

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS- *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Luana Kássia Gomes Linhares

**CARACTERIZAÇÃO MULTI ESPECTRAL NA DISTINÇÃO DE FOCOS ATIVOS E
FALSOS ALERTA DE QUEIMA EM UMA ÁREA DO CERRADO**

São João Evangelista

2024

LUANA KÁSSIA GOMES LINHARES

**CARACTERIZAÇÃO MULTI ESPECTRAL NA DISTINÇÃO DE FOCOS ATIVOS E
FALSOS ALERTA DE QUEIMA EM UMA ÁREA DO CERRADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus São João Evangelista* para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Jonathan da Rocha Miranda

São João Evangelista

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

L755c Linhares, Luana Kássia Gomes.

Caracterização multi espectral na distinção de focos ativos e falsos alerta de queima em uma área do cerrado / Luana Kássia Gomes
Linhares. – 2024.

31f.: il.

Orientador: Dr. Jonathan da Rocha Miranda.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Engenharia Florestal) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2024.

1. One R. 2. Assinatura Espectral. 3. Sensor MODIS. I. Linhares, Luana Kássia Gomes. II. Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 634.9618

Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/MG-003372/P


LUANA KÁSSIA GOMES LINHARES

**CARACTERIZAÇÃO MULTI ESPECTRAL NA DISTINÇÃO DE FOCOS ATIVOS E
FALSOS ALERTA DE QUEIMA EM UMA ÁREA DO CERRADO**


Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Jonathan da Rocha Miranda


Aprovado em 09 de fevereiro 2024.

Documento assinado digitalmente
 **JONATHAN DA ROCHA MIRANDA**
Data: 15/02/2024 10:40:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Presidente: Dr. Jonathan da Rocha Miranda – IFMG

Documento assinado digitalmente
 **TAMIRES PARTELLI CORREIA**
Data: 15/02/2024 16:52:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro 1: Dra. Tamires Partélli Correia - IFSUDESTEMG

Documento assinado digitalmente
 **RICARDO GOMES DE OLIVEIRA**
Data: 15/02/2024 10:59:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro 2: Ms. Ricardo Gomes de Oliveira -IFMG

São João Evangelista

2024

RESUMO

Este trabalho avalia a eficácia do algoritmo OneR no monitoramento de focos de queima, utilizando bandas espectrais e índices de vegetação na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros. A pesquisa se concentrou na comparação entre o uso exclusivo de bandas espectrais e a combinação destas com índices de vegetação para identificar focos ativos de incêndio e diferenciar de falsos alertas. A acurácia, precisão e recall foram as métricas principais utilizadas para avaliar o desempenho do modelo. Os resultados indicaram que o uso isolado de bandas espectrais, especialmente aquelas relacionadas ao MIRBI, demonstrou alta eficiência, com métricas de desempenho superiores a 0,9, sugerindo que um modelo simplificado pode ser suficiente e até preferível em situações operacionais onde a rapidez de resposta é crítica. A inclusão de índices de vegetação não melhorou significativamente a performance do modelo e, em alguns casos, reduziu a precisão da detecção de queima. Essas descobertas sublinham a importância da seleção criteriosa de características espectrais e reforçam a viabilidade de modelos simplificados para uma resposta rápida e eficaz no monitoramento de incêndios, otimizando os recursos e melhorando a gestão ambiental na área estudada. Este estudo contribui para o campo do monitoramento ambiental por sensoriamento remoto, propondo uma abordagem otimizada para a detecção de incêndios florestais em áreas protegidas.

Palavras-chave: One R. Assinatura Espectral. Sensor MODIS.

ABSTRACT

This work evaluates the effectiveness of the OneR algorithm in monitoring fire outbreaks using spectral bands and vegetation indices in the Pandeiros River Environmental Protection Area. The research focused on comparing the use of spectral bands alone and their combination with vegetation indices to identify active fire outbreaks and differentiate them from false alerts. Accuracy, precision and recall were the main metrics used to evaluate the model's performance. The results indicated that the isolated use of spectral bands, especially those related to MIRBI, demonstrated high efficiency, with performance metrics higher than 0.9, suggesting that a simplified model may be sufficient and even preferable in operational situations where speed of response is critical. The inclusion of vegetation indices did not significantly improve the model's performance and, in some cases, reduced the accuracy of burn detection. These findings underline the importance of careful selection of spectral features and reinforce the feasibility of simplified models for rapid and effective response in fire monitoring, optimizing resources and improving environmental management in the area studied. This study contributes to the field of environmental monitoring by remote sensing, proposing an optimized approach for detecting forest fires in protected areas.

Keywords: One R. Spectral signature. MODIS sensor.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 MATERIAL E MÉTODOS	11
2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo	11
2.2 Descrição dos dados	12
2.3 Índices Espectrais	13
2.4 Análise dos focos de queima	14
2.5 Distinção dos focos ativos aos falso alerta	14
2.6 Índice de separabilidade	15
2.7 Análise de regra	15
2.8 Validação do conjunto de regras de separabilidade de focos de queima	16
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4 CONCLUSÕES	26
REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

A análise do Cerrado, considerando sua biodiversidade, endemismo e os desafios associados ao desmatamento e incêndios, requer uma abordagem multidisciplinar, englobando aspectos biológicos, ecológicos e tecnológicos. O Cerrado, como o segundo maior bioma da América do Sul e do Brasil, desempenha um papel crucial em termos de biodiversidade, com taxas significativas de endemismo (DA SILVA; BATES, 2002). A flora do Cerrado, com cerca de 44% de espécies endêmicas, e a fauna, particularmente anfíbios e répteis com taxas de endemismo de 30% e 20% respectivamente, destacam a singularidade ecológica deste bioma (RIBEIRO; WALTER, 2008).

A perda de biodiversidade no Cerrado, influenciada principalmente pelo extrativismo e pela expansão agrícola, reflete um problema ambiental grave e multifacetado. A expansão dessas atividades implica em desmatamento, um fator que tem sido frequente na região do Cerrado (VIEIRA, 2021). Essa realidade é corroborada pelo estudo de Strassburg *et al.* (2017), que aponta o Cerrado como o bioma com uma das maiores taxas de desmatamento no Brasil, além de registrar o maior número de incêndios florestais e áreas queimadas.

As queimadas antropogênicas têm consequências severas para o bioma, devido à ocorrência de grandes proporções de fogo em qualquer época do ano (LIMA, 2017). O uso do fogo para remover vegetação para o cultivo agrícola ou para pastagens é uma prática comum, mas muitas vezes essas queimadas saem do controle e se transformam em grandes incêndios (SCHMIDT; ELOY, 2020). Essa prática não apenas contribui para a perda de biodiversidade, mas também afeta negativamente os ciclos biogeoquímicos e os processos microbiológicos do solo (VADREVU *et al.*, 2019).

Para a preservação efetiva do Cerrado, torna-se imperativo implementar sistemas robustos de monitoramento contínuo. Este monitoramento visa identificar os focos de incêndio, determinando sua origem e severidade, aspectos vitais para o combate e fiscalização de incêndios florestais. No entanto, o monitoramento *in situ* das áreas queimadas e da gravidade dos incêndios, apesar de essencial, apresenta-se como um desafio logístico e financeiro (PIVELLO, 2011).

