

Comparação de três métodos de mapeamento de cicatrizes de áreas queimadas na Terra Indígena Marãiwatsédé, MT

Tamires de Fátima Pinto Lisbôa Guimarães¹
Alberto Setzer²
Alessandra Rodrigues Gomes¹
Marcos Adami¹
Fabiano Morelli²
João Felipe Sobrinho Kneipp Cerqueira Pinto¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro Regional Amazônia – INPE/CRA
Parque de Ciência e Tecnologia do Guamá, 2651, Av. Perimetral – CEP: 66077-830
Belém-PA, Brasil.

{tamires.lisboa, alessandra.gomes, marcos.adami}@inpe.br; jfkneipp@gmail.com

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE Av. dos Astronautas 1758 Jardim da Granja – CEP: 12227-010 São José dos Campos - SP, Brasil
{alberto.setzer, fabiano.morelli}@inpe.br

Abstract. This work compares three methods for mapping burned areas in a pair of consecutive Landsat-8/OLI medium-space resolution (30m) images; two of them use spectral index compositions such as NDVI and NBR and the third is based on the shadow fraction of the Linear Spectral Mixture Model; visual analysis of the two images provided the reference data. The area analyzed was a rectangle of 71 km x 87 km around the Marãiwatsédé Indigenous Land in the path/row Landsat 224/068, in the northeast of the state of Mato Grosso, Brazil, of which about 40.000 ha burned in the 16-day period. The comparison between the three methods and the reference interpretation resulted in class maps and contingency tables. The methods presented reliable results, with omission errors between 7% and 12%, and commission errors of 6% to 10%. The semi-automatic method used by INPE's Vegetation Fire Program produced overall better results considering the final errors and execution time; it should be further tested for other areas and biomes to assure its quality.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, monitoramento de queimadas, processamentos digitais de imagem, remote sensing, fire monitoring, digital image processing.

1. Introdução

Assim como a localização geográfica e o número de focos de fogo ativo detectados por satélites são relevantes, a determinação da extensão das áreas queimadas através do mapeamento também é importante para estudos científicos, técnicos e administrativos relativos à ocorrência do fogo na vegetação (SETZER *et al.*, 1992). O Programa Queimadas do INPE desenvolve produtos automáticos para mapear áreas queimadas (INPE 2016 a e b), tanto em imagens de baixa (1 km) como de média resolução espacial (30 m), onde a escolha dos métodos para a geração de produtos mais acurados e precisos é feita a partir de validações. Neste contexto, o Projeto Queimadas do INPE/Centro Regional da Amazônia (CRA), criado a partir da parceria com Programa Queimadas do INPE em 2013, visa mapear e monitorar cicatrizes de áreas queimadas na Amazônia Legal, a partir de imagens orbitais de média resolução espacial.

Diversas são as proposições de mapeamentos de áreas queimadas no Brasil, dentre as quais pode-se destacar as de Melchiori (2014), que está sendo implementado em modo semi-automático no Programa Queimadas do INPE (INPE, 2016b), e Quintano *et al.* (2011). Enquanto que o primeiro propõe a composição de índices espectrais utilizando NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e NBR (Razão de

Queima Normalizada) aplicada às imagens Landsat 8, o segundo grupo utiliza a fração sombra do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) em imagens Landsat-5.

O presente trabalho tem como objetivo comparar os dois métodos de mapeamentos de áreas queimadas, de Melchiori (2014) e Quintano *et al.* (2011), com o resultado de interpretação visual de imagens orbitais de média resolução espacial realizada no CRA, que por sua vez é baseado no NDVI, NBR e banda 5 (0,76 a 0,90 μm), para assim colaborar na escolha da melhor opção para mapeamento rotineiro de áreas queimadas na Amazônia.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo corresponde ao retângulo envolvente de 71 km x 87 km em torno da Terra Indígena (TI), Marãiwatsédé compreendida na orbita/ponto Landsat 224/068, localizada na região conhecida como Norte do Araguaia, na porção nordeste do estado do Mato Grosso, incluindo partes dos municípios de Alto Boa Vista, Bom Jesus do Araguaia, Canabrava do Norte, São Félix do Araguaia, Serra Nova Dourada (Figura 1). A área está localizada na faixa de transição entre os Biomas Cerrado e Amazônia, tendo como vegetação característica a Floresta Estacional Semidecidual (PROJETO RADAMBRASIL, 1982). O clima tropical apresenta temperaturas médias anuais que variam entre 24 e 26 °C e a precipitação média anual entre 1.501 e 1.750 mm (MENDONÇA, 2007).

