

ANÁLISE MULTITEMPORAL DE ÁREAS QUEIMADAS NA MATA ATLÂNTICA DO SUL DA BAHIA A PARTIR DE CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO E ÍNDICES ESPECTRAIS

Iorrana Figueiredo Sacramento¹ e Roberto Ferreira Macho Michel²

¹Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, Viçosa – MG e iorrana.figueiredo@ufv.br; ² Universidade Estadual de Santa Cruz, Campus Soane Nazaré de Andrade, Rodovia Jorge Amado, Km 16, Bairro Salobrinho, Ilhéus – BA e roberto@michel.com.

RESUMO

Diante dos desafios de caracterização do comportamento espectral de áreas queimadas, este estudo propôs analisar o método de classificação orientada a objeto, a partir de índices espectrais, para o mapeamento dessas áreas na Mata Atlântica do Sul da Bahia. A análise multitemporal foi realizada considerando a diferença entre duas imagens Landsat 8: pré e pós-fogo. A classificação orientada a objeto consistiu nas etapas de segmentação, classificação, otimização e validação em ambiente SIG. A classificação foi considerada boa pelo índice Kappa. A classe “fraca” foi superestimada por corresponder a áreas onde a mudança foi pouco percebida. As áreas queimadas apresentaram aumento da reflectância na faixa do vermelho e do infravermelho médio e diminuição na faixa do infravermelho próximo. O Δ NBR foi o melhor discriminador de áreas queimadas. A efetividade na discriminação por índices espectrais está mais relacionada com a informação espectral do que a quantidade de índices.

Palavras-chave — área queimada, análise multitemporal, classificação orientada a objeto

ABSTRACT

Facing the challenge of the spectral signature characterization of burned areas, this objective of this study was to analyze the oriented-object classification method using spectral indices for mapping burned areas in the South Bahia Atlantic Rain Forest. The multitemporal analysis was performed considering the difference between two Landsat 8 images: pre and post-fire. The supervise object-oriented classification was executed by segmentation, classification, optimization and validation algorithms at GIS environment. The validation was classified as good by the Kappa agreement measure. The “weak forest fire” class was overestimated, corresponding to areas where the change was subtle. The burned areas presented an increase in reflectance on the red and shortwave infrared bands and a decrease on the near infrared band. The Δ NBR was the best burned area discriminator index. The effectiveness on the burned areas discrimination by spectral indices is related mainly with the spectral information than with the quantity of indices.

Key words — burned area, multitemporal analysis, object-oriented classification

1. INTRODUÇÃO

Nos biomas tropicais, o fogo é tido como a principal ferramenta de manejo extensivo da terra e tem causado uma série de impactos econômicos, ecológicos, atmosféricos e climáticos, com magnitudes que variam de acordo com a extensão da queimada [1]. Na Reserva Extrativista de Una no Sul da Bahia, o manejo tradicional, que se baseia em corte-e-queima, foi identificados como a principal estratégia agrícola de manejo [2].

Para a criação de políticas de prevenção e combate a queimadas é necessário, primeiramente, o conhecimento das mesmas, o que tem se tornado possível através de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR). A possibilidade de extrair informações de forma rápida e eficiente a partir de imagens de satélites, torna esta tecnologia ferramenta fundamental para a identificação, controle e fiscalização de queimadas, bem como da observação e quantificação dos efeitos dos produtos emitidos pela queima [3] [4] [5].

Além do SR, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), no âmbito das queimadas, têm sido a forma mais viável de mapeamento, caracterização e monitoramento destes eventos [4] [5]. Entretanto, essa tem sido uma tarefa desafiadora, devido à tendência de confusão com outros usos e coberturas do solo, o que tem promovido o desenvolvimento de diversas técnicas e métodos capazes de produzir mapeamentos de áreas queimadas mais acurados e tem se tornado um tópico importante de pesquisa em escalas geográficas que variam de local a global [1].

Tendo em vista a necessidade de caracterizar a assinatura espectral das áreas queimadas, o principal objetivo dessa pesquisa foi analisar o método de classificação orientada a objeto, a partir de índices espectrais, para o mapeamento de áreas queimadas na Mata Atlântica do Sul da Bahia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Descrição da área de estudo

A área de estudo (709,7 km²) compreende as UC de proteção integral, Reserva Biológica (REBIOS de Una), Reserva Extrativista de Una (REVIS) e o seu entorno, considerando 3.000 m ao redor dessas UC como sendo a zona de amortecimento. A área abrange inteiramente o município de

Una e parte dos municípios de Ilhéus e Buerarema, região Sul da Bahia (Figura 1).

