

# ASSINATURA ESPECTRAL DE ÁREAS QUEIMADAS EM PRODUTOS MODIS

Renata Libonati<sup>1</sup>, Fabiano Morelli<sup>2</sup>, Alberto Setzer, Carlos da Camara e José Miguel C. Pereira<sup>3</sup>

**RESUMO.** O presente trabalho analisa a assinatura espectral de áreas queimadas no norte do Estado do Mato Grosso, Brasil, utilizando dados de refletância dos compostos de 32 dias das bandas 1 a 7 do sensor *MODerate resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). O objetivo principal foi identificar as bandas do composto mais eficientes para um mapeamento não supervisionado de áreas queimadas na região de estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Áreas queimadas, Sensor MODIS, Refletância.

**ABSTRACT.** This work analyses the spectral signature of burned areas in the northern part of the Mato Grosso state, Brazil. Use is made of reflectance data from 32-day composites of bands 1 to 7 of the *MODerate resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). The main objective was to identify the most adequate channels for burned area discrimination to be employed for unsupervised mapping in the region of interest.

## INTRODUÇÃO

A cobertura vegetal da superfície da Terra vem sofrendo mudanças profundas, devido à atividade humana e a causas naturais. Tais mudanças têm, por sua vez, levado a alterações, por vezes drásticas, quer na rugosidade da superfície terrestre, quer no seu albedo e na quantidade de biomassa, afetando diretamente as trocas de calor sensível e latente e de dióxido de carbono entre a superfície terrestre e a atmosfera. Neste contexto, as queimadas assumem um papel de extrema relevância na medida em que podem estar associadas a mudanças climáticas de ordem regional e global (O'Brien 1996). As regiões tropicais constituem um exemplo notável de mudanças no uso da terra e da cobertura vegetal nas últimas décadas, como resultado do desflorestamento induzido pelo homem (Lucas et al. 2000), estimando-se que esta região seja responsável por cerca de 32% da emissão global de carbono para a atmosfera (Andreae 1991). A queima de biomassa aparece como parâmetro chave no contexto do Protocolo de Kyoto (UNEP/IUN 1998), o qual enfatiza a

---

<sup>1</sup> Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa (CGUL)  
Campo Grande, Ed.C8, 1749-016, Lisboa, Portugal. Tel: + 351 21 7500868 ([rlsantos@fc.ul.pt](mailto:rlsantos@fc.ul.pt))

<sup>2</sup> Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, Brasil.

<sup>3</sup> Departamento de Florestas, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal

necessidade de melhorar a qualidade dos dados e de metodologias utilizadas para estimar as emissões de gases para a atmosfera.

Desta forma, a disponibilidade de informações pormenorizadas e atualizadas sobre as distribuições espacial (localização e extensão) e temporal das queimadas e das áreas afetadas em regiões tropicais é crucial não só para uma melhor gestão dos recursos naturais, mas também para estudos da química da atmosfera e das mudanças climáticas (Zhan et al. 2002).

A detecção remota constitui, neste âmbito, uma ferramenta indispensável na medida em que permite um monitoramento em tempo quase-real, especialmente útil em áreas extensas afetadas pelo fogo e/ou de difícil acesso (Pereira et al. 1997).

A ocorrência de queimadas resulta em alteração da assinatura espectral da área afetada, o que possibilita a utilização de dados de satélites para a sua detecção. Neste contexto, o presente trabalho analisa a variabilidade da assinatura espectral de áreas queimadas numa região ao norte do Estado do Mato Grosso, Brasil, utilizando dados de refletividade dos compostos de 32 dias das bandas 1 a 7 do sensor *MODerate resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) do satélite AQUA da NASA, gerados e distribuídos pela Universidade de Maryland, EUA. O objetivo principal foi identificar as bandas mais eficientes para um mapeamento não supervisionado de áreas queimadas na região de estudo.

## **ÁREA DE ESTUDO E DADOS**

A área de estudo situa-se ao norte do estado do Mato Grosso, região Centro-Oeste do Brasil, na Amazônia Legal, e foi definida pela cena 224/68 do satélite LANDSAT. O clima desta região é marcado por uma estação seca entre Maio e Setembro, quando ocorre o maior número de queimadas e por uma estação úmida de Outubro e Abril. Esta região é caracterizada por uma elevada taxa de conversão da cobertura vegetal que se deve não somente à recente utilização da agricultura mecanizada como também aos processos de desmatamento, corte seletivo e queimadas. O Mato Grosso é o estado brasileiro que concentra o maior número de focos de calor detectados, sendo responsável por 34,8%, 26,4% e 26,7% do total de focos em todo o país respectivamente nos anos de 2004, 2005 e 2006 (até o mês de Agosto).