A (TI) Marãiwatsédé é ocupada por índios de etnia Xavante e foi declarada de ocupação tradicional indígena em 1993, e homologada por decreto presidencial em 1998 como de posse permanente e usufruto exclusivo do povo Xavante (FUNAI, 2016). Segundo dados do INPE, em 2015 a TI foi a terra indígena que mais sofreu queimadas, somente entre os meses julho e agosto foram registrados cerca de 534 focos de queima detectados por satélites.

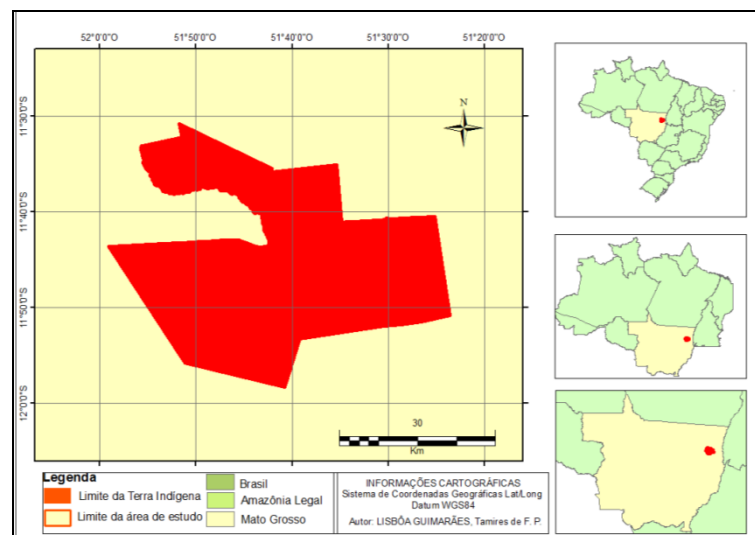


Figura 1: Mapa de localização da área da Terra Indígena Marãiwatsédé.

2.1. Processamentos utilizados

Para esta região foram analisadas as imagens orbitais “OLI” Landsat-8 pré-registradas da *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* disponíveis na coleção de dados da *Global Land Cover Facility (GLCF)* (USGS, 2016) de média resolução espacial (30 m). Foram obtidas duas imagens, uma da data de 24 de julho de

2015, pré-queima, aqui considerada como Tempo 1 e outra, de 09 de agosto de 2015, pós-queima, neste trabalho considerada como Tempo 2.

Estas imagens foram contrastadas e foi realizado o mapeamento visual de referência (Tabela 1) apenas com as classes “queimada”, “não-queimada” e “área não observada” para ser comparado com os resultados dos três métodos avaliados. Os processamentos foram realizados com o aplicativo TerraAmazon (2016), versão 4.5.1.

Tabela 1: Critérios de fotointerpretação de imagem utilizados

CLASSE	COR	TONALIDADE	TEXTURA	FORMA	CONTEXTO
Queimada	Roxa ou magenta escuro na composição RGB	Alta/Média	Lisa	Regular com limites bem definidos	Predomínio de solo exposto com resíduos de queimadas

2.2. Método Melchiori

No mapeamento proposto por Melchiori (2014), inicialmente foram geradas as imagens NDVI's e NBR's do Tempo 1 e Tempo 2, sendo que o NDVI é calculado com as propriedades espectrais de vegetação nas regiões do visível e do infravermelho próximo, conforme a relação (Equação 1):

$$NDVI = (ivp-v) / (ivp+v) \quad (1)$$

Onde: ivp = infra-vermelho próximo e v = vermelho.

