture/product-170463-107009.html>. Acesso: 15 set. 2023.
- AGRITEMPO. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico, 2022a. Acesso aos Estados – PE: Estatísticas. Disponível: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estatisticas/index.jsp?siglaUF=PE>. Acesso: 20 jun. 2022.
- AGRITEMPO. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico, 2022b. Acesso aos Estados – PE: Pesquisa de dados meteorológicos. Disponível: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=PE>. Acesso: 20 jun. 2022.

- Alexandre Irmão, R., 2015. Vulnerabilidade do Rebanho Pecuário à Variabilidade Climática na Região Semiárida de Pernambuco. Dissertação (Mestrado). Recife, Universidade Federal de Pernambuco.
- Barni, P.E., Rego, A.C.M., Silva, F.C.F., Lopes, R.A.S., Xaud, H.A.M., Xaud, M.R., Barbosa, R.I., Fearnside, P.M., 2021. Logging Amazon forest increased the severity and spread of fires during the 2015–2016 El Niño. *Forest Ecology and Management* [online] 500. Disponível: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0017>. Acesso: 11 ago. 2023.
- Bolwerk, D.A., Ertzogue, M.H., 2021. Mudanças climáticas e/ou mudanças socioculturais na Amazônia Legal. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais* [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0017>. Acesso: 11 ago. 2023.
- Brexó, E.A., Mattos, L.M., Suszek, G., 2023. Caracterização de uso e ocupação do solo na região do vale do Ivinhema-MS utilizando a plataforma Google Earth Engine. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research* [online] 6. Disponível: <https://doi.org/10.34188/bjaerv6n1-022>. Acesso: 24 jul. 2023.
- Caetano, R., Silva, T.B., Benfica, N.S., Castro, D.R., 2022. Uso de índices espectrais na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido Baiano. *Revista de Geociências do Nordeste* [online] 8. Disponível: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n2ID26864>. Acesso: 07 ago. 2023.
- Cerqueira, M.A., Rodrigues, F.M., Almeida, G.V.L., 2020. Susceptibilidade a desertificação para o estado de Pernambuco. *Geosul* [online] 35. Disponível: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2020v35n76p151>. Acesso: 19 jul. 2023.
- Chaves, M.E.D., Martins, F.C.M., Mataveli, G.A.V., Conceição, K.V., Barros, K.O., Guerrero, J.V.R., 2021. Focos de calor no Cerrado e na Caatinga de Minas Gerais identificados por sensor orbital. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto* [online] 2. Disponível: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4743931>. Acesso: 22 jul. 2023.
- Chen, Y., Cao, R., Chen, J., Liu, L., Matsushita, B., 2021. A Practical Approach to Reconstruct High-Quality Landsat NDVI Time-Series Data by Gap Filling and the Savitzky–Golay Filter. *ISPRS Journal Photogrammetry Remote Sensing* [online] 180. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.08.015>. Acesso: 17 set. 2023.
- Cheng, L., AghaKouchak, A., 2014. Nonstationary precipitation intensity-duration-frequency curves for infrastructure design in a changing climate. *Scientific reports* [online] 4. Disponível: <https://www.nature.com/articles/srep07093>. Acesso: 07 ago. 2023.
- Corrêa, T.R., Dias, D.P., 2023. Focos de calor e sua relação com a precipitação e temperatura do ar do município de Jataí, Goiás. *Revista Verde* [online] 18. Disponível: <https://doi.org/10.18378/rvads.v18i2.9568>. Acesso: 20 jul. 2023.
- Dhillon, M.S., Kübert-Flock, C., Dahms, T., Rummeler, T., Arnault, J., Steffan-Dewenter, I., Ullmann, T., 2023. Evaluation of MODIS, Landsat 8 and Sentinel-2 Data for Accurate Crop Yield Predictions: A Case Study Using STARFM NDVI in Bavaria, Germany. *MDPI Journals Awarded Impact Factor* [online] 15. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs15071830>. Acesso: 02 set. 2023.
- Ferreira, L.G.C., Kemenes, A., 2023. A influência dos eventos climáticos extremos na climatologia da planície litorânea piauiense. *Revista Brasileira de Climatologia* [online] 32. Disponível: <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.1634>. Acesso: 07 ago. 2023.
- 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: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778635300>. Acesso: 11 ago. 2023.
