



PKS

PUBLIC
KNOWLEDGE
PROJECT

REVISTA DE
GEOGRAFIA

Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE

OJS

OPEN
JOURNAL
SYSTEMS

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia>

ANÁLISE DE DETECÇÃO DE ÁREAS QUEIMADAS NO CERRADO UTILIZANDO CENAS ENVISAT-MERIS E TERRA-MODIS

Juarez Antônio da Silva Júnior¹ - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2898-0309>

Admilson da Penha Pacheco² - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3635-827X>

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil*

² Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Recife, PE, Brasil**

Artigo recebido em 23/10/2021 e aceito em 27/01/2021

RESUMO

Os sensores de observação da Terra MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectro Radiometer) e MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) periodicamente geram dados de extensão e emissão do fogo para todo o globo; no entanto, incertezas devidas as características de suas resoluções espaciais e temporais devem ser introduzidas. Neste trabalho é apresentado uma validação da área queimada com o apoio do classificador supervisionado Máquinas de Vetores de Suporte (SVM) para os dados espectrais obtidos pelos sensores orbitais MODIS e MERIS, comparados com os polígonos de referência espaciais de maior resolução espacial para dois locais de estudo no bioma Cerrado. Foi considerada a temporada de queimadas no mês de setembro de 2010, quando ocorreram incêndios florestais graves com distribuição de focos de calor historicamente alta. Em uma análise comparativa, os mapas classificados de área queimada identificaram 22% para o MERIS e um pouco maior para o MODIS, de 54%. Os erros de comissão (EC) e de omissão (EO), bem como o coeficiente de dados (DC) para pixels queimados, foram comparados. Para o MERIS, o OE e o CE médios foram 64% e 76%, e para o MODIS, 67% e 36%. Métricas de regressão também foram utilizadas e mostram Coeficientes de Determinação (r^2) médio das regressões lineares entre a área queimada de ($r^2 < 0,6$) para ambos os sensores. Os produtos de área queimadas produzidos foram capazes de fornecer uma fonte de dados eficiente para monitorar e avaliar os padrões espaciais e temporais e os impactos do fogo.

Palavras-chave: MODIS; MERIS; Incêndios; Sensoriamento Remoto.

* Graduado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura. Graduado na Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Brasil. Especialista em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico pela Estácio-RJ. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Saneamento Ambiental atuando principalmente nos seguintes temas: Saneamento Ambiental e Sensoriamento Remoto Aplicado. E-mail: juarez.silvajunior@ufpe.br

** Físico com Mestrado em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Doutorado em Geofísica pela Universidade de São Paulo - USP/Instituto Astronômico e Geofísico - IAG; Pós-Doutorado no Instituto de Ciências da Terra da Universidade do Minho/Portugal (2019); Professor Titular da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura; Coordenação e Participação em Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq, FINEPE, FACEPE, ANEEL, ANA, CHESF, FUNDAJ), atuando nas áreas de Geofísica Aplicada, Meio Ambiente, Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens de Materiais Naturais e Artificiais. E-mail: admilson.pacheco@ufpe.br

ANALYSIS OF THE DETECTION OF BURNED AREAS IN THE CERRADO USING SCENES ENVISAT-MERIS AND TERRA-MODIS

ABSTRACT

Earth observation sensors MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) and MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) periodically generate fire range and emission data for the entire globe; however, uncertainties due to the characteristics of their spatial and temporal resolutions must be introduced. This work presents a validation of the burned area with the support of the supervised classifier Support Vector Machines (SVM) for the spectral data obtained by the MODIS and MERIS orbital sensors, compared with the spatial reference polygons of higher spatial resolution for two locations of study in the Cerrado biome. The burning season in September 2010 was considered, when severe forest fires occurred with historically high heat distribution. In a comparative analysis, the classified burn area maps identified 22% for MERIS and a little higher for MODIS, 54%. The commission (EC) and omission (EO) errors, as well as the data coefficient (DC) for burned pixels, were compared. For MERIS, the average OE and CE were 64% and 76%, and for MODIS, 67% and 36%. Regression metrics were also used and show Coefficients of Determination (r^2) mean of linear regressions between the burned area of ($r^2 < 0.6$) for both sensors. The burnt area products produced were able to provide an efficient data source to monitor and assess the spatial and temporal patterns and impacts of fire.

Keywords: MODIS. MERIS. Fires. Remote sensing.

ANÁLISIS DE LA DETECCIÓN DE ÁREAS QUEMADAS EN EL CERRADO MEDIANTE ESCENAS ENVISAT-MERIS Y TERRA-MODIS

ABSTRACTO

Los sensores de observación de la Tierra MODIS (espectrómetro de imágenes de resolución moderada) y MERIS (espectrómetro de imágenes de resolución media) generan periódicamente datos de alcance y emisión de incendios para todo el mundo; sin embargo, deben introducirse incertidumbres por las características de sus resoluciones espaciales y temporales. Este trabajo presenta una validación del área quemada con el apoyo del clasificador supervisado Support Vector Machines (SVM) para los datos espectrales obtenidos por los sensores orbitales MODIS y MERIS, comparados con los polígonos de referencia espacial de mayor resolución espacial para dos ubicaciones de estudio, en el bioma del Cerrado. Se consideró la temporada de quema en septiembre de 2010, cuando ocurrieron incendios forestales severos con una distribución de calor históricamente alta. En un análisis comparativo, los mapas de áreas de quema clasificadas identificaron 22% para MERIS y un poco más para MODIS, 54%. Se compararon los errores de comisión (EC) y omisión (EO), así como el coeficiente de datos (DC) para píxeles quemados. Para MERIS, el promedio de OE y CE fue 64% y 76%, y para MODIS, 67% y 36%. También se utilizaron métricas de regresión que muestran la media de los coeficientes de determinación (r^2) de las regresiones lineales entre el área quemada de ($r^2 < 0,6$) para ambos sensores. Los productos del área quemada producidos pudieron proporcionar una fuente de datos eficiente para monitorear y evaluar los patrones espaciales y temporales y los impactos del fuego.

Palabras clave: MODIS. MERIS. Incendios. Detección Remota.

INTRODUÇÃO

A relação do fogo com a vegetação é contraditória: como fator ecológico, contribui para a manutenção da dinâmica do ecossistema, da produtividade e da biodiversidade e, como ferramenta de manejo do solo, é amplamente empregado em plantações, pastagens e florestas em todo o mundo. No entanto, os incêndios florestais são um perigo sócioambiental que afeta anualmente milhões de hectares de florestas,

bosques e outras vegetações, colocando em perigo as populações humanas e causando perdas econômicas substanciais, tanto em termos de bens destruídos como na forma de custos de prevenção e supressão (BRANDO *et al.* 2020). Durante as últimas décadas, o cerrado brasileiro tem sido cada vez mais afetado pelo desmatamento devido à expansão das áreas de cultivo e pastagens, consequentemente aumentando e alterando o regime natural de queimadas na região (SILVA *et al.* 2019). As tentativas de caracterizar esses impactos antropogênicos pressupõem a compreensão dos padrões espaciais e temporais de fogo (REIS *et al.* 2015). Apesar da alta frequência de fogo induzido pelo homem e de perturbações significativas causadas ao bioma Cerrado, a dinâmica do fogo ainda não está bem caracterizada.