Por sua vez, o NBR é obtido pela relação (Equação 2)

$$NBR = (ivm-ivp) / (ivm+ivp) \quad (2)$$

Onde: ivm= infra-vermelho médio.

O segundo passo consistiu na geração da diferença entre os pares de imagens NDVI e NBR, expressa, respectivamente (Equações 3 e 4):

$$dNDVI= NDVI_{t1} - NDVI_{t2} \quad (3)$$

$$dNBR= NBR_{t1}-NBR_{t2} \quad (4)$$

Onde: t1 corresponde a data de 24 de julho de 2015 e t2 à de 09 de agosto de 2015.

Os resultados das diferenças de NDVI e NBR, juntamente com o NBR do Tempo 2 formam a Composição Colorida de Índices, composta por:

R) dNDVI; G) NBR_{t2}; B) dNBR

Em seguida, calcula-se as taxas de variação de NDVI e NBR, expressas respectivamente (Equações 5 e 6):

$$NDVI = (NDVI_{t1} - NDVI_{t2}) / NDVI_{t1} \quad (5)$$

$$NBR = (NBR_{t1} - NBR_{t2}) / NBR_{t1} \quad (6)$$

Por meio do limitador $NDVI > 0,45$ aplica-se o filtro ao produto da taxa de variação do NDVI, e com $NBR > 0,5$ aplica-se o filtro à taxa de variação do NBR. A multiplicação das imagens binárias geradas pela aplicação dos filtros gera a máscara de cicatrizes de queimadas entre o Tempo 1 e o Tempo 2.

2.3. Método Quintano *et al* (2011).

Para o mapeamento proposto por Quintano *et al.* (2011), inicialmente foram realizados o MLME para o Tempo 1 e para o Tempo 2, considerando que a resposta de cada píxel, em qualquer banda espectral, pode ser definida como uma combinação linear das respostas de cada componente do alvo sensoriado. Desse modo, cada píxel da imagem, que pode assumir qualquer valor dentro da escala de cinza, contém informações sobre a proporção e a resposta espectral de cada componente dentro de cada elemento de resolução. O MLME é então utilizado para quantificar espectralmente os componentes dentro do píxel, gerando as imagens correspondentes, reduzindo o volume de dados utilizados no processamento e realçando os alvos de interesse (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009; NERY *et al.*, 2014).

Em seguida, foram extraídas as frações sombra para a estimativa da área queimada (Mudança), representada por (Equação 7):

$$\text{Mudança} = \text{fração sombra T2} - \text{fração sombra T1} \quad (7)$$

À imagem resultante, seguindo o método, foi aplicado o classificador não-supervisionado K-médias com 2 classes: a) queimada e b) não-queimada. Ao produto correspondente às cicatrizes de queimadas foi aplicado o filtro mediana 3X3 para remover os ruídos na estimativa.

2.4. Método CRA

No mapeamento de cicatrizes proposto pelo CRA, foram geradas inicialmente as imagens NDVI (equação 1) e NBR (equação 2) para as cenas do Tempo 1 e do Tempo 2. O segundo passo CRA, consistiu na geração da composição de índices para cada uma das datas T1 e T2 utilizando o NDVI, o NBR e a banda 5 (0,76 a 0,90 μm) correspondente.

Em seguida, realizou-se a segmentação das composições de índices resultantes, com os seguintes parâmetros sugeridos pelo TerraAmazon: segmentador *Baatz*, distância euclidiana=20 e cor e compacidade=0,5.

Os polígonos gerados nas segmentações foram interpretados e classificados manualmente utilizando os critérios de fotointerpretação pré-definidos na Tabela 1.

A máscara de cicatrizes foi obtida através da diferença das imagens interpretadas para o Tempo 1 e Tempo 2 (Equação 8).

$$\text{Máscara de cicatrizes} = \text{cicatrizes do T2} - \text{cicatrizes do T1} \quad (8)$$

O cálculo dos erros de comissão (inclusão) e omissão de cada um dos três métodos avaliados foi realizado fazendo a tabulação cruzada entre os resultados das classes “queimada” e “não-queimada” dos métodos com o mapeamento de referência, criando as seguintes cinco possibilidades:

1. Queimada: queimada na referência e queimada no resultado do método em questão;
2. Não queimada: não queimada na referência e não queimada no método;

3. Omissão: queimada na referência e não queimada no método;
4. Comissão (inclusão): não queimada na referência e queimada no teste;
5. Área não observada: área não observada na referência e queimada ou não queimada nos métodos de Emiliano (2014) e Quintano *et al.* (2011).