A área de proteção ambiental (APA) do Rio Pandeiros, sendo a maior unidade de conservação de Minas Gerais com uma área de 3.801,81km², exemplifica bem esta

problemática. Como apontado pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF) em 2015, esta área de proteção ambiental sofre impactos significativos devido aos incêndios florestais.

O objetivo principal das APAs é preservar os elementos abióticos, bióticos, estéticos e culturais essenciais para a manutenção dos ecossistemas naturais e para a qualidade de vida das comunidades locais (BRASIL, 2000). No entanto, a eficácia da fiscalização e do monitoramento em tais áreas extensas é frequentemente comprometida por vários fatores, incluindo recursos humanos limitados e desafios logísticos (DIAS *et al.*, 2017).

Neste contexto, o papel dos gestores ambientais e das políticas de conservação torna-se ainda mais crucial. Com apenas 15 pessoas responsáveis pelas atividades de combate e monitoramento periódico dos focos de incêndios, conforme mencionado pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD, 2013), surge a necessidade de estratégias mais eficientes e tecnologicamente avançadas (MIRANDA; SALES; NASCIMENTO, 2015). A utilização de tecnologias de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica (GIS) pode oferecer uma solução parcial para esse desafio. Estas ferramentas permitem um monitoramento mais abrangente e em tempo real, possibilitando a detecção precoce de focos de incêndio e a implementação de medidas de combate mais efetivas (PEREIRA *et al.*, 2017).

Por apresentar uma alta resolução temporal de 2 dias e capacidade de conseguir dados de áreas extensas e em diversas regiões do espectro eletromagnético, o sensor MODIS vem sendo cada vez mais utilizado, se destacando no mapeamento de queimadas nos diferentes biomas terrestres. Sendo o produto MODIS de anomalias termais (MOD14/MYD14) muito utilizado nos estudos de incêndios (SANTANA *et al.*, 2020).

Entretanto, este produto enfrenta desafios notáveis. Um dos principais problemas relacionados à resolução espacial do sensor MODIS é a mistura espectral, que pode resultar em erros de comissão, identificando incorretamente regiões vizinhas como focos de queima, um fenômeno conhecido como falso alerta (SCHROEDER *et al.*, 2008).

A utilização de dados multiespectrais, como os oferecidos pelo produto de superfície de refletância MOD09GA, proporciona uma importante camada adicional de informações. Estes dados podem ser coletados simultaneamente aos produtos de focos de queima, permitindo uma análise mais profunda e abrangente das áreas impactadas pelos incêndios. Assim, surge a possibilidade de distinguir entre um foco de queima ativo e um falso alerta com maior precisão.

Portanto, o objetivo de uma pesquisa neste contexto seria desenvolver uma abordagem baseada em um conjunto de regras capazes de estabelecer critérios de

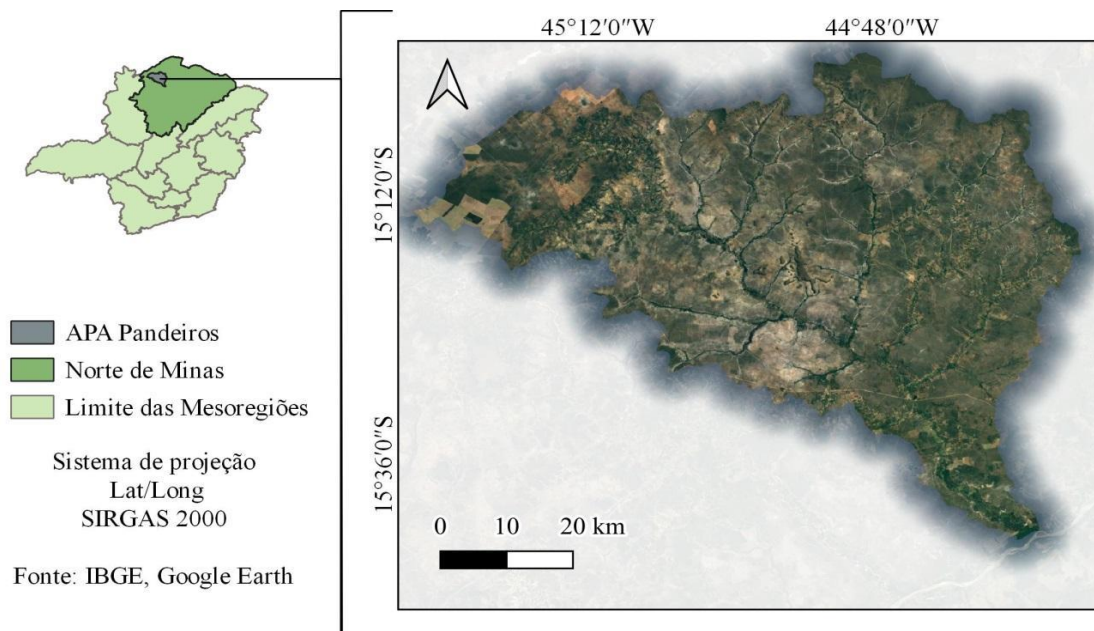
separabilidade entre um foco ativo e um falso alerta, com base no comportamento espectral. Esta abordagem pode aumentar significativamente a precisão na identificação de focos de incêndio, melhorando assim as estratégias de resposta e manejo ambiental. A eficácia desta metodologia depende de uma análise detalhada dos dados de sensoriamento remoto e do desenvolvimento de algoritmos específicos para interpretar as nuances do comportamento espectral em diferentes condições e contextos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

A APA Pandeiros se localiza na região norte do estado de Minas Gerais, ocupando parte dos municípios de Januária, Cônego Marinho e Bonito de Minas (Figura 1), sendo o Instituto Estadual de Florestas do Estado de Minas Gerais (IEF-MG), responsável pela sua administração, desempenhando a função de elaboração de projetos, na gestão e fiscalização da área (BETHONICO, 2009).

Figura 1. Delimitação espacial da APA Pandeiros.



Segundo a classificação de Köppen o clima que predomina na região da APA Pandeiros é o tropical de savana (Aw), com duas estações bem definidas, caracterizado por uma estação chuvosa no verão e outra bem seca no inverno. As temperaturas médias dessa APA Pandeiros variam de 15,5 °C a 26,4 °C, da qual os meses de outubro a fevereiro são os períodos mais quentes e junho e julho são os meses que apresenta temperaturas mínimas. Apresenta um período chuvoso nos meses de outubro a março, sendo responsável por 92% da precipitação anual da região, com uma umidade relativa do ar que varia entre 56,8% a 82,6% com uma precipitação média anual de 966 mm podendo chegar até a 1.200 mm (CANGUSSU *et al.*, 2009).

2.2 Descrição dos dados

Foram utilizados dados da superfície terrestre para os anos de 2015 a 2022, referente a focos de queima (MOD14A1), área queimada (MCD64A1) e reflectância da superfície (MOD09GA).

Tabela 1. Especificação dos produtos da superfície terrestre quanto a variável, resolução espacial e temporal.

Descrição	Produto	Resolução	
		Espacial	Temporal
Refletância da superfície	MOD09GA	250 m	Diário
Focos de queima	MOD14A1	1000 m	Diário
Área Queimada	MCD64A1	500 m	Mensal

Fonte: BARKER *et al.*, 1992, p.84.