- Gouveia, J.R.F., Nascimento, C.R., 2022a. Uso e cobertura do solo após eventos de queimadas no município de Floresta em Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 15. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.6.p3121-3135>. Acesso: 10 dez. 2022.
- Gouveia, J.R.F., Nascimento, C.R., 2022b. Determinação dos Usos e Cobertura do Solo com Sensibilidade aos Eventos de Queimadas no Sertão e São Francisco de Pernambuco. *Agrarian Academy* [online] 9. Disponível: <https://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2022B/determinacao.pdf>. Acesso: 21 jul. 2023.
- Gouveia, J.R.F., Nascimento, C.R., 2023. Identificação Operacional de Áreas com Potencial de Regeneração e/ou Recuperação Vegetal nas Mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano. *Revista Brasileira de*

- Geografia Física [online] 16. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1231-1246>. Acesso: 19 jul. 2023.
- Gouveia, J.R.F., Nascimento, C.R., Oliveira Júnior, J.G., Moura, G.B.A., Lopes, P.M.O., 2021. Caracterização de Cicatrizes de Queimadas nas Mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano a partir de dados do Sensor MODIS. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p881-996>. Acesso: 21 jul. 2023.
- Gouveia, J.R.F., Nascimento, C.R., Oliveira Júnior, J.G., Moura, G.B.A., Lopes, P.M.O., 2022. Correlação entre área plantada x queima da cana-de-açúcar no Litoral e Zona da Mata de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 15. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.2.p841-855>. Acesso: 10 dez. 2022.
- Grameiro, S., Rocha J.M., Santos, I.R., Ferreira, M. E., Borges-Almeida, K., Collevatti, R.C., 2023. Classificação de Imagens com Distintos Parâmetros Utilizando o Google Earth Engine e Algoritmo de Aprendiz de Máquina. *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* [online] 20. Disponível: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2023/05.13.23.44/doc/155916.pdf>. Acesso: 11 ago. 2023.
- Hoki, V.S.P., Sanches, L., Carmo Junior, G.N.R., Pinto Junior, O.B., 2021. Análise dos focos de calor em diferentes faixas de áreas de influência da rodovia BR-242, Nova Ubiratã-MT. *Nativa*, [online] 9. Disponível: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i2.10794>. Acesso: 11 ago. 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Áreas Territoriais. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=downloads>. Acesso: 11 dez. 2022.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, 2022. Banco de Dados Meteorológicos. Disponível: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso: 20 jun. 2022.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2023. BDQUEIMADAS. Disponível: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso: 19 jul. 2023.
- Jesus, J.B., Rosa, C.N., Barreto, Í.D.C., Fernandes, M.M., 2020. Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil. *Ciência Florestal* [online] 30. Disponível: <https://doi.org/10.5902/1980509837696>. Acesso: 07 ago. 2023.
- Kong, D., Zhang, Y., Gu, X., Wang, D., 2019. A Robust Method for Reconstructing Global MODIS EVI Time Series on the Google Earth Engine. *ISPRS Journal Photogrammetry Remote Sensing* [online] 155. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.06.014>. Acesso: 17 set. 2023.
- Lajús, C.R., Busnello, F.J., Sauer, A.V., Costella, M.F., Dalcanton, F., 2023. Tecnologia e Gestão da Inovação em Sistemas de Produção Sustentáveis. 1ª Edição. Campina Grande: Ed. Portal Tecnológico.
- Li, Q., Qiu, C., Ma, L., Schmitt, M., Zhu, X.X., 2020. Mapping the land cover of Africa at 10 m resolution from multi-source remote sensing data with Google Earth Engine. *Remote Sensing* [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs12040602>. Acesso: 12 dez. 2022.
- Libonati, R., Pereira, A.A., Santos, F.L.M., Rodrigues, J.A., Rosa, A.S., Melchiori, A.E., Morelli, F., Setzer, A.W., 2021. Queimadas e incêndios florestais: mediante monitoramento orbital. 1ª Edição. São Paulo: Ed. Oficina de Textos.
- Lizundia-Loiola, J., Pettinari, M.L., Chuvieco, E., 2020. Temporal Anomalies in Burned Area Trends: Satellite Estimations of the Amazonian 2019 Fire Crisis. *Remote Sensing*, Basel [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.5902/1980509843818>. Acesso: 10 ago. 2023.