Devido à elevada frequência de nuvens nas regiões tropicais, torna-se necessário proceder a uma composição de diversas imagens diárias, de forma a obter uma imagem composta multitemporal para a um determinado período (e.g. semanal ou mensal), com menor contaminação por nuvens e sombras de nuvens, e características espaciais adequadas. Neste sentido, optou-se por utilizar o composto de 32 dias do sensor MODIS, para o período de 13-Ago a 13-Set-2004. Este composto é baseado na utilização de 4 compostos de 8 dias do produto MOD09A1, selecionando-se

para cada pixel os valores correspondentes ao período com o segundo albedo mais baixo, com o objetivo de eliminar o ruído de nuvens e sombras de nuvens. Embora o sensor MODIS possua um total de 36 bandas espectrais que vão desde o visível até o infravermelho termal, o composto de 32 dias inclui apenas as primeiras sete bandas: 1) vermelho (0,620 – 0,670  $\mu\text{m}$ ); 2) infravermelho próximo - NIR (0,841 – 0,876  $\mu\text{m}$ ); 3) azul (0,459 – 0,479  $\mu\text{m}$ ); 4) verde (0,545 – 0,565  $\mu\text{m}$ ); 5) infravermelho de onda curta - SWIR (1,230 – 1,250  $\mu\text{m}$ ); 6) SWIR (1,628 – 1,652  $\mu\text{m}$ ); 7) SWIR (2,105 – 2,155  $\mu\text{m}$ ), com resolução espacial de 500 m.

Dados de alta resolução espacial (30 m) do sensor TM a bordo do satélite LANDSAT (órbita-ponto 224/68, data 26-Ago-2004) foram também utilizados para auxiliar a seleção de áreas queimadas sobre a imagem do sensor MODIS. Foram ainda utilizados os focos de calor detectados em imagens termais de satélites, que estão disponíveis nas páginas internet do Programa PROARCO do INPE. Ao composto do sensor MODIS, aplicou-se um pré-processamento com o intuito de eliminar resíduos de nuvens e superfícies não vegetadas. Este último foi aplicado com o auxílio dos dados do *Vegetation Continuous Field* (VCF), gerados pela Universidade de Maryland, com resolução espacial de 500 m e três classes de informação: solo nú; herbáceas e árvores.

## METODOLOGIA E RESULTADOS

Com o objetivo de se estudar o potencial de cada canal em discriminar áreas queimadas e não queimadas, foram extraídos conjuntos de pixels queimados e não queimados no composto MODIS através de comparação visual com a imagem LANDSAT e também com os focos de calor. Para tanto, foi usado o índice de separabilidade “M” definido por Kaufman & Remer (1994):

$$M = \frac{|\mu_{nq} - \mu_q|}{\sigma_{nq} + \sigma_q} \quad (1)$$

onde  $\mu_{nq}$  ( $\sigma_{nq}$ ) e  $\mu_q$  ( $\sigma_q$ ) são, respectivamente, a média (desvio padrão) dos valores de refletância do conjunto de pixels não queimados e dos queimados. Valores do índice M maiores que 1 indicam boa separabilidade entre classes. Os valores de M para cada um dos canais analisados, assim como a média e desvio padrão dos valores de refletância das classes queimada e não-queimada, são apresentados na Tabela 1.

Recorreu-se ainda à análise de componentes principais (ACP), uma técnica bastante utilizada na análise de imagens de sensoriamento remoto, em particular na detecção de alterações do sinal radiométrico de uma área afetada pelo fogo. A ACP apresenta-se como uma ferramenta especialmente adequada para este tipo de problema, pois é de se esperar que as alterações radiométricas associadas a uma queimada sejam captadas por uma componente principal (CP) de

baixa ordem, ao mesmo tempo em que se reduz o ruído produzido por outros fatores (e.g. Calado & DaCamara, 2001). Desta forma, efectuou-se uma ACP sobre os canais normalizados do composto MODIS, e os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 2. A Figura 1 apresenta um exemplo de área queimada na composição RGB 543 do LANDSAT, e a mesma área nas bandas 2 e 5 do composto MODIS e na PC2.

Como no caso das bandas individuais, a capacidade de cada componente principal em discriminar áreas queimadas também foi avaliada em termos do índice M. Os resultados para esta avaliação são mostrados na Tabela 3.