3. Resultados e Discussão

Os mapas de classes gerados através da comparação entre os métodos e a interpretação de referência, e as tabelas de contingência resultantes encontram-se na Figura 2 e Tabela 2 para Melchiori (2014), Figura 3 e Tabela 3 para Quintano *et al.* (2011), e na Figura 4 e Tabela 4 para CRA.

Os resultados representam a coerência entre os três métodos utilizados.

A Figura 2 mostra que os erros de comissão (inclusão) do método Melchiori (2014) concentraram-se próximo às áreas classificadas como não observadas correspondentes à nuvens, sombra de nuvens ou fumaça, e o percentual do erro de omissão foi representado por cicatrizes com área inferior a 5 mil ha.

A Tabela 2 aponta os baixos índices de inclusão (9%) e omissão (12%) apresentados como resultado da aplicação do método Melchiori (2014).

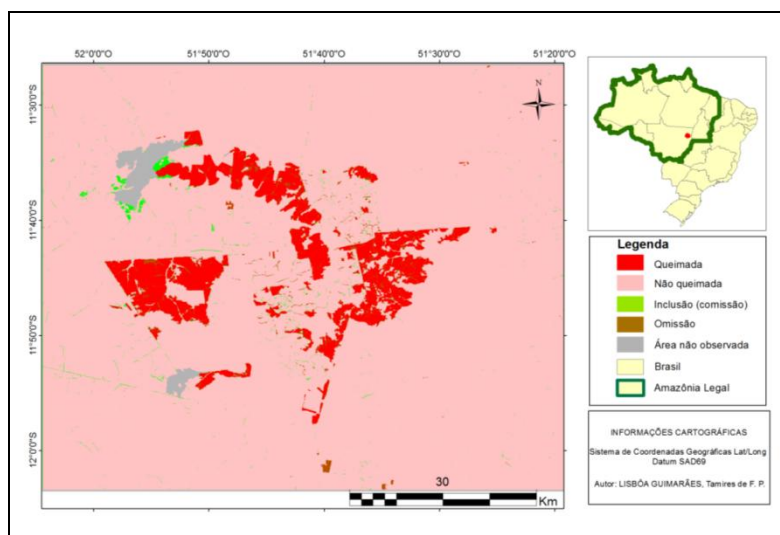


Figura 2: Mapa de estimativa de erros da metodologia de Melchiori (2014).

Tabela 2: Estimativa de erros da Metodologia Melchiori; áreas em ha.

		Referência		Total	Inclusão
		Queimado	Não Queimado		
Mapa	Queimado	38.260	3.833	42.091	9 %
	Não Queimado	5.328	531.874	537.201	1%
Total		43.588	535.706	579.294	
Omissão		12%	1%		

A Tabela 3 com os valores dos resultados da aplicação do método Quintano *et al.*(2011) aponta um erro de inclusão de 10%, pouco maior se comparado aos 9% de Melchiori (2014) e um erro de omissão igual ao resultante do primeiro método, de 12%.

A Figura 3 demonstra que os erros de comissão (inclusão) do método Quintano *et al.* (2011) também estão próximo às áreas classificadas como não observadas

correspondentes à nuvens, sombra de nuvens ou fumaça, e o percentual do erro de omissão foi representado por cicatrizes com área total inferior a 5 mil ha.