Nas últimas décadas, o uso de sensoriamento remoto permitiu avanços sem precedentes no mapeamento da dinâmica do fogo, especialmente para localizar a ocorrência de incêndios no tempo e no espaço e quantificar a extensão total da área queimada. Vários estudos contaram com o uso de sensoriamento remoto para mapear áreas queimadas em uma escala global/regional (CHUVIECO *et al.* 2019; ALONSO-CANAS *et al.* 2015; LIBONATI *et al.* 2015; TANASE *et al.* 2020; SILVA JUNIOR E PACHECO, 2021). No entanto, a persistência variável de cicatrizes de queimaduras em diferentes tipos de vegetação e a confusão espectral com outros fenômenos (por exemplo, sombreamento de nuvem) são alguns dos problemas que ainda dificultam o mapeamento preciso da área queimada (PENHA *et al.* 2020). Assim, os utilizadores dos mapas de áreas queimadas têm salientado a necessidade de melhorar a precisão do produto, nomeadamente de forma a refinar as estimativas atuais de áreas queimadas, fornecendo assim subsídios para análises globais dos impactos ecológicos dos incêndios para melhor compreender as relações entre a ocorrência de incêndios e a biodiversidade e melhorar a avaliação das emissões atmosféricas derivadas de incêndios em vegetação (HUANG *et al.* 2016; SHIMABUKURO *et al.* 2020).

A detecção de pequenas áreas queimadas é uma das principais limitações no mapeamento que utiliza sensores de baixa resolução, conforme relatado anteriormente (TSELA *et al.* 2010; BOSCHETTI *et al.* 2015; GIGLIO *et al.* 2018; LIBONATI *et al.* 2015). É possível melhorar a detecção de pequenas áreas queimadas usando produtos de incêndio existentes. Alonso-Canas *et al.* (2015), usando dados de satélite global de espectrômetro de imagem de resolução MEdium de 300m (MERIS), desenvolveu um algoritmo baseado na série temporal de refletância de superfície para identificar mudanças abruptas na refletância de infravermelho próximo (NIR) e técnicas de crescimento regional usando fogo ativo (MODIS) como sementes espaciais, em um algoritmo de duas fases. O uso desse sensor melhorou a detecção de pequenos incêndios devido à melhor resolução espacial, entretanto, os resultados não foram considerados competitivos em comparação com os produtos (MODIS) para áreas queimadas (OLIVA *et al.* 2011).

Abordagens híbridas que combinam informações de fogo ativo com dados de refletância têm sido amplamente utilizadas no mapeamento de áreas queimadas para adicionar novas evidências para a classificação de áreas queimadas (PENHA *et al.* 2020; PEREIRA *et al.* 2017). Em tais abordagens, os fogos ativos são usados para derivar estatísticas para classes de queima (SAULINO *et al.* 2020; MORGAN *et al.* 2014), ou usados como pontos de sementes em técnicas de cultivo regional. No entanto, os produtos de detecção ativa de incêndio muitas vezes omitem manchas de área queimada (FILIPPONI, 2019), levando à subestimação da área queimada.

O objetivo deste trabalho é testar a capacidade de dados espectrais gerados pelos sensores MERIS e MODIS para a avaliação do mapeamento de áreas queimadas com o apoio do classificador supervisionado SVM (Máquina de Vetores de Suporte). Os resultados foram baseados inicialmente pelo índice de separabilidade de áreas queimadas e não queimadas através da estatística TD e a análise de acurácia através dos dados de referência derivados de dados Aq30m Landsat sobre duas localidades no Cerrado.

METODOLOGIA

Neste estudo foi utilizada uma cena do sensor Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS) a bordo do satélite ENVISAT-1, datada 03/09/2010. A imagem possui resolução espacial de 300m no nível 1 (MERIS_FR_1P), com 15 bandas que cobrem a faixa do visível e infravermelho (Tabela 1) disponibilizado pela plataforma EUMETSAT. O recobrimento de dados da operação ENVISAT-MERIS teve duração entre os anos de 2002 a 2012. Segundo o Manual do Usuário MERIS, disponível em <http://envisat.esa.int/handbooks/meris/CNTR1.html>, os dados do MERIS de nível 1 são georreferenciados e especificados com dados de refletância no Topo da Atmosfera (TOA) e foram sistematicamente corrigidos para absorção de gases, aerossol, espalhamento atmosférico de Rayleigh, absorção de vapor de água e correção de ozônio.

Também foram utilizados os dados do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS/Terra), adquiridos junto à plataforma Earthdata, pertencente à NASA, correspondentes ao dia 07/09/2020. A imagem é constituída por meio do produto de refletância da superfície MOD09A1 (Versão 6), composto por 7 bandas (Tabela 1), corrigidas para as condições atmosféricas, como gases, aerossóis e espalhamento de Rayleigh, com 500m de resolução espacial combinadas durante 8 dias com projeção sinusoidal.

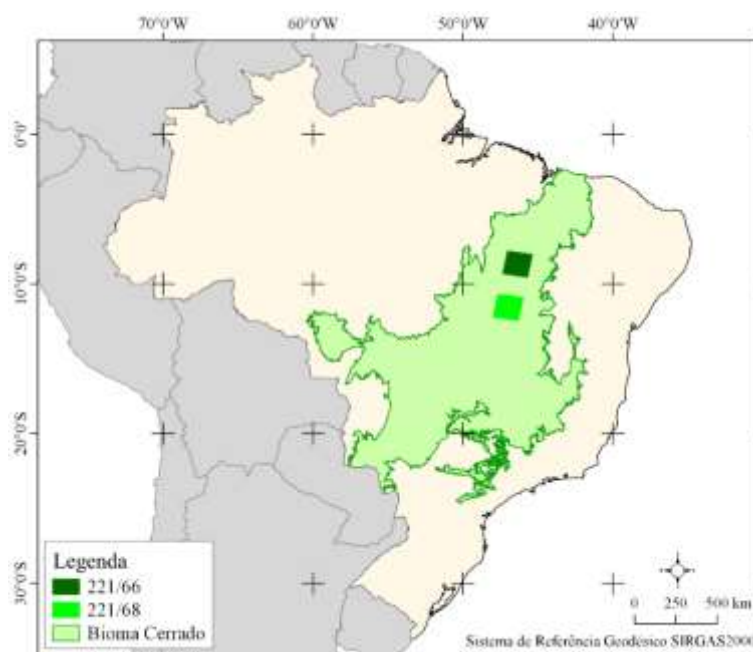
Tabela 1. Resumo das bandas espectrais dos sensores MODIS e MERIS.

Banda	Intervalo de Comprimento de onda (nm)	
	MERIS	MODIS
1	402,5 – 422,5	620 - 670
2	432,5 – 452,5	841 - 876
3	480-500	459 - 479
4	500 - 520	520 - 600
5	550 - 570	1230 - 1250
6	610- 630	1628 - 1652
7	655 - 675	2105 - 2155
8	673,75 – 688,75	
9	698,75 – 718,75	
10	746,25 – 761,25	
11	756,87 – 764,37	
12	763,75 – 793,75	
13	845 - 885	
14	875 - 895	
15	890 - 910	

Fonte: ESA e USGS (2021)

O processo de validação de dados espaciais requer informações de campo com qualidade sólida que raramente estão disponíveis em grandes áreas e por longos períodos. Portanto, a validação realizada neste estudo foi através da comparação do perímetro de referência espacial de áreas queimadas (Aq30m) disponibilizado pelo Sistema de Monitoramento de Queimadas do INPE, através da plataforma BDQueimadas (<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>). Os dados foram distribuídos em polígonos vetoriais georreferenciados datada (07/09/2010), sobre dois locais de estudo inseridos no bioma Cerrado (Figura 1), nas orbitas/ponto (221/66) e (221/68), representando as estimativas das cicatrizes das áreas queimadas geradas a partir de imagens Landsat de resolução espacial 30 metros.