**Tabela 1 – Média e desvio padrão para as classes queimada e não queimada, assim como a separabilidade (índice M) entre as duas classes.**

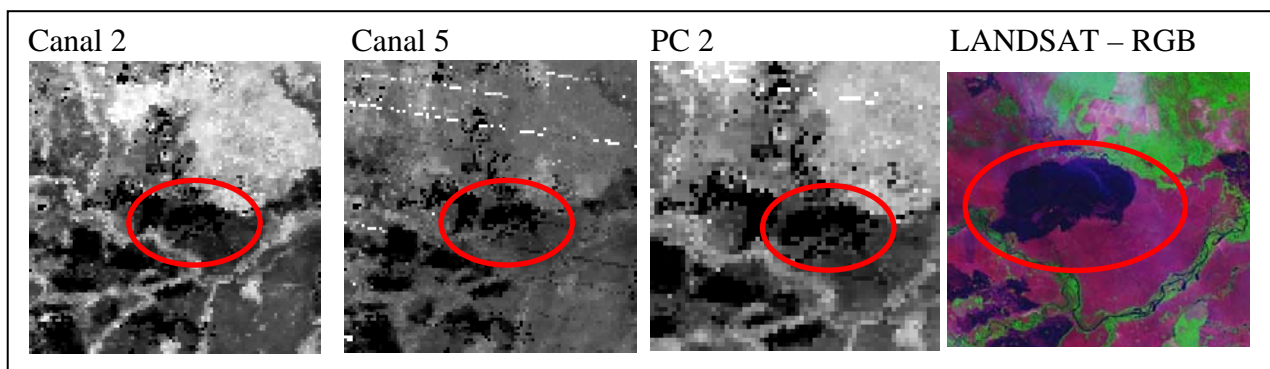
	<i>Não queimada</i>		<i>Queimada</i>		<i>M</i>
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	
<b>Ch1</b>	0,0350	0,0251	0,0587	0,0074	0,7299
<b>Ch2</b>	0,2928	0,0176	0,1042	0,0288	<b>4,0676</b>
<b>Ch3</b>	0,0165	0,0104	0,0357	0,0046	1,2866
<b>Ch4</b>	0,0462	0,0138	0,0519	0,0055	0,2939
<b>Ch5</b>	0,3115	0,0280	0,1503	0,0475	<b>2,1348</b>
<b>Ch6</b>	0,1743	0,0553	0,1705	0,0465	0,0373
<b>Ch7</b>	0,0678	0,0417	0,1474	0,0327	1,0690

**Tabela 2 – Pesos, autovalores e variância explicada para as CPs obtidas com a ACP aplicada aos canais do composto.**

	Pesos							Autovalores	Variância (%)
	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7		
<b>CP 1</b>	-0,446	0,016	-0,433	-0,436	-0,214	-0,437	-0,428	4,86	69,42
<b>CP 2</b>	0,032	-0,728	0,180	-0,110	-0,617	-0,028	0,204	1,75	24,98
<b>CP 3</b>	0,177	0,521	0,113	0,402	-0,676	-0,221	-0,125	0,22	3,11
<b>CP 4</b>	0,148	-0,302	0,299	0,339	0,337	-0,706	-0,262	0,09	1,37
<b>CP 5</b>	0,564	-0,240	-0,398	0,103	-0,033	0,308	-0,597	0,04	0,57
<b>CP 6</b>	0,433	0,032	-0,576	-0,053	0,032	-0,389	0,568	0,03	0,40
<b>CP 7</b>	-0,486	-0,216	-0,430	0,711	0,001	0,114	0,093	0,01	0,15

**Tabela 3 – O mesmo que na Tabela 1, mas para as CPs.**

	<i>Não queimada</i>		<i>Queimada</i>		<i>M</i>
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	
<b>CP 1</b>	-0,0909	0,0689	-0,0684	0,0444	0,1985
<b>CP 2</b>	0,0525	0,0207	-0,2043	0,0486	3,7057
<b>CP 3</b>	-0,0389	0,0263	-0,0491	0,0297	0,1822
<b>CP 4</b>	0,0386	0,0289	0,0344	0,0299	0,0727
<b>CP 5</b>	0,0075	0,0060	-0,0008	0,0123	0,4590
<b>CP 6</b>	0,0129	0,0077	-0,0214	0,0120	1,7421
<b>CP 7</b>	0,0146	0,0053	-0,0170	0,0047	3,1640



**Figura 1 – Bandas individuais do composto MODIS e a composição RGB 543 do LANDSAT (órbita-ponto 224/68, data 26-Ago-2004) mostrando uma área queimada (elipse vermelha) de onde foram extraídos os pixels para análise.**

## DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Observou-se que a refletância do canal 2 (NIR) decresce após a queimada. Os canais na faixa do SWIR (5, 6 e 7) apresentam entre si comportamentos distintos em relação ao canal 2, o que possivelmente está relacionado com o tipo de cobertura vegetal queimada; destas três bandas, apenas a 5 foi útil na caracterização de queimadas. O canal 2 apresentou o sinal radiométrico mais marcante (maior índice M) para as queimadas, concordando com resultados anteriores da literatura que consideram o NIR como a melhor região para identificar áreas queimadas em todos os tipos de cobertura vegetal; o canal 5 seguiu-se como o segundo mais eficiente na discriminação de áreas queimadas. Ambos os canais apresentaram também a melhor discriminação visual (Figura 1).