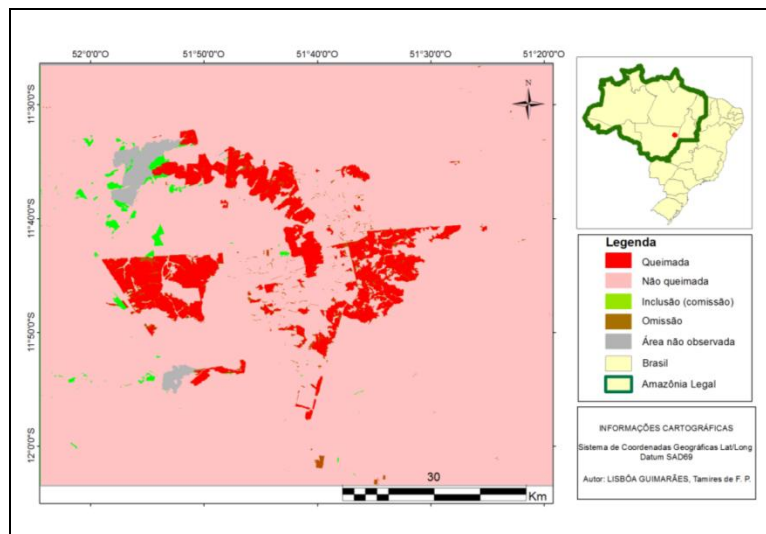


Figura 3: Mapa de estimativa de erros da metodologia de Quintano *et al.*

Tabela 3: Estimativa de erros da Metodologia Quintano *et al.*; áreas em ha.

		Referência		Total	Inclusão
		Queimado	Não Queimado		
Mapa	Queimado	38.344	4.354	42.698	10%
	Não Queimado	5.225	531.396	536.620	1%
Total		43.569	535.750	579.319	
Omissão		12%	1%		

Na Figura 4, o mapa resultante apresenta menor número de áreas, tanto de inclusão quanto de omissão, quando comparados os dois métodos anteriores. O mapa não apresenta área não observada devido a esta ser desconsiderada pelo intérprete no momento da classificação visual.

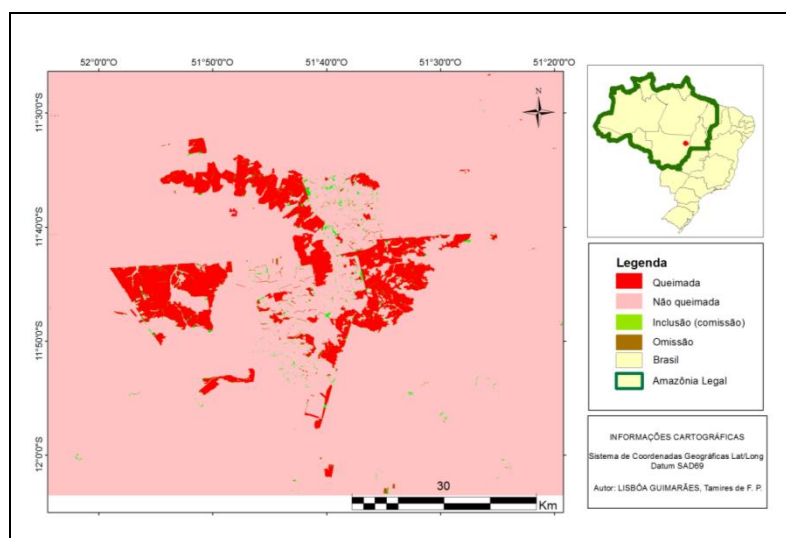


Figura 4: Mapa de estimativa de erros da metodologia CRA.

A Tabela 4 expressa os menores erros de inclusão (6%) e omissão (7%) entre os três métodos testados.

Tabela 4: Estimativa de erros da Metodologia CRA; áreas em ha.

		Referência		Total	Inclusão
		Queimado	Não Queimado		
Mapa	Queimado	40.386	2.405	42.791	6%
	Não Queimado	3.184	560.002	563.186	1%
	Total	3.184	560.002	563.186	
	Omissão	7%	0%		

A comparação dos resultados indica que o método CRA apresentou os menores erros de omissão e comissão, com precisão global igual a 99%, mas precisou de maior tempo de execução. O método de Quintano *et al.* (2011) apresentou o maior erro de comissão, e seu tempo de execução foi menor que o do CRA e igual ao de Melchiori (2014). Os erros de omissão dos métodos Quintano *et al.* (2011) e Melchiori (2014) foram equivalentes. A partir da análise dos erros e do tempo de execução o método de Melchiori apresentou os resultados mais satisfatórios (Tabela 5).