O produto MOD09GA se refere a uma estimativa da reflectância espectral da superfície, dividido em 7 bandas, situadas na faixa espectral entre 620 a 2155 nm (Tabela 2). As imagens fornecem uma estimativa da reflectância tomada a nível do solo, sendo corrigido os efeitos de dispersão e absorção da atmosfera (VERMOTE, E.; WOLFE, 2015).

Tabela 2. Descrição das bandas do produto MOD09GA reflectância da superfície.

Bandas	Descrição	Comprimento de onda (nm)
B01	Red	620-670
B02	NIR	841-876
B03	Blue	459-479
B04	Green	545-565
B05	SWIR1 (infravermelho de ondas curtas)	1230-1250
B06	SWIR2	1628-1652
B07	SWIR3	2105-2155

Fonte: BARKER *et al.*, 1992, p.84.

O produto MOD14A1, refere-se à radiância na faixa espectral de 4 e 11 nm que detecta os focos de calor cuja a energia emitida seja forte suficiente que lhe assegure se tratar de um incêndio, esta distinção leva em consideração a variabilidade da temperatura e o reflexo da luz solar (GIGLIO e COLAB, 2016).

O produto MCD64A1 é uma combinação dos dados dos satélites Terra e Aqua que utiliza a faixa espectral de micrômetros para compor o índice de vegetação sensível à

queima. O registro do *pixel* é dado pela data em dia juliano aproximada da ocorrência do incêndio (GIGLIO *et al.*, 2018).

2.3 Índices Espectrais

A partir das imagens de refletância de superfície do sensor MODIS foram calculados os índices espectrais para toda a série temporal de oito anos (2015 a 2022). Os índices adotados para o trabalho foram: Índice de queimada por razão normalizada (NBR) (Equação 1), Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (Equação 2), e Índice de queima de infravermelho médio (MIRBI) (Equação 3).

$$\text{NBR} = \frac{\text{NIR} - \text{LSWIR}}{\text{NIR} + \text{LSWIR}} \quad (1),$$

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}} \quad (2),$$

$$\text{MIRBI} = 10\text{LSWIR} - 9,8\text{SSWIR} + 2 \quad (3),$$

onde R é a banda do vermelho, NIR é a banda do infravermelho próximo, SSWIR é a banda do infravermelho de ondas curtas e LSWIR é outra banda do infravermelho de ondas curtas.

O NBR é um dos índices mais comumente usado para identificar áreas queimadas, expressa como uma razão entre as bandas de infravermelho próximo (NIR) e infravermelho médio (SWIR). Desta maneira os valores de NBR diferenciam entre -1 e +1, no qual os valores mais próximos de -1 representam às áreas queimadas (BRAGA, 2016).

O índice NDVI é usado para estimar a biomassa e cobertura vegetal que contém na área que esta sendo analisada, além de identificar alteração de padrão de uso e cobertura da terra. Seu cálculo é feito a parti da diferença entre as bandas do vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR) (SILVA, 2015). Os valores de NDVI oscilam entre 1 a -1, em que valores próximos a 1 apresentam um maior vigor vegetativo, em compensação os que são mais próximos a 0 (zero) apontam superfície com baixo vigor vegetativo ou não vegetada (GOUVEIA *et al.*, 2021).

O índice MIRBI foi idealizado para o mapeamento de áreas queimadas por meio de imagens MODIS, este índice utiliza bandas do infravermelho de ondas curtas: SWIR (1.628-1653 nm) e LSWIR (2.105-2.155 nm) do sensor MODIS. Ao contrário dos outros índices, o índice MIRBI confere á área queimada um tom mais claro (SILVA, 2015).

2.4 Análise dos focos de queima

Para validar os focos de queima foram realizados o cruzamento das informações das imagens do Sensor MODIS, focos de queima produto MOD14A1 e área queimada produto MCD64A1, sendo analisado mensalmente para o período de 2015 a 2022.

O processo de validação foi efetuado por meio da rotina no *Google Earth Engine*, capaz de realizar as seguintes operações:

- **Reclassificação dos Dados:** As imagens de ambos os conjuntos de dados são reclassificadas. Para o MOD14A1, os pixels que representam focos de queima são identificados (valores maiores que 6). Para o MCD64A1, os pixels que indicam cicatrizes de queima são identificados (valores maiores que 1).
- **Cruzamento dos Dados:** Os dados reclassificados dos dois produtos foram comparados. Se um foco de queima (MOD14A1) coincide com uma cicatriz de queima (MCD64A1), é classificado como um foco ativo (valor 2). Se não coincide, é considerado um falso alerta (valor 1).
- **Análise Espectral:** Os focos de queima detectados são inicialmente convertidos em coordenadas pontuais. A cada um desses pontos, são então atribuídos valores de reflectância da superfície (MOD09GA).

Esses valores são coletados em dois momentos distintos: No exato instante em que o foco de queima foi registrado e também uma semana antes do evento de queima. Este procedimento é crucial para garantir uma comparação adequada do comportamento espectral da área afetada antes e após o evento de queima.

2.5 Distinção dos focos ativos aos falso alerta

De posse dos pontos de focos de queima para os anos de 2015 a 2022, foram organizados e tabelados para a caracterização do comportamento espectral de um foco de queima presente em uma cicatriz de queima e para os falsos alertas bem como sua distinção nos índices espectrais. Posteriormente foram analisado a série temporal dos focos de queima para cada componente espectral estabelecendo o intervalo de confiança a 95%. Neste sentido, foi avaliado ao longo dos anos o comportamento espectro temporal e estabelecer a diferença

normalizada entre as bandas que houve maior valor de divergência entre os focos de queima ativos em relação ao falso alerta.

2.6 Índice de separabilidade

O índice de separabilidade M é um estimador da razão sinal /ruído, o sinal é representado pela diferença absoluta entre as médias das classes e a soma dos desvios padrões representa a o ruído. Valores de M menores que 1, indica baixa separabilidade, ou seja, as classes não apresentam diferenças espectrais entre si, e valores maiores que 1 indica boa separabilidade das classes (PEREIRA *et al.*, 2015).

$$M = |\mu_{nq} - \mu_q| / (\sigma_{nq} + \sigma_q)$$

Onde μ_{nq} (σ_{nq}) e μ_q (σ_q) são respectivamente a média (desvio padrão) dos conjuntos de valores de pixels antes e durante a queima.

2.7 Análise de regra

O algoritmo OneR, dentro do ambiente do WEKA, é projetado para identificar a regra mais representativa de um conjunto de dados, focando em uma única característica preditiva (SUNITA B AHER; LOBO L M R J, 2011). O critério primordial para a seleção desta regra é a minimização do erro de classificação no conjunto de treinamento. O algoritmo executa esta tarefa ao determinar a classe predominante para um atributo específico, e a regra que exibe a mais alta acurácia é adotada como representante do modelo. Em situações onde múltiplas regras apresentam acurácia comparável, o OneR seleciona aleatoriamente entre elas (PARSANIA; JANI; BHALODIYA, 2014).

Para a validação do conjunto de regras empregado na identificação de focos de queima, adotou-se a metodologia de validação cruzada em 10 *folds*. Esse procedimento envolve a segmentação do conjunto de dados em dez subdivisões iguais, cada uma alternadamente usada como conjunto de teste e de treino. As variáveis independentes na análise consistiram nos valores de reflectância da superfície e índices associados, coletados em locais específicos. A variável dependente, por sua vez, foi a identificação da presença de focos de queima.