Figura 1. Localização da área de estudo.



Fonte: (Autores, 2022)

O clima no norte do Cerrado é marcadamente sazonal (Aw na classificação de Köppen: Grupo A - climas tropicais/megatérmicos, w - tropical úmido e seco, ou clima de savana) com alta pluviosidade na estação chuvosa (em torno de 1500 mm), de outubro a março, e uma estação seca prolongada de abril a setembro/outubro (apenas 10% da precipitação anual). As temperaturas durante todo o ano são amenas, variando de 22° a 27°C (KLINK, 2005). A vegetação nativa, podem ser analisadas pela diferença do adensamento da vegetação e o seu porte, sendo então: os cerrados abertos representado com 58,9%, sendo caracterizados por extensas áreas de vegetação pouco densa e de porte baixo a médio também chamado de cerradinho e cerrado os outros 41,1% eram cobertos pelos cerradões e manchas de contato dessa formação com florestas estacional semi-decidual (incluindo as matas-de-galeria), sendo caracterizados por extensas áreas de vegetação de grande porte e um grande adensamento de vegetação. Ambas apresentam grande variedade de espécies da fauna e flora (SANTOS et al. 2009). O fogo é utilizado na pecuária como ferramenta de manejo para estimular a rebrota do capim na estação seca, quando a forragem é escassa e para estimular a floração do capim-dourado, para uso no artesanato local. Pecuáristas e artesãos usam fogos bienais, mas a ausência de aceiros permite que os fogos se espalhem por áreas maiores do que o exigido por essas práticas de uso da terra (SCHMIDT et al. 2007).

Uma medida estatística paramétrica foi utilizada para quantificar a separabilidade das classes não queimado para as diferentes bandas do MERIS e MODIS (Tabela 1) em cada um dos dois locais de estudo. A medida de separabilidade utilizada foi a Divergência Paramétrica Transformada (TD), que é uma medida

comumente usada em análises de sensoriamento remoto a qual fornece uma distância de covariância ponderada entre as médias de classe para determinar se as assinaturas de classe são separáveis Eq. (1). A estimativa é limitada entre os valores de 0 (sem separabilidade) e 2 (completamente separável) (Jensen, 1996).

$$TD = 2 \left[1 - \exp \left(-\frac{D}{8} \right) \right], \quad (1)$$

$$D = \frac{1}{2} \text{tr}[(C_1 - C_2)(C_1^{-1} - C_2^{-1})] + \frac{1}{2} \text{tr}[(C_1^{-1} - C_2^{-1})(\mu_1 - \mu_2)(\mu_1 - \mu_2)^T]$$

Onde TD é a divergência transformada entre a classe 1 e a classe 2, C 1 é a matriz de covariância da classe 1, μ_1 é o vetor médio da classe 1, μ_2 é o vetor médio da classe 2, tr é a função de traço da matriz e T é a função de transposição da matriz. Neste estudo, a classe 1 foi definida pelas amostras de pixels não queimados da primeira aquisição de imagem e a classe 2 foi definida pelas amostras queimadas correspondentes da segunda aquisição de imagem (ou seja, pares não queimados) (HUANG *et al.* 2016). Além disso, por se tratar de locais de estudo, foi calculado um coeficiente de separabilidade médio para cada sensor.

Para a extração da cicatriz queimadas, um modelo de classificação é treinado para identificar os pixels queimados usando o espaço de recursos que consiste em todas as bandas de dados de reflectância do MODIS e MERIS. Pontos de incêndio obtidos do BDQueimadas nas mesmas datas das imagens utilizadas, foram usados como rótulos de treinamento para aprender o modelo de classificação. Em particular, foi selecionado amostras de treinamento positivas para a classe queimada de pixels com um ponto de área queimada, se eles formarem um aglomerado espacial de tamanho maior que 10 pixels. Essa seleção espacial é feita para eliminar pixels de fogo ativo pertencentes a queimaduras de subpixel. Amostras de treinamento negativo (classe não queimada) são selecionadas a partir de pixels que não têm um ponto de acesso de fogo ativo e/ou em feições não queimadas presentes nas imagens. A amostra de treinamento foi então usada como entrada para o classificador de Support Vector Machines (SVM).

Introduzida pela primeira vez por Vapnik (1995), as máquinas de vetores de suporte (SVM) para a classificação de imagens de sensoriamento remoto multiespectrais ganharam uma atenção cada vez maior (TAN *et al.* 2013; NOI E KAPPAS, 2015) principalmente em aplicações em áreas queimadas (PEREIRA *et al.* 2016; QIU *et al.* 2021). O SVM é um classificador binário não paramétrico que localiza o hiperplano ideal entre as duas classes para separá-las em um novo espaço de recursos de alta dimensão, levando em consideração apenas as amostras de treinamento que ficam na borda das distribuições de classe conhecidas como vetores de suporte (CRISTIANINI E RICCI, 2008; AWAD E KHANNA, 2015).

Os vetores de suporte são as amostras mais próximas do limite de decisão; isso significa que apenas os casos extremos são usados pelo SVM para separar as classes, resultando em alta precisão de classificação

e excelentes habilidades de generalização. Esse é o principal benefício de usar o SVM sobre os outros classificadores (TAN *et al.* 2013). Em geral, os SVMs são muito mais eficazes do que outros classificadores não paramétricos convencionais em termos de precisão de classificação, tempo computacional e estabilidade para configuração de parâmetros. Além disso, mostra que a menor sensibilidade ao problema ocorre pela maldição da dimensionalidade. Os detalhes a respeito da execução do SVM podem ser encontrados em (TAN *et al.* 2013; PAL E MATHER, 2005; NOI E KAPPAS, 2015).

A qualidade de um determinado mapa temático derivado de sensoriamento remoto é geralmente avaliada com base em uma comparação sistemática com outros mapas de melhor precisão também derivados de sensoriamento remoto. A avaliação da qualidade é geralmente realizada com base em medidas de verificação derivadas de Tabelas de Contingência generalizada na Tabela 2 (LIBONATI *et al.* 2015; STORY E CONGALTON, 1986). Com base nos valores elementares presentes nas Tabelas de Contingência, é possível calcular várias métricas de análise de acurácia temática. Neste estudo, as seguintes três medidas de verificação foram utilizadas: Erro de Omissão (EO) eq (2), Erro de Comissão eq (3) e o Coeficiente de Dados (DC) eq (4).

O erro de omissão (EO), definido como a fração de pixels queimados no mapa de referência que não foram classificados como tal no produto classificado:

$$EO = \frac{c}{a + c} \quad (2)$$

O erro de comissão (CE), definido como a fração de pixels classificados como queimados no produto BA que são pixels não queimados no mapa de referência:

$$CE = \frac{b}{a + b} \quad (3)$$

O coeficiente de dados (DC) que é uma medida de similaridade entre o classificador e o mapa de referência em termos do número de pixels queimados comuns:

$$DC = \frac{2a}{2a + b + c} \quad (4)$$

O EO e EC fornecem informações sobre a confiabilidade e o poder de discriminação do classificador desenvolvido. Uma classificação imparcial exibe um valor de tendência igual a um, enquanto uma tendência maior (menor) do que um indica que os eventos foram super (sub) classificados. Variando entre 0 e 1, DC mede a fração de sobreposição de pixels classificados como queimados para aqueles realmente queimados no mapa de referência.

Tabela 2. Tabela Genérica de Contingência entre os produtos de referência e mapas de área queimada.