- Macedo, C.E.S, Alencar, C.M.S., Stefanutti, R., Oliveira, U.C., 2020. Detecção da Variação de Cobertura Vegetal a Partir da Estimativa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Unidade de Conservação do Parque Estadual das Carnaúbas - CE com Utilização de Técnicas do Sensoriamento Remoto. *Anuário do Instituto de Geociências* [online] 43. Disponível: https://doi.org/10.11137/2020_2_477_485. Acesso: 15 set. 2023.
- Meneses, P.R., Almeida, T., Baptista, G.M.M., 2019. Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação. 1ª Edição. São Paulo: Ed. Oficina de Textos.
- 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: 24 jul. 2023.

- NASA. National Aeronautics and Space Administration, 2022. MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer): MODIS Design. Disponível: <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php>. Acesso: 22 jul. 2023.
- NOAA. National Weather Service, 2012. Climate Prediction Center: Frequently Asked Questions about El Niño and La Niña. Disponível: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensofaq.shtml#pred_mon. Acesso: 19 ago. 2022.
- NOAA. National Weather Service, 2022. Monthly Atmospheric & SST Indices: Sea Surface Temperature (SST) - Monthly OISST.v2.1 (1991-2020 base period) Niño 1+2 (0-10°South)(90°West-80°West) Niño 3 (5°North-5°South)(150°West-90°West) Niño 4 (5°North-5°South) (160°East-150°West) Niño 3.4 (5°North-5°South)(170-120°West). Disponível: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices>. Acesso: 19 ago. 2022.
- 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. Acesso: 21 jul. 2023.
- Oliveira Júnior, J.G., Santos, J.M., Polycarpo, J.S.M., Lopes, P.M.O., Moura, G.B.A., Nascimento, C.R., 2021. Mapeamento Espectral de Cicatrizes de Queimadas na Caatinga através de dados Orbitais MODIS e LANDSAT. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada [online] 15. Disponível: <https://dx.doi.org/10.7127/rbai.v1501164>. Acesso: 21 jul. 2023.
- Oliveira, H.S., Marchesan, J., Alba, E., Honnef, D.H., Wolfer, M.F., Pereira, R.S., 2020. Avaliação de Algoritmos para Classificação de Uso e Cobertura da Terra na Porção Central do Rio Grande do Sul a partir de Imagens de Alta e Média Resolução Espacial. Geo UERJ [online] 37. Disponível: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2020.43259>. Acesso: 13 dez. 2022.
- Oliveira, J.D.A., Moura, G.B.A., Nascimento, C.R., Lopes, P.M.O., Nóbrega, R.S., 2020. Avaliação de Degradação e Mudanças Ambientais na Bacia Hidrográfica do Alto Ipanema. Revista Brasileira de Meteorologia [online] 35. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0102-7786354062>. Acesso: 13 dez. 2022.
- Pereira, M.D.B., Moura, M.O., Lucena, D.B., 2021. Análise da variabilidade pluviométrica interanual da zona da mata nordestina e a identificação de anos padrão. Revista Brasileira de Climatologia [online] 26. Disponível: <https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.61276>. Acesso: 07 ago. 2023.
- Pirajá, R.V., Oliveira, A.K.M., Matias, R., 2022. Sistemas de Geotecnologias para o Monitoramento de Queimadas: Viabilidade de Utilização de Sensores Orbitais e Geoestacionários para Identificar Incêndios Florestais em Área Modelo do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. Caderno de Geografia [online] 33. Disponível: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2023v33n72p30>. Acesso: 15 set. 2023.
- Polonio, V.D., 2015. Índices de Vegetação na Mensuração do Estoque de Carbono em Áreas com Cana-de-Açúcar. Dissertação (Mestrado). São Paulo, Universidade Estadual Paulista.
- Reis, J.B.C., Anderson, L.O., Lopes, E.S.S., Pessoa, C.M., Reis, V.L., Brown, I.F., 2019. Sistema de Alerta de Focos de Queimadas em Propriedades Rurais para Prevenção de Incêndios Florestais no Município de Rio Branco, Acre. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto [online] 19. Disponível: <https://proceedings.science/sbsr-2019/trabalhos/sistema-de-alerta-de-focos-de-queimadas-em-propriedades-rurais-para-prevencao-de?lang=pt-br>. Acesso: 19 jul. 2023.