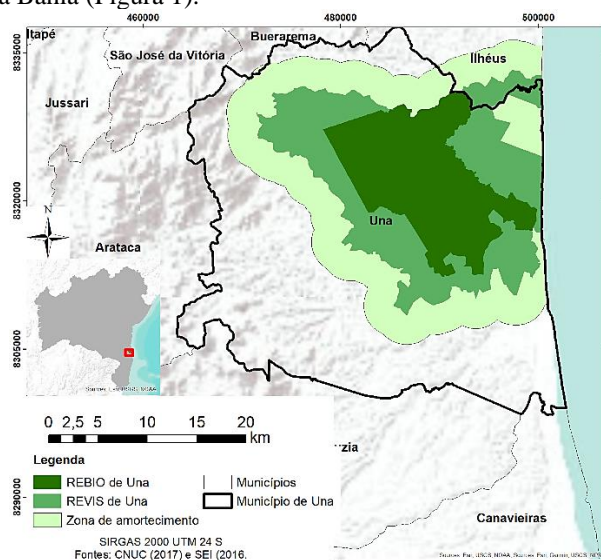


Figura 1. Mapa de localização da REBIO de Una, REVIS de Una e sua zona de amortecimento.

Inserida entre os municípios de Una e Arataca, a área de estudo integra o Complexo Serra das Lontras, formado por três serras interligadas que fazem parte da unidade geomorfológica das serras e maciços pré-litorâneos [6]. Caracterizada por chuvas bem distribuídas durante o ano, com precipitações entre 1.300 mm e 1.600 mm e temperatura média anual de 23,3 °C [7]. Isso propiciou a formação de solos profundos, pouco diferenciados, bem drenados e porosos (Latosolos Amarelo e Vermelho-Amarelo) [7]. No sentido leste-oeste, abrange desde as formações pioneiras (manguezais, restinga e áreas aluviais) até a Floresta Ombrófila Densa Montana, a partir de 800 m de altitude, possuindo os fragmentos mais significativos em termos de biodiversidade do sul da Bahia [6].

2.2. Material

A base cartográfica utilizada foi os limites político-administrativos municipais e cartas topográficas, 1:100.000, disponíveis pela Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia e os limites das UC disponibilizados no Cadastro Nacional de Unidades de Conservação do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Os dados de ocorrência de focos de calor foram do Banco de Dados de Queimadas (BDQ) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), obtidos a partir de metodologias de detecção de focos de calor em imagens de satélites realizadas pelo INPE. Cada foco de calor equivale a 1 km² (1 pixel da imagem), o que pode representar tanto uma pequena queimada como várias pequenas queimadas ou um evento de maior abrangência no seu interior. Estes dados serviram como evidência da ocorrência de fogo para definição de amostras de treinamento para a classificação.

As imagens de satélites utilizadas foram as do sensor OLI, Landsat 8, com resolução espacial de 30 m (exceto a banda pancromática com 15 m) obtidas pós-processadas, com correção geométrica e valores de reflectância na superfície.

2.3. Método

Entre 2014 e 2016, identificou-se um total de 1.217 focos de calor (456 em Ilhéus e 761 em Una), sendo que 18,4% (224 focos de calor) pertenciam à área de estudo. Assim, foram selecionadas as imagens de 07 de agosto de 2014 e 06 de abril de 2016, como pré e pós-fogo, respectivamente.

Em seguida, os objetos que apresentavam variação entre as imagens foram removidos da área de análise, a partir da classificação orientada a objeto, tendo sido coletadas 60 amostras de treinamento para cada classe (nuvem, sombra, água e área de interesse). A classificação orientada a objeto considera como unidade de classificação um conjunto de pixels, com base na informação espectral (cor) e na relação geométrica entre os objetos: forma e contexto [8]. Para isso, os algoritmos *multiresolution* e *nearest neighbor* (segmentação e classificação, respectivamente) foram aplicados e processados em ambiente SIG, *software eCognition 9.1*.

Os seguintes índices espectrais foram calculados: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI; Índice de Vegetação Melhorado – EVI; Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – SAVI; Índice de Vegetação Ajustado ao Solo Modificado – MSAVI; Índice de Umidade da Diferença Normalizada – NDMI; Índice de Queimada Normalizada – NBR; Índice de Queimada Normalizada 2 – NBR2; Índice de Área Queimada – BAI; Índice Global de Monitoramento Ambiental – GEMI. A partir da diferença de cada índice entre as imagens pré e pós-fogo foram geradas as imagens delta.