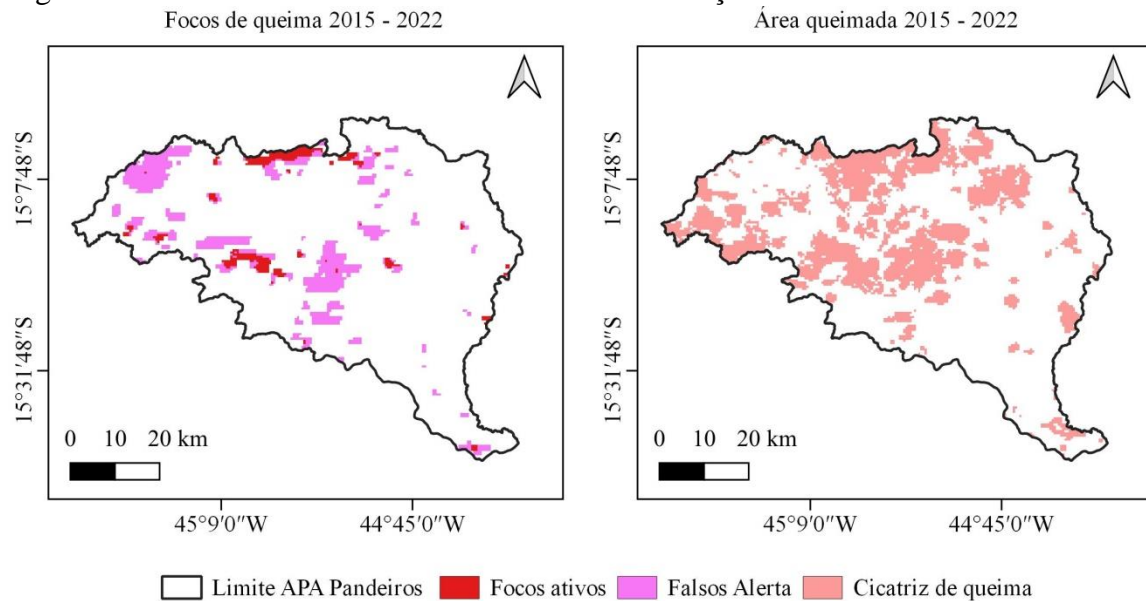
2.8 Validação do conjunto de regras de separabilidade de focos de queima

A validação da metodologia proposta foi realizada utilizando dados dos anos de 2021 e 2022. O objetivo principal desta validação foi verificar se o conjunto de regras estabelecido pode ser efetivamente aplicado na prática por gestores ambientais. Durante este período de validação, todos os pontos identificados, sejam eles validados como focos reais de queima ou não, foram considerados. Para cada um desses pontos, os valores de reflectância da superfície no momento exato da queima foram analisados. Esta abordagem simulou a aplicação prática da metodologia desenvolvida, proporcionando uma avaliação realista de sua eficácia e aplicabilidade no monitoramento e gestão de incêndios.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A discrepância observada entre os focos de queima identificados e a área queimada real ressalta uma série de considerações importantes no contexto do monitoramento ambiental via satélite (Figura 2).

Figura 2: Focos ativos e falsos alertas da Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros.



Fonte: Do autor (2023).

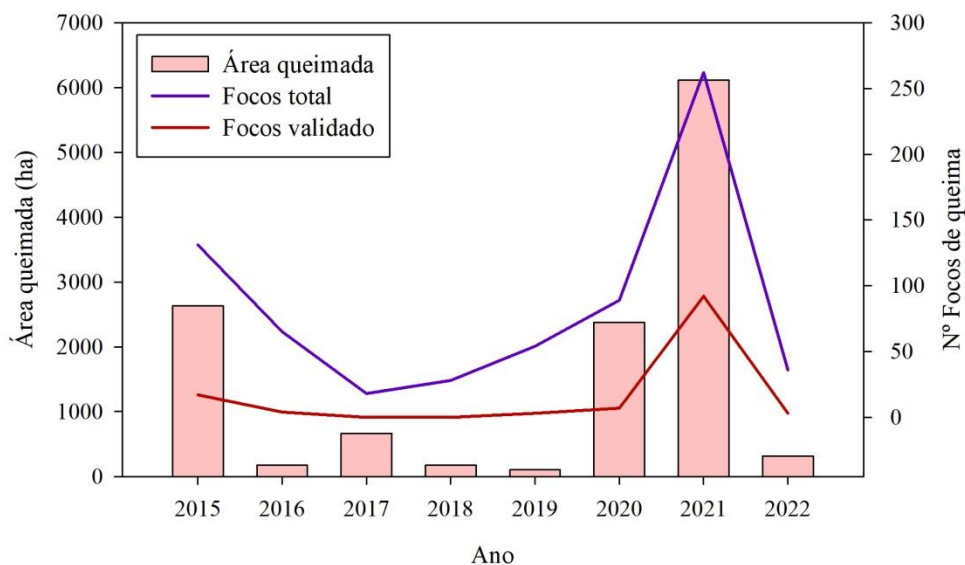
A detecção de focos de queima através do sensor MODIS enfrenta desafios significativos devido às suas limitações temporais, principalmente a coleta de dados restrita ao horário aproximado de 13h. Essa restrição pode resultar na subestimação dos eventos de queima, visto que incêndios iniciados ou finalizados fora desse intervalo de tempo não são capturados (GIGLIO *et al.*, 2009). Além disso, a confiabilidade na identificação de focos de queima pelo MODIS é comprometida, pois a captura de informações sobre a localização e o momento exato dos incêndios está vinculada ao instante específico de passagem do satélite (SCHROEDER *et al.*, 2008).

A eficácia na identificação dos focos de queima pelo MODIS é ainda mais limitada pela necessidade de coincidência entre a passagem do sensor e o momento de ocorrência do incêndio (PILAR MARTIN; CHUVIECO, 1995). Essa sincronia temporal raramente ocorre, o que contribui para o aumento dos erros de omissão na quantificação dos incêndios. Estes erros referem-se aos incêndios que, apesar de terem ocorrido, não são detectados pelo sensor, impactando a precisão global dos dados coletados (LENTILE *et al.*, 2006).

A possibilidade de falsos alertas por proximidade, onde a alta temperatura de um foco de queima pode influenciar a temperatura percebida em pixels adjacentes, é outra limitação a ser considerada. Isso destaca a importância de abordagens que considerem não apenas a temperatura, mas também outros indicadores espectrais e contextuais para diferenciar entre focos de queima e variações normais de temperatura na paisagem. Segundo Prema *et al.*(2018), pode se identificar os focos de queima por outras características tais como estáticas da chama tais como cor e textura que de certa forma modificam seu comportamento espectral.

A análise dos dados de focos de queima revela uma discrepância entre o número de focos detectados e a realidade dos eventos de queima. Apenas 25% dos focos totais identificados foram validados como queimadas reais (Figura 3). Esta discrepância aponta para uma taxa considerável de falsos alertas nos registros, sublinhando a necessidade de aprimoramento nas metodologias de detecção para aumentar a precisão dos dados.

Figura 3: Área queimada do ano 2015 á 2022 da Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros.



Fonte: Do autor (2023).