- Rodrigues, C.C., Mariano, R.F., Silveira Junior, W.J., Leite, L.H., Carvalho, V.C., Souza, F.J., Moura, A.S., Rocha, L.F., Fontes, M.A.L., 2022. Histórico de Incêndios em Campos Rupestres Disjuntos: um Estudo de Caso em Carrancas, Minas Gerais. Biodiversidade Brasileira [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v12i2.1866>. Acesso: 11 ago. 2023.
- Rouse, 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 1, 48-62.
- Santori, A.R., 2022. Amostragem de componentes puros (vegetação, solo, água/sombra) em imagens de satélite Sentinel-2 como subsídios à interpretação do NDVI na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Cruzes, Selvíria/MS. Boletim Paulista de Geografia [online] 1. Disponível: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/1991>. Acesso: 21 jul. 2023.

- Silva Junior J.A., Pacheco, A.P., 2021. Avaliação de incêndio em ambiente de Caatinga a partir de imagens Landsat-8, índice de vegetação realçado e análise por componentes principais. *Ciência Florestal* [online] 31. Disponível: <https://doi.org/10.5902/1980509843818>. Acesso: 19 jul. 2023.
- Silva Junior J.A., Pacheco, A.P., 2022. Avaliação de índices espectrais e Classificação Normal Bayes usando imagens OLI e TIRS para o mapeamento de áreas queimadas no Cerrado. *Revista Brasileira de Meio Ambiente* [online] 10. Disponível: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7519012>. Acesso: 21 jul. 2023.
- Silva Júnior, J.A., Pacheco, A.P., 2023. Classificador Support Vector Machines para o mapeamento da cobertura do solo usando imagens CBERS-4/MUX e Landsat-8/OLI. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 16. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1304-1319>. Acesso: 11 ago. 2023.
- Silva Junior, U.J., Gonçalves, R.M., Oliveira, L.M.M., Silva Junior, J.A., 2021. Sensibilidade espectral dos índices de vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na mata ciliar do reservatório de Serrinha II – PE, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia* [online] 73. Disponível: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv73n1-55252>. Acesso: 21 jul. 2023.
- Silva, A.D., 2020. Conhecimento sobre o papel do fogo: No olhar multifacetado do saber e fazer dos sujeitos sociais. Dissertação (Mestrado Profissional). Lavras, Universidade Federal de Lavras.
- Silva, G.H.P., Amorim, M.C.C.T., Teixeira, D. C. F., 2022. Análise temporal da temperatura e das chuvas a partir da técnica dos quantis aplicada às cidades de Rancharia-SP e Presidente Prudente-SP. *Terra Livre* [online] 1. Disponível: <https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/2318>. Acesso: 07 ago. 2023.
- Silva, M.P., 2023. Uso do fogo na agricultura e seus efeitos sobre o solo: Revisão. Monografia (Tecnólogo em Agroecologia). Sumé-PB, Universidade Federal de Campina Grande.
- Simioni, J.P.D., 2021. Métodos de Classificação de imagens de satélite para delineamento de Banhados. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Siqueira, J.R., Carvalho, B.M., 2022. Temporal analysis of hotspots in the municipalities of Macae-RJ and Campos dos Goytacazes-RJ during the period 2014-18. *Research, Society and Development* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.36643>. Acesso: 19 jul. 2023.
- Spinelli, K., Nascimento, R., Fuentes, M., 2020. Análise climática dos episódios de estiagem que provocaram danos socioeconômicos no oeste catarinense entre 1999 a 2012. *Revista Brasileira de Climatologia* [online] 26. Disponível: <https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.61710>. Acesso: 07 ago. 2023.
- Teixeira, N.C., Danelichen, V.H.M., Pereira, O.A., Seixas, G.B., 2021. Dinâmica de Queimadas no Município de Cuiabá-MT por Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p607-618>. Acesso: 19 jul. 2023.
- Tórnio, C.A.A., Kede, M.L.F.M., 2023. Sistemas Atmosféricos Associados aos Tipos de Tempo Durante Anos Muito Secos e Muito Chuvosos no Município de São Gonçalo-RJ. *Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, Seção Três Lagoas* [online] 1. Disponível: <https://doi.org/10.55028/agb-tl.v1i37.17624>. Acesso: 07 ago. 2023.
- Xu, Y., Yang, Y., Chen, X., Liu, Y., 2022. Bibliometric Analysis of Global NDVI Research Trends from 1985 to 2021. *MDPI Journals Awarded Impact Factor* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs14163967>. Acesso: 15 set. 2023.