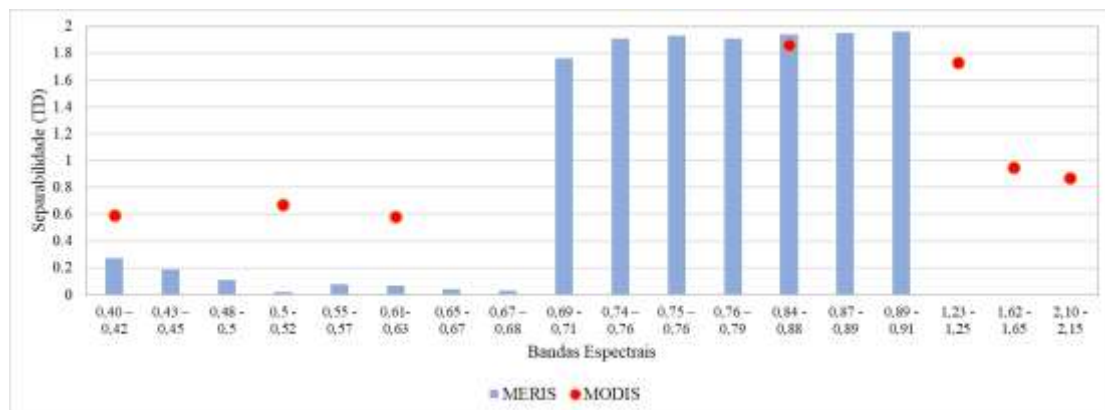
		Referência		
		Q	NQ	
Produto	Q	a	b	a +b
	NQ	c	d	c+d
		a+c	b+d	a+b+c+d

Fonte: Os autores (2022)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O índice de separabilidade TD médio para os sensores MERIS e MODIS está resumido na Figura 2. As bandas do visível no MERIS apresentaram baixa separabilidade em relação ao MODIS, entretanto, todas as bandas do infravermelho apresentaram índices de separabilidade próximos ao valor máximo. Isso pode estar relacionado a uma melhor resolução espectral do sensor MERIS, por conter bandas estreitas que caracterizam melhor a reflectância do alvo, além de reduzir os efeitos de mistura espectral.

Figura 2. Valores de separabilidade de área queimada e não queimadas para as bandas MERIS e MODIS (Tabela 1) da divergência transformada (TD).



Fonte: (Autor, 2022)

A região do infravermelho próximo teve a pontuação de separabilidade mais alta ($TD < 1$) em ambos os sensores. As bandas presentes na região do infravermelho médio (somente para o MODIS) demonstraram poder discriminatório moderado, enquanto os comprimentos de onda do visível apresentaram valores baixos de separabilidade ($TD > 1$). No geral, a faixa do infravermelho próximo, portanto, apresentou um alto desempenho na separabilidade de áreas queimadas e não queimadas, por outro lado, uma moderada distinção na região do infravermelho médio.

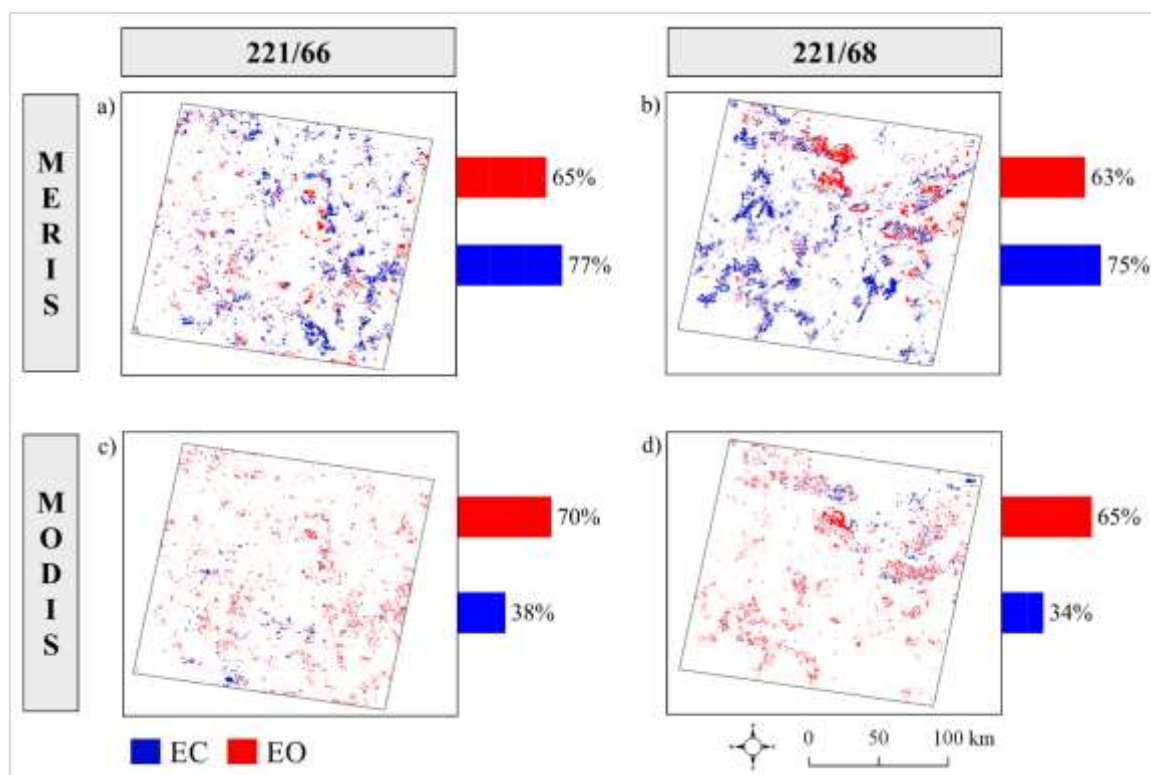
O alto poder discriminatório no infravermelho próximo é sustentado em vários estudos e tem sido amplamente considerado como a melhor região espectral para detectar e mapear áreas queimadas. Uma vez que a remoção ou queima da vegetação é fortemente sensível nessa faixa, implicando em uma queda

significativa da reflectância comparada à vegetação sadia e ao aumento do seu potencial de separabilidade espectral da cobertura terrestre afetada pelo fogo (LIZUNDIA-LOIOLA *et al.* 2020; ROY *et al.* 2021; CAMPAGNOLO *et al.* 2021; PEREIRA, 1999; NGADZE *et al.* 2020; ROTETA *et al.* 2019). A reflectância na faixa do SWIR aumenta após a queima, devido à remoção da vegetação retentora de água pelo fogo (VERAVERBEKE *et al.* 2011; PACHECO *et al.* 2021). Esse aumento da reflectância é maior do que nos comprimentos de onda visíveis e, por isso, o SWIR possui maior capacidade de separação de áreas queimadas e não queimadas (Figura 2), além da vantagem de detecção noturna e visibilidade sobre nuvens finas e fumaça.