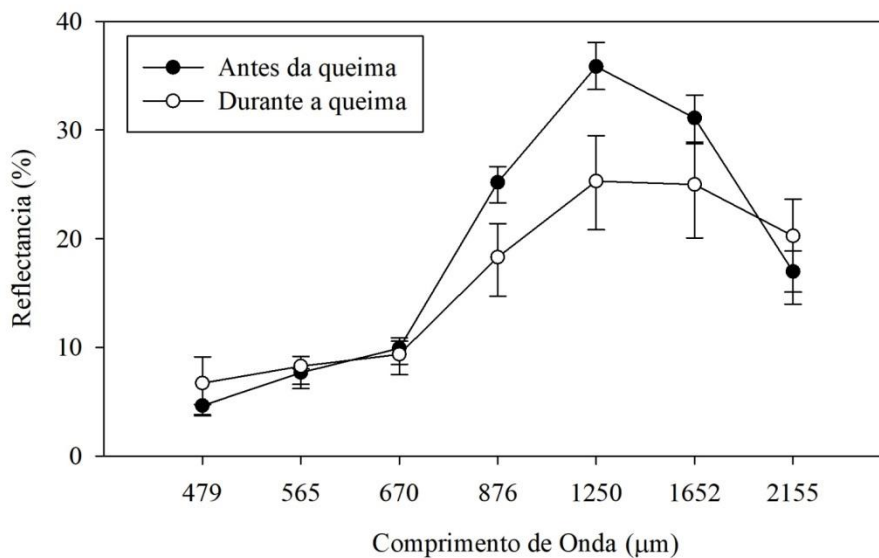
Miranda, Silva e Juvanho (2022), ao analisar os focos de queima no Cerrado, observaram que apenas cerca de 31% dos focos detectados pela imagem MOD14A1 correspondiam a queimadas confirmadas. Este dado reforça a ideia de que uma proporção significativa dos focos de queima registrados pelo MODIS pode não representar eventos de incêndio reais.

Além disso, Schroeder *et al.* (2008) destacam que uma grande parcela dos incêndios - entre 75% e 95% de todos os incêndios amostrados - foi omitida pelo produto MOD14A1. Esta elevada taxa de omissão sugere que muitos incêndios reais não são detectados pelo sensor, possivelmente devido às limitações anteriormente discutidas, como a resolução espacial do sensor e as restrições temporais de coleta de dados.

O ano de 2021 se destaca como um período com um aumento expressivo no número de queimadas, representando cerca de 6000 hectares de área queimada. Este pico sinaliza para uma possível escalada de eventos de incêndio ou uma variação nos padrões de detecção ou reporte.

A variação na reflectância durante um evento de queima, comparando as condições espectrais imediatamente antes do evento e durante o próprio fogo. As alterações observadas nas bandas do infravermelho próximo (876 μm) e do infravermelho de onda curta (1250 – 1652 μm) são particularmente notáveis (Figura 4).

Figura 4: Reflectância da superfície antes e durante queima da Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros.



Fonte: Do autor (2023).

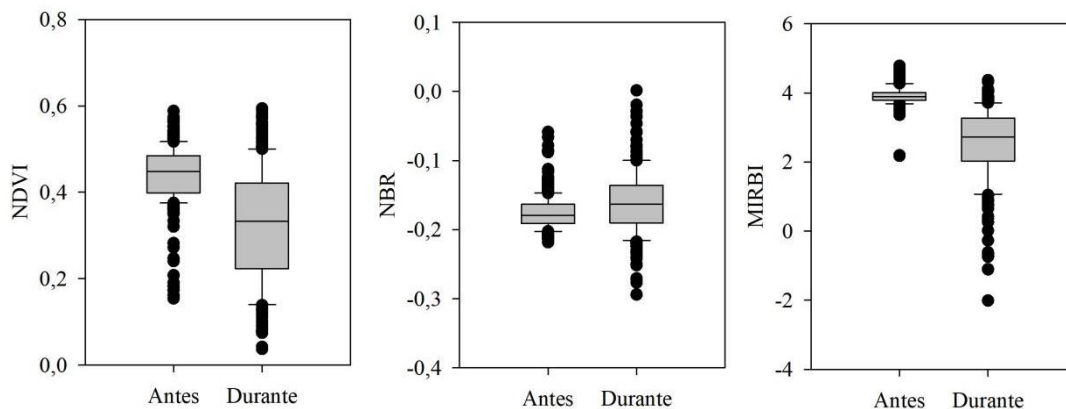
Durante um incêndio, a reflectância no infravermelho próximo pode aumentar devido à emissão de radiação térmica pelo fogo. Isso é evidente na curva que representa a reflectância durante a queima, onde se observa um pico na reflectância nessas bandas

específicas. O fogo modifica a assinatura espectral da área afetada, não apenas pela redução da vegetação, mas também pela emissão direta de energia térmica proveniente das chamas.

A radiação térmica capturada pelo canal termal, é essencial para identificar focos ativos de incêndio no momento exato da passagem do satélite (GIGLIO *et al.*, 2018; GIGLIO; SCHROEDER; JUSTICE, 2016; RODRIGUES *et al.*, 2019). Além disso, a fumaça gerada pelos incêndios produz aerossóis que são detectáveis pelos canais espectrais dos sensores orbitais. Outros indicadores importantes incluem os resíduos sólidos de carvão e as alterações na estrutura da vegetação, como as cicatrizes pós-queima (PEREIRA, 1992).

Os índices espectrais e a assinatura espectral durante eventos de queima reafirmam a expectativa em relação ao desempenho do MIRBI (Figura 5). A eficácia desse índice em distinguir entre o estado pré-queima e o evento de queima está intrinsecamente relacionada à sua formulação, que incorpora bandas espectrais específicas sensíveis às condições de queima.

Figura 5: *Boxplot* dos valores antes e durante queima dos índices espectrais da Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros.



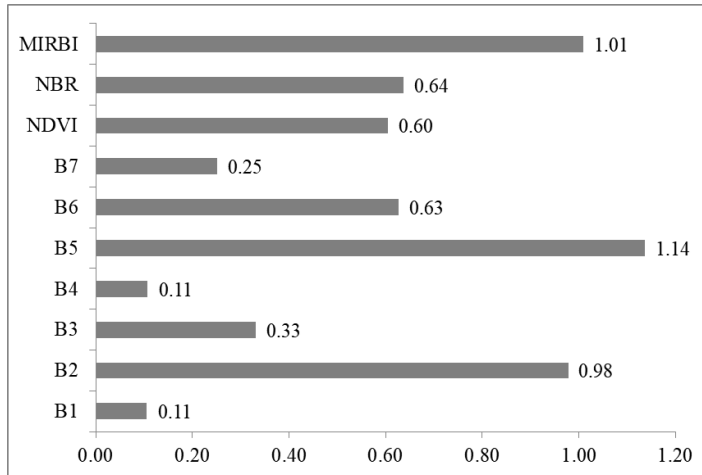
Fonte: Do autor (2023).

O MIRBI, projetado para detectar áreas queimadas, utiliza bandas do espectro eletromagnético onde a separabilidade entre a vegetação não queimada e as condições pós-fogo é maximizada. Portanto, é lógico que este índice mostre uma distinção clara em suas medições antes e durante os eventos de queima. Os componentes do MIRBI são selecionados especificamente para capturar as alterações espectrais causadas pela queima da vegetação, como o escurecimento da superfície devido à carbonização e a redução da reflectância devido à remoção da vegetação.