Para o mapeamento das áreas queimadas, foram criadas as classes de queimada fraca, moderada e severa a partir da comparação visual entre as imagens Δ NDVI, Δ EVI, Δ NDMI e Δ NBR. Com base nos focos de calor do INPE, foram selecionadas 15 amostras de treinamento para cada classe. A análise da matriz de distância realizada pelo algoritmo *Feature Space Optimization*, permitiu gerar a assinatura espectral para cada classe, a partir das imagens delta que melhor distinguiram as classes de queimadas na imagem pós-fogo.

A validação da classificação foi feita utilizando o algoritmo *Accuracy Assessment*, que se baseia no coeficiente Kappa, cujos valores de qualidade variam de 0 a 1, sendo: 0 a 1, sendo de 0 – 0,2 = ruim; 0,2 – 0,4 = razoável; 0,4 – 0,6 = boa; 0,6 – 0,8 = muito boa; e 0,8 – 1,0 = excelente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise da classificação orientada a objeto

A análise temporal, por meio das imagens delta, mostrou-se eficaz para a detecção de mudança. Com base no Δ NDVI: os

tons mais próximos do branco (valores positivos) representam áreas onde a vegetação foi suprimida (ou queimada); a cor cinza representa áreas onde não houve mudança (valores próximos de 0); e os tons mais próximos do preto são as áreas onde houve um crescimento da vegetação (valores negativos) [5].

As áreas queimadas mapeadas no interior e entorno da REBIO e REVIS de Una foram classificadas considerando o grau de intensidade da queimada em: severa, moderada e fraca. Como parte do entedimento do comportamento espectral das áreas queimadas, foi necessário também classificar as áreas de vegetação em: sem alteração e regeneração (Figura 2).

A avaliação da classificação orientada a objeto pelo coeficiente Kappa foi tida como boa, obtendo um valor de acurácia global de 0,72. Analisando a acurácia por classe, a que apresentou maior valor do coeficiente Kappa foi a fraca (1) e seguido por: regeneração (0,85), sem alteração (0,79), severa (0,58) e moderada (0,24).

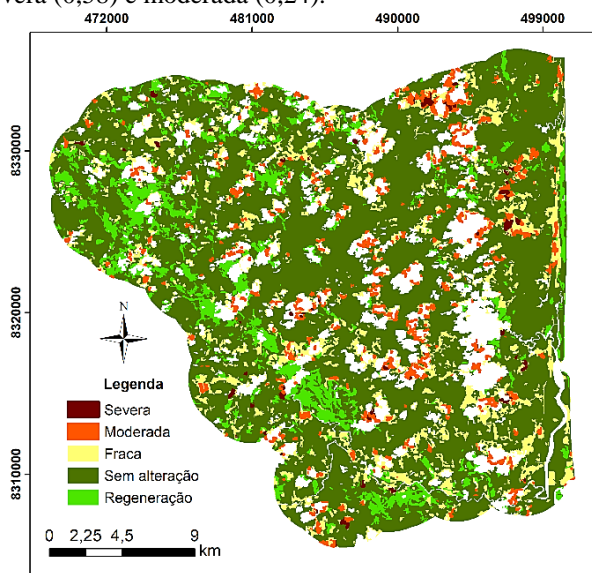


Figura 2. Classificação orientada a objeto do interior e entorno da REBIO e REVIS de Una.

As áreas queimadas foram mais pronunciadas na região nordeste da área mapeada, correspondente à parte da REVIS de Una e da zona de amortecimento. Do total mapeado (591,3 km²), 7,31% (43,2 km²) corresponderam a áreas queimadas na zona de amortecimento; 5,47% (32,4 km²) na REVIS de Una; e 3,31% (19,63 km²) na REBIO de Una.

Das classes de áreas queimadas, as fracas apresentaram 80,7 km² mapeados. Observou-se que houve uma superestimação nesse dado por três razões: áreas onde a mudança foi pouco percebida, que apresentaram valores positivos próximos de 0, como nos cordões litorâneos; áreas ao redor das nuvens, cuja influência resultou em valores positivos próximos de 1; ou a confusão gerada pela significativa presença de áreas não queimadas no interior de alguns objetos.