Em estudos de Fernández-Manso e Quintano (2020), Pereira (1999); Amos *et al.* (2019), Schepers *et al.* (2014) mostraram a baixa capacidade dos comprimentos de onda do visível na distinção entre áreas queimadas. A explicação provável é devida as alterações da massa do aerossol na atmosfera, que podem causar flutuações consideráveis e, conseqüentemente, a diminuição da irradiância solar sobre superfícies escuras, causando a perda de contraste entre os diferentes tipos de cobertura do solo, em comprimentos nesta faixa espectral. Isso é verdade principalmente em dias quentes, quando, conforme o solo aquece, a mistura convectiva induzida pelo calor faz com que as partículas de aerossol sejam transportadas para altitudes e concentrações mais elevadas (KOPEIKA, 2003; PEREIRA, 1999). Além disso, o espalhamento não-seletivo dispersa todos os comprimentos de onda visíveis, em quantidades iguais, fazendo com que a fumaça e as nuvens pareçam brancas nas imagens, dificultando a separação de áreas queimadas (ASHRAF *et al.* 2011). Outro fator pode estar relacionado a áreas recentemente queimadas com incêndios intensos, onde a vegetação foi severamente afetada e a predominância de carvão e cinzas é significativa, e a reflectividade diminui, causando similaridade com as áreas escurecidas pela absorção da vegetação sadia no visível, principalmente na faixa do azul e vermelho no processo de fotossíntese (PEREIRA *et al.* 1999; SILVA JÚNIOR E PACHECO, 2021; TORRALBO E BENITO, 2012).

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial das medidas de erros de comissão (EC) e erro de omissão (EO), derivadas das tabelas de contingência dos mapas de área queimadas do MERIS e MODIS nas áreas de estudo.

Figura 3. Distribuição espacial das medidas de verificação das tabelas de contingência (OE e EC) para os mapas de área queimada classificados pelos sensores MERIS e MODIS versus o mapa de referência Aq30m sobre as órbitas/ponto (221/66) e (221/68).



Fonte: (Autores, 2022)

No geral, mesmo apresentando valores elevados, os mapas gerados pelo MERIS apresentaram menores erros de omissão em relação ao MODIS, embora sem variação significativa. O maior erro de omissão foi encontrado no MODIS (221/68) com 1344,5 Km² de área incorretamente classificada como “área não queimada”, enquanto o MERIS (221/68) foi de 1288,94 Km². Já a menor estimativa de erro de omissão para o MERIS (221/66) resultando numa subestimação de 1040,92 Km² de área queimada, em seguida o MODIS (221/66), com 1119,42 Km².

Divergindo do erro de omissão, os erros de comissão apresentaram menores estimativas para o MODIS nas duas áreas de estudo. O menor desempenho para os erros de comissão foi encontrado no MERIS (221/66), com 2316,94 Km² de área sem a atribuição correta da classe de área queimada, enquanto o MODIS (221/66) chegou a 295,32 Km². O mesmo comportamento foi encontrado na órbita/ponto (221/68), onde o MERIS superestimou 1794,94 Km² de área queimada, enquanto o MODIS, com cerca de 363,71 Km². A significativa distribuição de alarmes falsos compensados pela baixa detecção de área queimada superestimada, geradas pelas cenas MODIS, foi capaz de apresentar maior número de verdadeiros positivos e moderadas estimativas de DC em relação ao MERIS, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Valores de Coeficiente DC e Área de verdadeiros positivos (VP) para a classe de área queimada.

Texto	MERIS		MODIS	
	(221/66)	(221/68)	(221/66)	(221/68)
Coeficiente DC	28	30	40	45
Área (VP) (Km ²)	473,27	768,44	550,98	771,79

Fonte: (Autor, 2022)

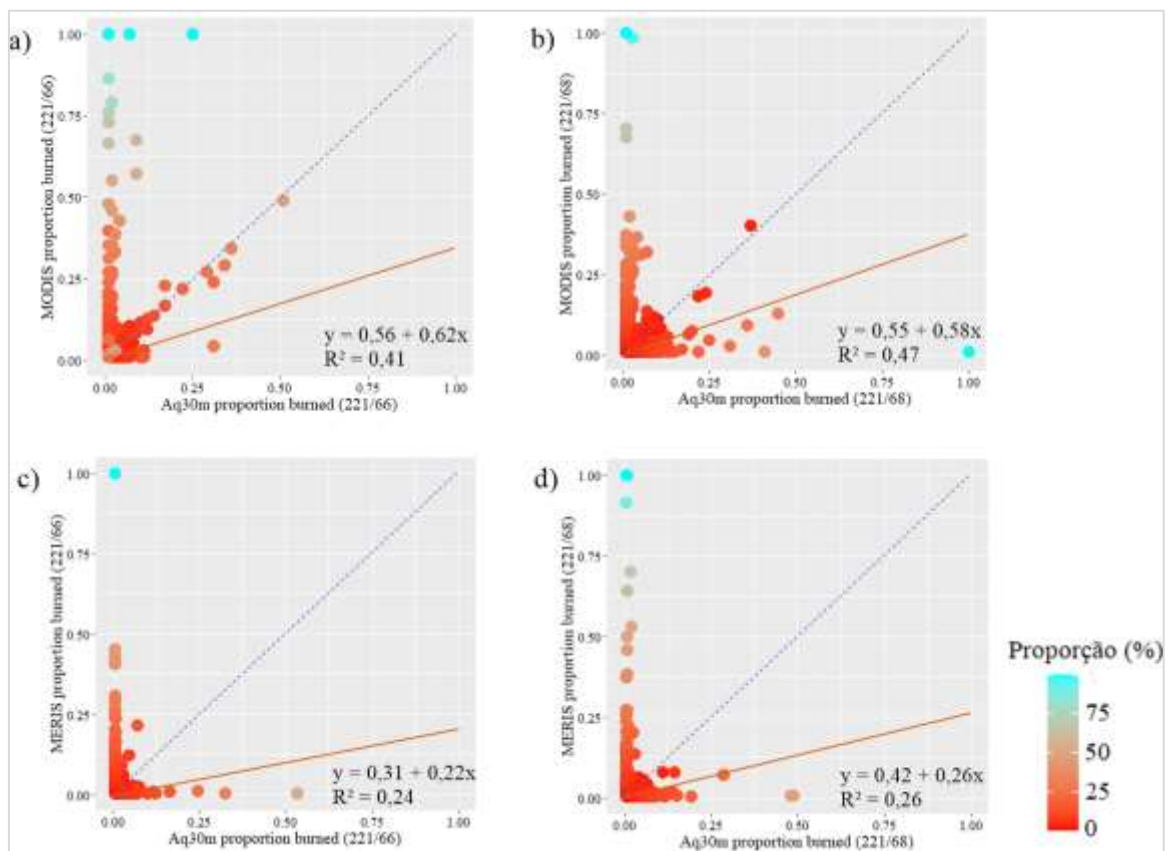
Os mapas gerados pelo MODIS apresentaram as maiores áreas verdadeiramente queimadas e coeficientes DC entre as orbitas/pontos, ou seja, menor sensibilidade aos erros de comissão e omissão. Ambos os mapas classificados mostraram uma tendência para os maiores erros de omissão (EO > 50%), isso é comum ao comparar imagens e dados de referência coletados em diferentes resoluções espaciais, onde o tamanho e a irregularidade dos alvos são determinantes para maiores erros de omissão e a predisposição de omitir 100% da área realmente queimada. Evidentemente, áreas queimadas pequenas e espacialmente fragmentadas detectadas pelo Landsat de 30m não são mapeadas pelo MERIS de 375m, e principalmente para o MODIS de 500m, onde a subestimação da área queimada foi mais relevante, demonstrado pelos altos erros de omissão (Figura 3). Em escala global, Hantson *et al.* (2013) mostraram que 36% a 86% dos perímetros de incêndio foram omitidos pelas detecções de incêndio ativas do MODIS, no entanto, os erros de omissão caíram significativamente para um máximo de 20% quando apenas incêndios maiores que 500 ha foram considerados. Hawbaker *et al.* (2008) mostraram que o MODIS detectou cerca de 82% dos incêndios e que a cobertura de nuvens afetou significativamente as taxas de detecção. No entanto, os dados e métodos eram substancialmente diferentes e os resultados provavelmente serão altamente dependentes da região e das condições climáticas correspondentes durante a temporada de incêndios. Já Benali *et al.* (2016) mapeou cerca de 40% dos incêndios acima de 350ha, embora tenha encontrado limitações temporais com os dados de referências espaciais. Nossos resultados mostraram que 65% dos incêndios acima de 200 ha foram detectados, e não encontramos um papel significativo da cobertura de nuvens nas omissões para o MODIS.