O índice MIRBI e a banda 5 (B5) do espectro, que corresponde a banda do infravermelho de onda curta, mostram os valores mais altos de separabilidade (Figura 6). Conforme Schroeder

et al. (2008), a incorporação da banda do infravermelho na validação de focos de queima reduz os erros de comissão cometidos na imagem MOD14A1.

Figura 6: Índice de Separabilidade para as variáveis independentes.



Fonte: Do autor (2023).

Isso indica que ambos são particularmente eficazes na distinção entre as áreas antes e durante os eventos de queima. Esta eficácia é atribuída à sua composição, que inclui bandas espectrais particularmente sensíveis às mudanças provocadas pelo fogo. De acordo com o estudo de Pereira *et al.* (2015), o MIRBI e o NBR2 exibiram uma capacidade superior de distinguir áreas queimadas de outros alvos. Portanto, esses índices são particularmente recomendados para o mapeamento de queimadas na região norte de Minas Gerais, utilizando imagens do satélite Landsat 5 TM.

Enquanto os índices MIRBI e NBR2 se destacam pela sua capacidade de diferenciar áreas queimadas, o NDVI e o NBR (*Normalized Burn Ratio*) apresentam um desempenho moderado em termos de separabilidade. Isso indica que, embora sejam úteis na avaliação da vegetação e dos impactos do fogo, eles podem não ser tão discriminatórios para eventos de queima quanto o MIRBI ou a banda 5 (B5). Trigg e Flasse (2001), investigaram o espectro das queimadas e a separabilidade em relação às áreas não queimadas em uma região de savana africana. Nesse estudo, eles encontraram melhores resultados na discriminação de queimadas no espaço bi-espectral, particularmente nas bandas do infravermelho de ondas curtas (bandas 5 e 7).

Miranda, Sales e Nascimento (2015) exploraram o perfil do NDVI para identificar vegetação mais suscetível a incêndios, constatando que valores abaixo de 0,47 são mais propensos a fogo de grande proliferação. Esta análise destaca a relevância do NDVI na

avaliação da vulnerabilidade da vegetação aos incêndios, embora não seja tão eficiente na identificação direta de áreas queimadas.

A acurácia global ligeiramente superior quando se utilizam índices e bandas indica que a inclusão de índices espectrais pode oferecer uma pequena vantagem na classificação (Tabela 3). No entanto, a diferença não é substancial, o que sugere que o uso de bandas espectrais isoladamente já fornece uma base sólida para a detecção de focos de queima.

Tabela 3. Métricas de avaliação para distinção dos focos ativos e falsos alerta treinado para os anos de 2015 a 2020.

Condição de treinamento	Acurácia Global	Precisão		Recall	
		Sem queima	Com queima	Sem queima	Com queima
Somente bandas	0.948	0.946	0.950	0.950	0.946
Índice e bandas	0.957	0.958	0.956	0.958	0.956

Fonte: Do autor (2023).

Em um contexto prático, especialmente ao lidar com a resposta a incêndios florestais onde cada segundo conta, a simplificação dos modelos de detecção é não apenas benéfica, mas muitas vezes necessária. Modelos de detecção que exigem alto poder computacional podem ser inviáveis em situações de emergência devido ao tempo exigido para processamento. Nesse cenário, um modelo que se baseia unicamente em bandas espectrais torna-se uma alternativa preferível, proporcionando uma identificação rápida e eficiente de focos de queima. Essa rapidez é crucial para a tomada de decisões imediatas e para a implementação de estratégias eficazes de combate a incêndios, permitindo uma resposta mais ágil e potencialmente salvando áreas maiores da floresta.

A detecção e o monitoramento precisos e antecipados de incêndios florestais são de importância crítica para os gestores de recursos naturais. Eles buscam minimizar não apenas os danos ambientais causados pelos incêndios, mas também os custos associados à supressão do fogo. Como destacado por Shidk e Ashari (2014), uma estratégia eficiente de monitoramento pode reduzir significativamente os impactos negativos dos incêndios florestais, tanto em termos ecológicos quanto econômicos.

A partir desses resultados, gestores de áreas protegidas e equipes de monitoramento de incêndios podem considerar a adoção de algoritmos mais simples e de rápida execução, como o OneR utilizando apenas bandas espectrais, para o monitoramento contínuo e a resposta rápida a eventos de queima. Isso demonstra que, mesmo com modelos

simplificados, é possível alcançar uma alta precisão na detecção de incêndios, o que é fundamental para a conservação e manejo efetivo de biomas sensíveis ao fogo.

No cenário em que apenas as bandas espectrais são utilizadas, observamos que a Regra1 se destaca significativamente, atingindo uma acurácia global de 0.90 e um recall de 0.81 para focos ativos, o que indica uma identificação precisa dos eventos reais de queima. Em contraste, as Regras de 2 a 7 apresentam um desempenho mais inconsistente, com a acurácia global variando amplamente, chegando a ser tão baixa quanto 0.18 para algumas delas. A Regra8 e a aplicação de todas as regras em conjunto fornecem uma acurácia global de 0.82 e 0.68, respectivamente, sugerindo um nível moderado de eficiência (Figura 7 e Tabela 4).

Figura 7. Conjunto de regras para distinção dos focos ativos e falsos alerta treinado de 2015 a 2020 sem o uso dos índices espectrais.

1. $(B5 \leq 0.3031) \Rightarrow \text{Pixel} = \text{Com queima};$
2. $(B7 \geq 0.2105) \text{ and } (B2 \leq 0.27) \Rightarrow \text{Pixel} = \text{Com queima};$
3. $(B5 \leq 0.3238) \text{ and } (B3 \geq 0.0366) \text{ and } (B1 \leq 0.0981) \Rightarrow \text{Pixel} = \text{Com queima};$
4. $(B7 \geq 0.2016) \text{ and } (B5 \leq 0.3673) \text{ and } (B2 \geq 0.2641) \Rightarrow \text{Pixel} = \text{Com queima};$
5. $(B3 \geq 0.0543) \text{ and } (B5 \leq 0.362) \Rightarrow \text{Pixel} = \text{Com queima};$
6. $(B3 \leq 0.0363) \text{ and } (B7 \geq 0.1729) \Rightarrow \text{Pixel} = \text{Com queima};$
7. $(B7 \geq 0.2179) \text{ and } (B1 \leq 0.1247) \Rightarrow \text{Pixel} = \text{Com queima};$
8. Senão Pixel = Sem queima.

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 4. Validação do modelo utilizando dados dos anos de 2021 e 2022 para os focos de queima do MOD14A1.

Condição	Precisão		Recall		
	Acurácia Global	Focos ativo	Falso alerta	Focos ativo	Falso alerta
Regra1	0.90	1.00	0.84	0.81	1.00
Regra2	0.60	0.72	0.56	0.32	0.88
Regra3	0.50	1.00	0.50	0.01	1.00
Regra4	0.48	0.21	0.49	0.01	0.95
Regra5	0.52	0.61	0.51	0.09	0.94
Regra6	0.56	0.66	0.53	0.23	0.88
Regra7	0.18	0.05	0.25	0.03	0.33
Regra8	0.82	0.74	0.95	0.96	0.67
Todas	0.68	0.78	0.64	0.51	0.86

Fonte: Do autor (2023).