Tabela 5: Comparação dos resultados

	MELCHIORI	QUINTANO	CRA
Erros de Omissão - %	12	12	7
Erros de Comissão (Inclusão) - %	9	10	6
Precisão global - %	98	98	99
Tempo de Execução - h	16	16	32

Os três métodos apresentaram resultados fiáveis para o mapeamento de cicatrizes de queimadas, sendo que a parcela de erros de comissão nos métodos de Melchiori e Quintano *et al.* são atribuídas à semelhança da resposta espectral de queimadas e áreas de nuvens finas ou de fumaça, indicando a necessidade de adequação dos valores ou tipos de filtros aplicados nestes métodos. Enquanto que no método CRA o intérprete desconsidera integralmente as áreas de nuvem, sombra de nuvem e fumaça, conferindo maior acurácia nos resultados e menor erro de comissão, a fragilidade do método está relacionada ao tempo de execução.

4. Conclusões

Nas comparações dos três métodos, o CRA apresentou menores erros de omissão e comissão, mas necessitou de maior tempo de execução, 32 h, devido à necessidade da interpretação visual. Os resultados do método CRA estão relacionados à experiência de classificação do intérprete, enquanto que os de Melchiori (2014) e Quintano *et al.* (2011) não dependem de intervenção humana.

O método Melchiori produziu bons resultados tanto na percentagem de erros de omissão e comissão (inclusão) quanto no tempo de execução para a área testada, podendo ser testado para novas áreas e/ou em imagens advindas de outros sensores e satélites. Os processamentos de Melchiori (2014) e Quintano *et al.* (2011) necessitaram 16 horas de máquina devido a problemas de compatibilidade dos produtos dos processamentos com o software utilizado, podendo ser realizados na metade do tempo.

Agradecimentos

À Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA) pelo apoio financeiro e ao Msc. Luiz Sadeck pelo apoio técnico.

Referências Bibliográficas

- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em:
< <https://queimadas.dgi.inpe.br/aq1km/>>. Acesso em: 19.out.2016a.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em:
< <https://queimadas.dgi.inpe.br/aq30m/>> Acesso em: 19.out.2016b.
- Fundação Nacional do Índio (FUNAI). Disponível em:
<<http://www.funai.gov.br/index.php/comunicacao/notas/2335-nota-da-funai-sobre-a-terra-indigena-maraiwatsede-mt>>. Acesso em: 02.nov.2016.
- Melchiori, A. E. **Algoritmo Digital Automático para Estimar Áreas Queimadas em Imagens de Média Resolução da Região do Jalapão. Relatório GIZ**, São José dos Campos: 2014. 16 p.
- Mendonça, F. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.
- Nery, C.; Moreira, A.; Fernandes, F.; Almeida, L.; Almeida, R. **Utilização do modelo linear de mistura espectral e NDVI para avaliação do comportamento de área desmatada no município de Rio Pardo de Minas/MG**. Caminhos de Geografia, Uberlândia 15(49): 104-112, mar/2014.
- Novo, E. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 4ª ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- Projeto Radambrasil. **Série Vegetação: classificação fisionômico-ecológica da vegetação neotropical**. Salvador: 1982. 86 p.
- Setzer, A.; Pereira, M.C.; Pereira Jr, A.C. **O uso de satélites NOAA na detecção de queimadas no Brasil**. Climanálise, 7(8): 40-53, ago/1992.
- Quintano, C.; Fernandez-Manso, A.; Shimabukuro, A.; Pereira, G. **Aplicação do modelo linear de mistura espectral para o mapeamento de queimadas no Parque Nacional das Emas**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR) 15, 2011, Curitiba. Anais, São José dos Campos: INPE, 2011: p.7910-7917.
- TerraAmazon. Disponível em: <<http://terraamazon.org/>>. Acesso em: 10.fev.2016.
- United States Geological Survey (USGS). Global Land Cover Facility. Disponível em:
< <http://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso: 10.jan.2016.