Embora a magnitude da queima detectada seja um indicador importante para o desempenho de um produto, é igualmente importante considerar o aspecto temporal da queima. Diante disso, o MERIS apresentou ligeiramente maiores erros de comissão, o que pode estar diretamente associado à incompatibilidade de 5 dias entre os períodos de detecção e validação gerada por imagens Landsat ao gerar os perímetros de fogo de referência, o que resultou em um aumento substancial na incerteza espacial. Ou seja, a dimensão da área queimada se estendeu significativamente desde a detecção do MERIS até a data do produto Aq30m. Essa dinâmica é suficientemente capaz de diminuir a aderência espacial entre os dados, mesmo com uma resolução especial ligeiramente maior em relação ao MODIS. Em estudos de Valencia *et al.* (2020), os autores encontraram disparidades temporais na qualidade da detecção de área queimada para

o sensor MERIS em relação ao MODIS, uma vez que a plataforma Terra pode trazer informações sobre a superfície terrestre 1 vez por dia e noite, enquanto Alonso-Canas e Chuvieco (2015), também utilizando o sensor MERIS, observaram um aumento de 15% para 47% de erros de omissão e comissão, especialmente quando imagens Landsat são utilizadas para obter os perímetros de referência com longa periodicidade.

Certo grau de erro de omissão e comissão é devido apenas à presença de pixels mistos Boschetti *et al.* (2004), e a matriz de erro não faz distinção entre esses erros inevitáveis e erros devido a erros de classificação. Por esse motivo, a matriz de erro e as métricas de precisão derivadas foram complementadas por uma avaliação de precisão com base em métricas de regressão linear. Os pixels detectados como queimados pelos produtos MODIS e MERIS são comparados aos dados de referência Aq30m. São apresentados gráficos de dispersão e os coeficientes da regressão por órbita/ponto. A inclinação da linha de regressão é uma indicação (a) da exatidão da detecção da área queimada, enquanto o Coeficiente de Determinação (R^2) é uma indicação da precisão (GIGLIO *et al.* 2018).

Figura 4. Gráficos de dispersão entre área queimada classificada com os dados MERIS e MODIS dentro de cada cena Landsat (Aq30m). Os valores de coeficiente de determinação (R^2) e Coeficientes de Reta também são exibidos.



Fonte: (Autor, 2022)

A análise mostra que o MODIS tem uma exatidão e precisão ligeiramente maior do que o MERIS nas duas áreas de estudo, mostrando assim que os erros de omissão e comissão gerados pelo MODIS tendem a se compensar significativamente comparado ao MERIS. Vale ressaltar que os resultados mostrados nos gráficos de dispersão estão relacionados a inúmeras variáveis complexas da detecção de áreas queimadas por satélites, embora seja importante destacar que a alta resolução espectral do MERIS nas bandas do visível e ausência da banda do SWIR realce a sensibilidade deste na detecção de fumaça, onde altera os valores de reflectância e adicionam considerável variabilidade às características espectrais dos pixels queimados e, às vezes, resultam em eventos de queima espúrios se houver presença de sinal de fogo ativo na vizinhança espacial. A presença de camadas de fumaça pesada é uma grande desvantagem em aplicações operacionais, impedindo a detecção de pontos de baixo albedo devido à atenuação do sinal espectral na atmosfera (PEREIRA *et al.* 2016). Por exemplo, Schroeder *et al.* (2008) avaliou a continuidade temporal do fogo ativo no Brasil usando o produto Geoestacionário Operacional Ambiental (GOES) e indicou que uma redução de 15% na contagem de incêndios ocorre devido ao obscurecimento causado por fumaça. Este problema é pouco sensível no sensor MODIS, uma vez que as bandas são originalmente obtidas com correção para as condições atmosféricas, como gases, aerossóis e espalhamento de Rayleigh. Além do seu processo de aquisição que leva em consideração um composto de 8 dias subsequentes de observação, em que os critérios para a escolha do “melhor pixel” incluem a menor proporção de nuvens, interferências atmosféricas e sensibilidade espectral temporal originada do ângulo zenital (VERMOTE, 2015).

Apesar do melhor desempenho do MODIS, a precisão do mapeamento foi diminuída por problemas de mistura espectral, comum em imagens de grossa resolução espacial. Ou seja, cada pixel MODIS corresponde 2,5 Km² no solo, o que resulta no fato de que um pixel contenha mais do que um tipo de cobertura de terreno. No MERIS, também são suscetíveis problemas de mistura espectral, já que cada pixel corresponde a 0,09 Km² no solo, entretanto, neste estudo, verificou-se maior contaminação espectral para o MODIS, sendo uma das razões para altos erros de omissão e ($R^2 < 0,5$). No geral, essa interferência ocorre nos pixels de área queimada presente nas bordas, nas quais ocorre maior frequência de pixels misturados e, conseqüentemente, gera a superestimação de área queimada em relação ao produto de validação.

CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada uma comparação de dois mapas de área queimada globalmente usados com uma avaliação local baseada em imagens Landsat (Aq30m) em resolução fina. Para isso, foram analisadas as características espaciais das manchas queimadas, derivadas das informações de nível de pixel e fornecidas por dados MODIS e MERIS classificados por SVM.

Os métodos de avaliação apresentados neste artigo confirmaram que o algoritmo MERIS e MODIS forneceram resultados aceitáveis. Ao estimar a área queimada total na amostra de validação projetada estatisticamente, o MERIS forneceu valores métricos de precisão mais baixos, mas comparáveis ao MODIS. O Coeficiente Dice apresentou valores baixos ($DC < 30$) e altas superestimções (75~77%) e subestimções (63~65%) enquanto o MODIS apesar das altas subestimções (65~70%), apresentou Coeficiente Dice moderadamente superiores ($DC < 45$) e baixa superestimções ($EC < 38\%$) nas duas áreas de estudo.

Os resultados apresentados confirmam as descobertas anteriores sobre a subestimação das áreas queimadas do sensoriamento remoto devido à omissão de pequenos incêndios, mas também destacam a subestimação potencial das áreas queimadas como consequência da alta incerteza no limite temporal, principalmente encontradas para o mapa gerado pelo MERIS, onde sua alta taxa de omissão não está diretamente ligada a alarmes falsos, uma vez que sua detecção foi anterior aos dados de referência. Ou seja, na avaliação da área queimada por produtos de validação o aspecto temporal deve ser seriamente levado em consideração, podendo ser o principal fator para a ocorrência de erros grosseiros. Com base nisso, a banda do SWIR ausente nos dados MERIS, numa análise de acurácia com produtos espaciais de datas próximas, podem não ser consideradas tão importantes quanto outros estudos mostraram, confirmadas pelas análises de separabilidade, uma vez que o desempenho na detecção da área queimada não mudou significativamente. A proximidade data do produto de validação potencializou os resultados para o sensor MODIS. Ao analisar a capacidade de discriminação das bandas MERIS, foi apontado que as bandas de borda vermelha são adequadas para mapear áreas queimadas devido aos seus maiores valores de separabilidade. Em estudos futuros exploraremos o uso dessas bandas para mapear áreas queimadas formulando um novo índice com elas.