Quando se incorporam tanto bandas quanto índices na análise, a Regra1 mostra uma queda substancial em desempenho, com uma acurácia global de apenas 0.47 e um recall de 0.94 para focos ativos, falhando em identificar adequadamente os eventos de queima. As

demais regras também exibem resultados variados, com algumas alcançando um recall perfeito para focos ativos, mas sofrendo com uma baixa precisão, ou vice-versa, indicando uma dificuldade em equilibrar a identificação correta de focos ativos e a exclusão de falsos positivos. De forma notável, tanto a Regra7 quanto a utilização de todas as regras proporcionam uma acurácia global comparativamente baixa, de 0,18 e 0,47 respectivamente, e um recall decepcionante para focos ativos, destacando desafios na distinção entre focos ativos de queima e falsos alertas (Figura 8 e Tabela 5).

Figura 8. Conjunto de regras para distinção dos focos ativos e falsos alerta treinado de 2015 a 2020 com o uso dos índices espectrais.

1. (MIRBI \geq 0,58104) \Rightarrow Pixel= Com queima;
2. (B5 \leq 0,297) and (B7 \leq 0,1349) \Rightarrow Pixel= Com queima;
3. (MIRBI \geq 0,42842) and (B3 \geq 0,0529) \Rightarrow Pixel= Com queima;
4. (B3 \leq 0,0344) and (B1 \geq 0,0873) \Rightarrow Pixel= Com queima;
5. (B7 \geq 0,2026) and (NDVI \geq 0,430464) \Rightarrow Pixel= Com queima;
6. (B5 \leq 0,309) and (B1 \leq 0,0733) and (B5 \geq 0.3008) \Rightarrow Pixel= Com queima;
7. (NBR \leq 0,093576) and (B2 \geq 0,2551) \Rightarrow Pixel= Com queima;
8. Senão Pixel =Sem queima.

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 5. Validação do modelo utilizando dados dos anos de 2021 e 2022 para os focos de queima do MOD14A1.

Condição	Precisão		Recall		
	Acurácia Global	Focos ativo	Falso alerta	Focos ativo	Falso alerta
Regra1	0.47	0.49	0.03	0.94	0.00
Regra2	0.62	1.00	0.57	0.23	1.00
Regra3	0.60	0.62	0.58	0.50	0.69
Regra4	0.50	0.42	0.50	0.02	0.97
Regra5	0.48	0.32	0.49	0.03	0.93
Regra6	0.50	1.00	0.50	0.01	1.00
Regra7	0.18	0.07	0.25	0.05	0.31
Regra8	0.52	1.00	0.51	0.05	1.00
Todas	0.47	0.49	-0.04	0.95	0.00

Fonte: Do autor (2023).

Primeiramente, a alta acurácia global, precisão e recall acima de 0.9 para a Regra1 no uso exclusivo de bandas espectrais indicam um modelo altamente eficiente. Isso sugere que, para o conjunto de dados analisado, as características espectrais fornecem informações suficientemente discriminantes para identificar focos de queima de forma confiável sem o auxílio de índices adicionais.

Por outro lado, a aplicação das regras usando tanto bandas quanto índices espectrais não apresentaram a mesma eficácia. Em particular, a Regra1, que se destacou com o uso exclusivo de bandas, perdeu drasticamente em desempenho quando índices foram incluídos, com uma queda notável em todas as métricas. Isto pode ser devido ao ruído adicional ou à confusão introduzida pela combinação de múltiplas fontes de informação, o que pode diluir as características mais significativas capturadas pelas bandas espectrais.

Este problema também conhecido por “mal da dimensionalidade” refere-se a um fenômeno comumente encontrado em *machine learning*, especialmente em áreas como a agrárias e o geoprocessamento, onde grandes conjuntos de dados com muitas variáveis (dimensões) são frequentes (BELLMAN, 1967). Na prática, isso pode levar a um fenômeno conhecido como "sobreajuste" (*overfitting*), onde o modelo se torna muito bem ajustado aos dados de treinamento, mas falha em generalizar para novos dados (FRANKLIN, 2005).

A importância de otimizar a detecção de incêndios é ainda mais enfatizada pelo contexto operacional, onde a rapidez na identificação de focos de queima é crítica. Com recursos limitados para o combate a incêndios, é vital que as equipes de resposta possam confiar em dados precisos para priorizar e alocar eficientemente seus esforços.

4 CONCLUSÕES

A aplicação do algoritmo OneR, que utiliza bandas espectrais e índices de vegetação, revela um panorama complexo em que a escolha das características e a formulação de regras de decisão são cruciais para a eficácia do modelo.

A análise dos resultados indica que o uso exclusivo de bandas espectrais, particularmente a regra baseada na banda espectral (B5), é notavelmente eficaz, alcançando alta acurácia, precisão e recall na identificação de focos ativos de queima. Este achado é de particular importância, pois sugere que modelos simplificados, que demandam menor custo computacional e oferecem respostas rápidas, podem ser suficientes para atender às necessidades operacionais urgentes de monitoramento de incêndios.

Por outro lado, a inclusão de índices de vegetação nos modelos não demonstrou melhorias significativas na performance de detecção de focos de queima e, em alguns casos, resultou em uma diminuição do desempenho. Isso sugere que a integração de múltiplas fontes de informação nem sempre se traduz em uma maior eficácia e que a simplicidade do modelo pode ser benéfica.

REFERÊNCIAS

- BARKER, J.L., HARDEN, M.K., ANUTA, E. A., SMID, J. E., HOUGHT, D. (1992). **MODIS Spectral Sensivity Study: Requirements and Characterization**. October, 84p.
- BELLMAN, R. Dynamic programming. **Mathematics in Science and Engineering**, v. 40, n. P1, p. 101–137, 1967.
- BETHONICO, M. B. de M. **Área De Proteção Ambiental Estadual Do Rio Pandeiros - Mg: Espaço, Território E Atores**. v. 51, n. 7, p. 640–655, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.specom.2008.11.001>>. Acesso em: 18 abr. 2023.
- BRAGA, J. V. **Mapeamento de áreas queimadas usando séries temporais normalizadas derivadas de dados NBR-MODIS durante o período 2001-2014 no Parque Nacional das Emas**. 2016. Universidade de Brasília, 2016.
- BRASIL. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, lei n. 9.985, de 18 de julho de 2.000. ... **De Proteção Do Meio Ambiente E Do ...**, p. 56, 2000.
- CANGUSSU, A. R.; BUCH, H.; LIMA, F. D. P.; CABIZUCA, S. V.; GODINHO, F.; GANDRA, L.; FILHO, B.; RITA, A.; GRANDE, R.; GOMIDE, R. A.; SHIMIZU, W. A.; SOUZA, R. De; PEREIRA, C. M.; ALVARENGA, C. W.; GRANDE, A. R.; CARVALHO, D. De; SOUZA, V. De; MATOS, O.; MIRANDA, M. H. De; MOREIRA, V. Instituto Mineiro de Gestão das Águas Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Legislação de recursos hídricos. Márley Caetano de Mendonça (org.). Belo Horizonte**, p. 1–6, 2009.
- DA SILVA, J. M.; BATES, J. M. Biogeographic Patterns and Conservation in the South American Cerrado: A Tropical Savanna Hotspot: The Cerrado, which includes both forest and savanna habitats, is the second largest South American biome, and among the most threatened on the continent. **BioScience**, v. 52, n. 3, p. 225–234, 2002. Disponível em: <[http://www.bioone.org/doi/abs/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0225:BPACIT\]2.0.CO;2](http://www.bioone.org/doi/abs/10.1641/0006-3568(2002)052[0225:BPACIT]2.0.CO;2)>. Acesso em: 18 abr. 2023.
- DIAS, L. C. C.; MOSCHINI, L. E.; TREVISAN, D. P. A Influência das Atividades Antrópicas na Paisagem da Área de Proteção Ambiental Estadual do Rio Pandeiros, MG - Brasil. **Fronteiras Journal of Social Technological and Environmental Science**, v. 6, n. 2, p. 85-105, 2017.
- EMMY PREMA, C.; VINSLEY, S. S.; SURESH, S. Efficient Flame Detection Based on Static and Dynamic Texture Analysis in Forest Fire Detection. **Fire Technology**, v. 54, n. 1,

p. 255–288, 2018.