Observou-se que a segmentação se apresentou como uma etapa fundamental do método de classificação orientada a objeto. As queimadas foram bem delimitadas, embora tenha ocorrido confusão na classificação de objetos que ainda continham certa heterogeneidade de pixels no seu interior. Além disso, o pixel da imagem Landsat 8, ao abranger uma área de 900m², possui um valor que representa a média da reflectância daquilo que foi detectado pelo sensor na superfície terrestre, aumentando ainda mais a heterogeneidade espectral. Assim, a resolução da imagem é um fator limitante na tomada de decisão para o estabelecimento dos valores dos parâmetros para a obtenção da melhor segmentação possível.

4.2. Análise do do comportamento espectral das áreas queimadas mapeadas a partir dos índices espectrais.

Analisando os valores da amostra-padrão de área queimada após a queima, para cada banda espectral LANDSAT 8, observou-se que houve um aumento da reflectância na região do visível (azul – B; verde – G; e vermelho – R) e do infravermelho médio (SWIR1 e SWIR2) e uma significativa diminuição da reflectância na região do infravermelho próximo (NIR) [8].

Na imagem pré-fogo, considerando uma vegetação saudável, a reflectância da região do R (178,4) foi menor que o da região do G (303,0). Entretanto, na imagem pós-fogo, o valor da reflectância na região do R aumentou em 176% (492,4), 8% maior que o valor de reflectância na região do G (455,8). Assim, o R foi a faixa espectral que sofreu maior alteração em relação às demais, provocada pela redução da absorção da radiação pelos pigmentos fotossintetizantes, devido à perda de vegetação causada pela queima [9].

A diminuição da reflectância na faixa do NIR (decréscimo de 30,4%) pode ser explicada pela destruição da estrutura celular da planta, provocada pela queima da biomassa. Os valores de NDVI calculados para a amostra-padrão também evidenciaram o efeito provocado pela diminuição do infravermelho próximo e aumento do vermelho: 0,89 na imagem pré-fogo, e 0,6 na pós-fogo.

O significativo aumento dos valores de reflectância para as bandas SWIR1 e SWIR2, 75,4% e 94,7%, respectivamente, é explicado devido à diminuição do conteúdo de água presente na folha.

O algoritmo Feature Space Optimization, por meio da matriz de distância, apresentou qual imagem delta ou conjunto de imagens delta melhor distinguiram as classes, com base em suas respectivas amostras. A maior distância (0,564) foi encontrada quando considerados 7 dos 9 índices calculados (7ª dimensão); porém, adotando apenas um índice (1ª dimensão) o que possuiu maior capacidade de distinguir as classes foi o Δ NBR. A distância entre as classes foi se tornando maior à medida que foi sendo acrescentado uma imagem delta na avaliação, entretanto essa variação passou a ínfima a partir da 6ª dimensão e a diminuir a partir da 7ª dimensão (Tabela 1).

Dimensão	Imagem Delta	Limiar
1 ^a	ΔNBR	0,215
2 ^a	ΔNBR e $\Delta\text{NBR}2$	0,393
3 ^a	ΔNBR , $\Delta\text{NBR}2$ e ΔNDMI	0,478
4 ^a	ΔNBR , $\Delta\text{NBR}2$, ΔNDMI e ΔSAVI	0,530
5 ^a	ΔNBR , $\Delta\text{NBR}2$, ΔNDMI , ΔSAVI e ΔNDVI	0,559
6 ^a	ΔNBR , $\Delta\text{NBR}2$, ΔNDMI , ΔSAVI , ΔNDVI e ΔGEMI	0,563
7 ^a	ΔNBR , $\Delta\text{NBR}2$, ΔNDMI , ΔSAVI , ΔNDVI , ΔGEMI e ΔMSAVI	0,564
8 ^a	ΔNBR , $\Delta\text{NBR}2$, ΔNDMI , ΔSAVI , ΔNDVI , ΔGEMI , ΔMSAVI e ΔBAI	0,546
9 ^a	ΔNBR , $\Delta\text{NBR}2$, ΔNDMI , ΔSAVI , ΔNDVI , ΔGEMI , ΔMSAVI e ΔBAI	0,517

Tabela 1. Avaliação dos limiares de separação a partir da matriz de distância.