O reconhecimento, quantificação dos vieses inerentes aos produtos de área queimada por Sensoriamento Remoto é importante dado que esses produtos provavelmente continuarão a ser a principal fonte de informação para estimativas de espaciais de incêndios florestais, e que tais estimativas são necessárias, a fim de ser capazes de monitorar os efeitos de queima e suas com implicações na composição atmosférica e no clima de longo prazo. Portanto, a análise minuciosa de precisão estabelecida neste estudo melhora a qualidade das informações normalmente oferecidas em outros produtos de área queimada gerados em nível regional e local.

REFERÊNCIAS

- ASHRAF, MUHAMMAD AQEEL AND MAAH, MOHD. JAMIL AND YUSOFF, ISMAIL, **Introduction to Remote Sensing of Biomass**, Biomass and Remote Sensing of Biomass, 2011.doi:10.5772/16462.
- ALONSO-CANAS, Itziar; CHUVIECO, Emilio. Global burned area mapping from ENVISAT-MERIS and MODIS active fire data. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 163, p. 140-152, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.03.011>.
- AWAD, Mariette; KHANNA, Rahul. Support Vector Machines for Classification. **Efficient Learning Machines**, [S.L.], p. 39-66, 2015. Apress. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4302-5990-9_3.
- AMOS, Craig; PETROPOULOS, George P.; FERENTINOS, Konstantinos P.. Determining the use of Sentinel-2A MSI for wildfire burning & severity detection. **International Journal Of Remote Sensing**, [S.L.], v. 40, n. 3, p. 905-930, 11 out. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2018.1519284>.
- BENALI, Akli; RUSSO, Ana; SÁ, Ana; PINTO, Renata; PRICE, Owen; KOUTSIAS, Nikos; PEREIRA, José. Determining Fire Dates and Locating Ignition Points With Satellite Data. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 8, n. 4, p. 326, 13 abr. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs8040326>.
- BRANDO, Paulo; MACEDO, Marcia; SILVÉRIO, Divino; RATTIS, Ludmila; PAOLUCCI, Lucas; ALENCAR, Ane; COE, Michael; AMORIM, Cristina. Amazon wildfires: scenes from a foreseeable disaster. **Flora**, [S.L.], v. 268, p. 151609, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2020.151609>.
- BOSCHETTI, Luigi; ROY, David P.; JUSTICE, Christopher O.; HUMBER, Michael L.. MODIS–Landsat fusion for large area 30 m burned area mapping. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 161, p. 27-42, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.022>.
- CRISTIANINI, Nello; RICCI, Elisa. Support Vector Machines. Encyclopedia Of Algorithms, [S.L.], p. 928-932, 2008. Springer US. http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-30162-4_415.
- CHUVIECO, Emilio; MOUILLOT, Florent; WERF, Guido R. van Der; MIGUEL, Jesús San; TANASE, Mihai; KOUTSIAS, Nikos; GARCÍA, Mariano; YEBRA, Marta; PADILLA, Marc; GITAS, Ioannis. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 225, p. 45-64, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.013>.
- CAMPAGNOLO, M.L.; LIBONATI, R.; RODRIGUES, J.A.; PEREIRA, J.M.C.. A comprehensive characterization of MODIS daily burned area mapping accuracy across fire sizes in tropical savannas. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 252, p. 112115, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2020.112115>.
- FLANNIGAN, M.D.; WOTTON, B.M.. Climate, Weather, and Area Burned. **Forest Fires**, [S.L.], p. 351-373, 2001. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-012386660-8/50012-x>.
- FERNÁNDEZ-MANSO, Alfonso; QUINTANO, Carmen. A Synergetic Approach to Burned Area Mapping Using Maximum Entropy Modeling Trained with Hyperspectral Data and VIIRS Hotspots. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 858, 6 mar. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12050858>.

FILIPPONI, Federico. Exploitation of Sentinel-2 Time Series to Map Burned Areas at the National Level: a case study on the 2017 Italy wildfires. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 11, n. 6, p. 622, 14 mar. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs11060622>.

HUANG, Haiyan; ROY, David; BOSCHETTI, Luigi; ZHANG, Hankui; YAN, Lin; KUMAR, Sanath; GOMEZ-DANS, Jose; LI, Jian. Separability Analysis of Sentinel-2A Multi-Spectral Instrument (MSI) Data for Burned Area Discrimination. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 8, n. 10, p. 873, 22 out. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs8100873>.

HANTSON, Stijn; PADILLA, Marc; CORTI, Dante; CHUVIECO, Emilio. Strengths and weaknesses of MODIS hotspots to characterize global fire occurrence. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 131, p. 152-159, abr. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.004>.

HAWBAKER, Todd J.; RADELOFF, Volker C.; SYPHARD, Alexandra D.; ZHU, Zhiliang; STEWART, Susan I.. Detection rates of the MODIS active fire product in the United States. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 112, n. 5, p. 2656-2664, maio 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2007.12.008>.

Jensen, J.R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**, 2nd ed.; Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, USA, 1996.

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B.. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 707-713, jun. 2005. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>.

LIZUNDIA-LOIOLA, Joshua; OTÓN, Gonzalo; RAMO, Rubén; CHUVIECO, Emilio. A spatio-temporal active-fire clustering approach for global burned area mapping at 250 m from MODIS data. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 236, p. 111493, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2019.111493>

LIBONATI, Renata; DACAMARA, Carlos; SETZER, Alberto; MORELLI, Fabiano; MELCHIORI, Arturo. An Algorithm for Burned Area Detection in the Brazilian Cerrado Using 4 µm MODIS Imagery. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 7, n. 11, p. 15782-15803, 24 nov. 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs71115782>.

MORGAN, Penelope; KEANE, Robert E.; DILLON, Gregory K.; JAIN, Theresa B.; HUDAK, Andrew T.; KARAU, Eva C.; SIKKINK, Pamela G.; HOLDEN, Zachary A.; STRAND, Eva K.. Challenges of assessing fire and burn severity using field measures, remote sensing and modelling. **International Journal Of Wildland Fire**, [S.L.], v. 23, n. 8, p. 1045, 2014. CSIRO Publishing. <http://dx.doi.org/10.1071/wf13058>.

NOI, Phan Thanh; KAPPAS, Martin. Comparison of Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine Classifiers for Land Cover Classification Using Sentinel-2 Imagery. **Sensors**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 18, 22 dez. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s18010018>.

Ngadze F, Mpakairi KS, Kavhu B, Ndaimani H, Maremba MS (2020) Exploring the utility of Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI in burned area mapping for a heterogenous savannah landscape. **PLoS ONE** (2020), 15(5): e0232962. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232962>

OLIVA, P.; MARTÍN, P.; CHUVIECO, E.. Burned area mapping with MERIS post-fire image. **International Journal Of Remote Sensing**, [S.L.], v. 32, n. 15, p. 4175-4201, 10 ago. 2011. Informa UK Limited.

<http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2010.489062>.

PACHECO, A.d.P.; Junior, J.A.d.S.; Ruiz-Armenteros, A.M.; Henriques, R.F.F. Assessment of k-Nearest Neighbor and Random Forest Classifiers for Mapping Forest Fire Areas in Central Portugal Using Landsat-8, Sentinel-2, and Terra Imagery. *Remote Sens.* 2021, 13, 1345. <https://doi.org/10.3390/rs13071345>

PAL, M.; MATHER, P. M.. Support vector machines for classification in remote sensing. **International Journal Of Remote Sensing**, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 1007-1011, mar. 2005. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160512331314083>.