FRANKLIN, J. **The elements of statistical learning: data mining, inference and prediction.** [s.l.] Springer, 2005. v. 2783–85 p.

GIGLIO, L.; BOSCHETTI, L.; ROY, D. P.; HUMBER, M. L.; JUSTICE, C. O. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. **Remote Sensing of Environment**, v. 217, p. 72–85, 2018.

GIGLIO, L.; LOBODA, T.; ROY, D. P.; QUAYLE, B.; JUSTICE, C. O. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 2, p. 408–420, 2009.

GIGLIO, L.; SCHROEDER, W.; JUSTICE, C. O. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 178, p. 31–41, 2016.

GOUVEIA, J. R. F. de; NASCIMENTO, C. R.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. G. de; MOURA, G. B. de A.; LOPES, P. M. O. 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**, v. 14, n. 2, p. 881–996, 2021.

IEF 2015. **Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. Área de Proteção Ambiental Estadual do Rio Pandeiros.** Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/noticias/3306-nova-categoria/1769-apa-pandeiros->>. Acesso em: 18 abr. 2023.

LENTILE, L. B.; HOLDEN, Z. A.; SMITH, A. M. S.; FALKOWSKI, M. J.; HUDAK, A. T.; MORGAN, P.; LEWIS, S. A.; GESSLER, P. E.; BENSON, N. C. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. **International Journal of Wildland Fire**, v. 15, n. 3, p. 319–345, 2006.

LIMA, A. M. de. **Zoneamento de risco de incêndios no Distrito Federal.** p. 47, 2017. Disponível em: <<https://bdm.unb.br/handle/10483/18978>>. Acesso em: 13 abr. 2023.

MINAS GERAIS. SEMAD, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Balanco e Resultados 2012 e Plano de Ação 2013** - Plano de Ação 2013 Prevenção e Combate a Incêndios Florestais. Workshop externo.

MIRANDA, J. da R.; SILVA, R. G. da; JUVANHOL, R. S. Forest fire action on vegetation from the perspective of trend analysis in future climate change scenarios for a Brazilian

savanna region. **Ecological Engineering**, v. 175, p. 106488, 2022.

MIRANDA, J. R.; SALES, G. de B.; NASCIMENTO, C. R. Caracterização Do Perfil Vegetativo Propí • Cio a Queima a Partir De Dados Orbitais Do Sensor Modis. **Caminhos de Geografia**, v. 16, n. 56, p. 73–83, 2015.

PARSANIA, V. S.; JANI, N. N.; BHALODIYA, N. H. Applying Naïve bayes , BayesNet , PART , JRip and OneR Algorithms on Hypothyroid Database for Comparative Analysis. **International Journal of Darshan Institute on Engineering research & Emerging technologies**, v. 3, n. 1, p. 1–6, 2014.

PEREIRA, A. O uso de satelites NOAA na deteccao de queimadas no Brasil. **Climanálise**, v. 7, n. May 2014, p. 40–53, 1992.

PEREIRA, A. A.; CARVALHO, L. M. T.; LIBONATI, R.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; MORELLI, F. Avaliação de nove índices espectrais quanto a separabilidade entre queimadas e diferentes alvos. **Anais XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE Análise**, v. 17, p. 3105–3112, 2015.

PEREIRA, A. A.; PEREIRA, J. M. C.; LIBONATI, R.; OOM, D.; SETZER, A. W.; MORELLI, F.; MACHADO-SILVA, F.; DE CARVALHO, L. M. T. Burned area mapping in the Brazilian Savanna using a one-class support vector machine trained by active fires. **Remote Sensing**, v. 9, n. 11, p. 1161, 2017.

PILAR MARTIN, M.; CHUVIECO, E. Mapping and evaluation of burned land from multitemporal analysis of AVHRR NDVI images. **EARSeL**, v. 4, n. 3, p. 7–13, 1995.

PIVELLO, V. R. The use of fire in the cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: Past and present. **Fire Ecology**, v. 7, n. 1, p. 24–39, 2011.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. **Cerrado: Ecologia e flora**, p. 152–212, 2008.

RODRIGUES, J. A.; LIBONATI, R.; PEREIRA, A. A.; NOGUEIRA, J. M. P.; SANTOS, F. L. M.; PERES, L. F.; SANTA ROSA, A.; SCHROEDER, W.; PEREIRA, J. M. C.; GIGLIO, L.; TRIGO, I. F.; SETZER, A. W. How well do global burned area products represent fire patterns in the Brazilian Savannas biome? An accuracy assessment of the MCD64 collections. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 78, p. 318–331, 2019.

SANTANA, N. C.; DE CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F. Comparison of post-fire patterns in brazilian savanna and tropical forest from remote sensing time series. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 11, p. 659, 2020.

SCHMIDT, I. B.; ELOY, L. Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 268, p. 151613, 2020.

SCHROEDER, W.; PRINS, E.; GIGLIO, L.; CSISZAR, I.; SCHMIDT, C.; MORISETTE, J.; MORTON, D. Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 5, p. 2711–2726, 2008.

SHIDIK, G. F.; ASHARI, A. Linked open government data as background knowledge in predicting forest fire. **Journal of Theoretical and Applied Information Technology**, v. 62, n. 3, p. 570–581, 2014.

SILVA, P. H. dos S. **Detecção e análise de áreas queimadas por meio da normalização de séries temporais MODIS na região do Jalapão**. 2015. Universidade de Brasília, 2015.

STRASSBURG, B. B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A. E.; OLIVEIRA FILHO, F. J. B.; DE SCARAMUZZA, C. A. M.; SCARANO, F. R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 4, p. 1–3, 2017.

SUNITA B AHER; LOBO L M R J. **Data Mining in Educational System using WEKA Walchand Institute of Technology Solapur**. In: IJCA Proceedings on International Conference on, 2011, [...]. 2011. v. 3, p. 20–25.

TRIGG, S.; FLASSE, S. An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 13, p. 2641–2647, 2001.

VADREVU, K. P.; LASKO, K.; GIGLIO, L.; SCHROEDER, W.; BISWAS, S.; JUSTICE, C. Trends in Vegetation fires in South and Southeast Asian Countries. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–13, 2019.

VERMOTE, E.; WOLFE, R. MYD09GA MODIS/Aqua Surface Reflectance Daily L2G Global 1km and 500m SIN Grid V006. **NASA EOSDIS Land Processes DAAC**, p. 1–35, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD09GA.006>>. Acesso em: 18 mai. 2023.

VIEIRA, D. A. **Índices De Risco De Incêndios Florestais No Âmbito Da Operação Verde Vivo**. 2021. 2021.