Os resultados mostram que as duas primeiras CPs explicam cerca de 94,4% da variância total dos dados. A segunda CP explicou 25% da variância dos dados e também foi a que melhor discriminou entre áreas queimadas e não queimadas (maior índice M). As bandas com os maiores peso na segunda CP, foram os canais 2 e 5, os quais, por sua vez, tiveram a melhor performance no índice de discriminação. Este resultado sugere que a combinação de bandas mais adequada para discriminar áreas queimadas na região de estudo deve incluir a região do infravermelho próximo, especificamente os canais 2 e 5. Os resultados deste trabalho serão empregados nos ajustes de índices espectrais e limiares utilizados no algoritmo de detecção de queimadas da Rede Latino-americana de Incêndios Florestais (RedLatif), a qual é parte do programa internacional *Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics* (GOFC-GOLD). Atualmente o algoritmo de detecção de queimadas desenvolvido pela RedLatif, utiliza as banda 2 e 7 do composto MODIS de 32 dias.

A utilização da ACP neste trabalho limita-se apenas a analisar as bandas mais adequadas para o mapeamento de áreas queimadas. Não se pretende desenvolver algoritmos de detecção de áreas queimadas baseados em CP ao invés das bandas individuais. Nota-se que embora a CP2 tenha

obtido o melhor índice M entre as demais CPs, o índice M alcançado pelo canal 2 individualmente é superior ao alcançado pela CP2. Adicionalmente, embora a CP2 possa ser encarada como a média do canal 2 e 5, ela é constituída por todos os sete canais, e desta forma pode conter informações redundantes. A sétima CP apresentou um alto índice de discriminação, bastante próximo do índice alcançado pela segunda CP. Entretanto, é importante mencionar que a CP7 é responsável por somente 0,15% da variância dos dados, sendo constituída essencialmente por ruídos presentes no conjunto de dados e, portanto não é aconselhável utilizá-la com o propósito de indicar as bandas mais adequadas para a discriminação de queimadas.

Pretende-se estender o estudo para outras áreas sendo e assim examinar de maneira ampla a influência da cobertura vegetal na variabilidade das características espectrais das áreas queimadas. Outros aspectos importantes a serem analisados serão o estudo desta variabilidade incluindo a componente temporal, e o uso adicional das bandas MODIS na faixa 2,5 a 4 um, particularmente sensíveis a alterações na cobertura vegetal devido a queimadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andreae, M. (1991). Biomass Burning in the Tropics: Impact on Environmental Quality and Global Climate. In Davis, K., & Bernstam, M.S. (eds.), *Resources, Environment, and Population: Present Knowledge, Future Options*, 268-291.

Calado, T.J. & DaCamara, C.C. (2001). Identification of cloudy fields and burnt areas by wildfires based on neuro-fuzzy techniques. *Proceedings of the EUMETSAT Meteorological Satellite Data User's Conference*, Antalya, Turquia,

Kaufman, Y.J. & Remer, L.A. (1994). Detection of forest using mid-IR reflectance: an application for aerosol studies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32, 672-683.

Levine, J.S., Cofer, W.R., III, Cahoon, D.R., Jr., & Winstead, E.L. (1995). Biomass burning: a driver for global change. *Environmental Science and Technology*, 29(1), 120-125.

Lucas R.M., Curran, P.J., Honzak, M., Foody, G.M., Milne, R., Brown, T., & Amaral, S. (2000). Mapping the regional extent of tropical forest regeneration stages in the Brazilian Legal Amazon using NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 2855-2881.

O'Brien, K.L. (1996). Tropical deforestation and climate change. *Progress in Physical Geography*, 20(3), 311-332.

Pereira, J.M.C., Chuvieco, E., Beaundoin, A., & Desbois, N. (1997). Remote sensing of burned areas: a review. In: Chuvieco, E.; Ed. *A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires*. Alcalá de Henares, 127-183.

UNEP/IUN (1998). The Kyoto Protocol to the Convention on Climate Change (Geneva: Climate Change Secretariat, UNEP/IUN).

Zhan, X., Sohlberg, R.A., Townshend, J.R.G., Dimiceli, C., Carrol, M.L., Eastman, J.C., Hansen, M.C., & Defries, R.S. (2002). Detection of land cover changes using MODIS 250m data. *Remote Sensing of Environment*, 83, 336-350.