As classes que apresentaram menor valor de separação foram sem alteração e regeneração (0,56) e as que apresentaram maior valor foram severa e regeneração (37,7). Considerando apenas as classes de intensidade de queimada, as que apresentaram menor valor foi severa e moderada (0,9) e as que apresentaram maior valor foram severa e fraca (4,7). Entende-se que quanto mais distante do epicentro da ocorrência de uma queimada (mais próximo à borda), menor a intensidade e, conseqüentemente, maior a diferença entre essas áreas, em termos de resposta espectral.

Comparando as distâncias entre as classes de intensidade de queimada e as de área vegetada, percebe-se que o menor valor de separação correspondeu à classe fraca e sem alteração (5,3) e fraca e regeneração (9,4). Essa informação, somada ao fato de que a classe fraca apresentou a maior área mapeada, reforça a problemática da confusão ocorrida, uma vez que esta corresponde à transição entre uma área severamente queimada e o entorno não queimado.

5. CONCLUSÕES

A baixa resolução espacial da imagem Landsat 8 influenciou o resultado da segmentação das imagens, uma vez que pixels não queimados permaneceram incluídos em alguns objetos da classe fraca. Além disso, evidenciou-se importância da segmentação para o método de classificação orientada a objeto, porque os objetos gerados devem englobar, de forma mais pura possível, pixels que correspondem ao mesmo alvo terrestre.

Houve confusão no mapeamento da classe fraca, por corresponder ao entorno da área de ocorrência da queimada. A presença de pixels não queimados no interior de alguns objetos dessa classe comprometeu a sua distinção em relação às classes sem alteração e regeneração.

As áreas queimadas apresentaram comportamento espectral caracterizado por valores maiores de reflectância na faixa do visível, principalmente do vermelho, e do infravermelho médio e valores menores na faixa do infravermelho próximo. Além disso, foi observado que a

faixa espectral que mais sofreu alteração devido à queimada foi a do vermelho: aumento de 176%.

Segundo a avaliação da matriz de distância, considerando a primeira dimensão de avaliação, a imagem ΔNBR foi a que apresentou melhor discriminação de áreas queimadas, pois as bandas utilizadas em seu cálculo (NIR e SWIR2) foram as que mais sofreram alterações pós-fogo, apresentando-se bastante efetivas. Já considerando por limiar de separação, o conjunto de imagens ΔNBR , $\Delta\text{NBR}2$, ΔNDMI , ΔSAVI , ΔNDVI , ΔGEMI e ΔMSAVI foi que apresentou o maior limiar de separação entre as classes.

A efetividade na discriminação de áreas queimadas por índices espectrais está muito mais relacionada com a informação espectral considerada no cálculo do que a quantidade de índices espectrais utilizada.

Uma alternativa para obter objetos mais homogêneos, com resposta espectral mais apurada, é o método de modelo de mistura espectral, que possibilita a identificação da influência da resposta dos demais alvos (vegetação, solo e sombra) em um pixel de área queimada. Além disso, faz-se necessário um aprofundamento no que diz respeito às variações do comportamento espectral de áreas queimadas ao longo da sua área de ocorrência.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Chuvieco, E. (Ed.). A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires, Universidad de Alcalá, Spain, 192 pp., 1997.
- [2] Sollberg, I.; Schiavetti, A.; Bruck Moraes, M. E. Manejo Agrícola no Refúgio de Vida Silvestre de Una: agroflorestas como uma perspectiva de conservação, Revista Árvore, Viçosa, v. 38, n. 2, pp. 241-250, mar./abril, 2014.
- [3] Chuvieco, E. Empleo de imágenes de satélite para medir la estructura del paisaje: análisis cuantitativo y representación cartográfica, Serie Geográfica, v. 6, pp. 131-147, 1996.
- [4] Freitas, et al. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. Estudos Avançados, São Paulo, v. 19, n. 53, pp. 167-185, jan./abr. 2005.
- [5] Pereira, A. A. Uso de geotecnologia para detecção e análise de queimadas e focos de calor em unidades de conservação no norte de Minas Gerais. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- [6] Save Brasil; IESB; Birdlife International. Complexo de Serras das Lontras e Una, Bahia: Elementos naturais e aspectos de sua conservação, SAVE Brasil, São Paulo, 60 pp., 2009.
- [7] Martín, M. P. I.; Chuvieco, E. Cartografía de grandes incendios forestales en la península ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR, Serie Geográfica, Madrid, v. 7, pp. 109-128, 1998.
- [8] Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação, Parêntese, São José dos Campos, pp. 127, 2007.