PENHA, Thales Vaz; KÖRTING, Thales Sehn; FONSECA, Leila Maria Garcia; SILVA JÚNIOR, Celso Henrique Leite; PLETSCH, Mikhaela Aloísia Jessie Santos; ANDERSON, Liana Oighenstein; MORELLI, Fabiano. Burned Area Detection in the Brazilian Amazon using Spectral Indices and GEOBIA. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.L.], v. 72, n. 2, p. 253-269, 22 jun. 2020. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv72n2-48726>.

PEREIRA, Allan; PEREIRA, José; LIBONATI, Renata; OOM, Duarte; SETZER, Alberto; MORELLI, Fabiano; MACHADO-SILVA, Fausto; CARVALHO, Luis de. Burned Area Mapping in the Brazilian Savanna Using a One-Class Support Vector Machine Trained by Active Fires. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 9, n. 11, p. 1161, 14 nov. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs9111161>.

PEREIRA, J.M.C.. A comparative evaluation of NOAA/AVHRR vegetation indexes for burned surface detection and mapping. *Ieee Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, [S.L.], v. 37, n. 1, p. 217-226, 1999. **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**. <http://dx.doi.org/10.1109/36.739156>.

QIU, Jie; WANG, Heng; SHEN, Wenjuan; ZHANG, Yali; SU, Huiyi; LI, Mingshi. Quantifying Forest Fire and Post-Fire Vegetation Recovery in the Daxin'anling Area of Northeastern China Using Landsat Time-Series Data and Machine Learning. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 792, 21 fev. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs13040792>.

ROY, D.P.; LI, Z.; GIGLIO, L.; BOSCHETTI, L.; HUANG, H.. Spectral and diurnal temporal suitability of GOES Advanced Baseline Imager (ABI) reflectance for burned area mapping. **International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation**, [S.L.], v. 96, p. 102271, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2020.102271>.

ROTETA, E.; BASTARRIKA, A.; PADILLA, M.; STORM, T.; CHUVIECO, E.. Development of a Sentinel-2 burned area algorithm: generation of a small fire database for sub-saharan africa. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 222, p. 1-17, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.011>.

REIS, Simone Matias; LENZA, Eddie; MARIMON, Beatriz Schwantes; GOMES, Letícia; FORSTHOFER, Mônica; MORANDI, Paulo Sérgio; MARIMON JUNIOR, Ben Hur; FELDPAUSCH, Ted R.; ELIAS, Fernando. Post-fire dynamics of the woody vegetation of a savanna forest (Cerradão) in the Cerrado-Amazon transition zone. **Acta Botanica Brasilica**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 408-416, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-33062015abb0009>.

SILVA, Patrícia S.; BASTOS, Ana; LIBONATI, Renata; RODRIGUES, Julia A.; DACAMARA, Carlos C.. Impacts of the 1.5 °C global warming target on future burned area in the Brazilian Cerrado. **Forest Ecology And**

Management, [S.L.], v. 446, p. 193-203, ago. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.047>.

SHIMABUKURO, Yosio Edemir; DUTRA, Andeise Cerqueira; ARAI, Egidio; DUARTE, Valdete; CASSOL, Henrique Luís Godinho; PEREIRA, Gabriel; CARDOZO, Francielle da Silva. Mapping Burned Areas of Mato Grosso State Brazilian Amazon Using Multisensor Datasets. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 12, n. 22, p. 3827, 21 nov. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12223827>.

SCHROEDER, Wilfrid; CSISZAR, Ivan; MORISETTE, Jeffrey. Quantifying the impact of cloud obscuration on remote sensing of active fires in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 112, n. 2, p. 456-470, fev. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2007.05.004>

SCHMIDT IB, FIGUEIREDO IB, SCARIOT A (2007) Ethnobotany and Effects of Harvesting on the Population Ecology of *Syngonanthus nitens* (Bong.) Ruhland (Eriocaulaceae), a NTFP from Jalapão Region, Central Brazil. *Econ Bot* 61: 73–85.

SANTOS, V.E. MARTINS, A.R. FERREIRA, M.I. O Processo de Ocupação do Bioma Cerrado e a Degradação do Subistema Vereda no Sudeste de Goiás. **XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 12., 2009, Viçosa. Anais... Viçosa: SBGFA, Eixo 2. 200 p. Disponível:https://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo2/005.pdf

SILVA JUNIOR, Juarez Antonio; PACHECO, Admilson da Penha. Avaliação de incêndio em ambiente de Caatinga a partir de imagens Landsat-8, índice de vegetação realçado e análise por componentes principais. **Ciência Florestal**, [S.L.], v. 31, n. 1, p. 417-439, 15 mar. 2021. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509843818>.

TANASE, Mihai A.; BELENGUER-PLOMER, Miguel A.; ROTETA, Ekhi; BASTARRIKA, Aitor; WHEELER, James; FERNÁNDEZ-CARRILLO, Ángel; TANSEY, Kevin; WIEDEMANN, Werner; NAVRATIL, Peter; LOHBERGER, Sandra. Burned Area Detection and Mapping: intercomparison of sentinel-1 and sentinel-2 based algorithms over tropical africa. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 334, 20 jan. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12020334>.

TORRALBO, F A; BENITO, A. Landsat and MODIS Images for Burned Areas Mapping in Galicia, Spain. (Dissertação de Mestrado em Geoinformática) – School of Architecture and the Built Environment Royal Institute of Technology (KTH) Stockholm, Sweden, p. 71. 2012.

TAN, Xicheng; SONG, Yang; XIANG, Wenting. Remote Sensing Image Classification Based on SVM and Object Semantic. **Geo-Informatics In Resource Management And Sustainable Ecosystem**, [S.L.], p. 748-755, 2013. Springer Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-45025-9_73.

VALENCIA, Germán M.; ANAYA, Jesús A.; VELÁSQUEZ, Éver A.; RAMO, Rubén; CARO-LOPERA, Francisco J.. About Validation-Comparison of Burned Area Products. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 12, n. 23, p. 3972, 4 dez. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12233972>.

VAPNIK, V.: **The Nature of Statistical Learning Theory**. Springer, New York (1995)

VERMOTE, E. MOD09A1 MODIS/Terra Surface Reflectance 8-Day L3 Global 500m SIN Grid V006 (2015). NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD09A1.006>

VERAVERBEKE, S.; HARRIS, S.; HOOK, S.. Evaluating spectral indices for burned area discrimination using MODIS/ASTER (MASTER) airborne simulator data. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 115, n. 10, p. 2702-2709, out. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.06.010>.

SCHEPERS, Lennert; HAEST, Birgen; VERAVERBEKE, Sander; SPANHOVE, Toon; BORRE, Jeroen Vanden; GOOSSENS, Rudi. Burned Area Detection and Burn Severity Assessment of a Heathland Fire in Belgium Using Airborne Imaging Spectroscopy (APEX). **Remote Sensing**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 1803-1826, 27 fev. 2014. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs6031803>.

SAULINO, Luigi; RITA, Angelo; MIGLIOZZI, Antonello; MAFFEI, Carmine; ALLEVATO, Emilia; GARONNA, Antonio Pietro; SARACINO, Antonio. Detecting Burn Severity across Mediterranean Forest Types by Coupling Medium-Spatial Resolution Satellite Imagery and Field Data. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 741, 24 fev. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12040741>

TSELA, Philemon; HELDEN, P. & Frost, PHILIP & Wessels, K. & ARCHIBALD, Sally. Validation of the MODIS burned-area products across different biomes in South Africa. **International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**. (2010). <http://dx.doi.org/10.1109/IGARSS.2010.5650253>.