



Avaliação de técnicas de compósitos multitemporais em imagens PROBA-V para o mapeamento de áreas queimadas

Allan Arantes Pereira^{1,4}

Renata Libonati²

Duarte Oom³

Luis Marcelo Carvalho Tavares⁴

José Miguel Cardoso Oliveira Pereira³

¹Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais –
IFSULDEMINAS/Campus Poços de Caldas
CEP 37701-103 – Poços de Caldas - MG, Brasil
allan.pereira@ifsuldeminas.edu.br

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências.
Caixa-postal: 32819 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro, RJ - Brasil
renata.libonati@igeo.ufrj.br

³Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa
Tapada da Ajuda, 1349-017 – Lisboa, Portugal
duarte.oom@gmail.com ,jmocpereira@gmail.com

⁴Universidade Federal de Lavras – UFLA
Caixa Postal 37200-000– Lavras - MG, Brasil
passarinho@dcf.ufla.br;

Abstract. Moderate resolution optical remote sensing data provides opportunities to monitor and discriminate burned area in an accurate way. This study assesses the performance of four different multitemporal compositing techniques using PROBA-V satellite imagery aiming burned area mapping algorithms, namely: first minimum Near Infrared (NIR) reflectance value, second minimum NIR value, combined NIR and ShortWave Infrared (SWIR) values, and maximum Normalize Difference Vegetation Index (NDVI) value. A quantitative assessment of the performance of each compositing technique was achieved by evaluating the ability to discriminate burned and unburned pixels, analyzing clouds/shadows persistence and the frequency of high solar zenith angles view on each compositing. The results showed that the second minimum NIR compositing technique is the most suitable for burned areas mapping, due to its ability to retain burned signals and to eliminate off nadir pixels and those contaminated with clouds/and shadows.

Palavras-chave: PROBA-V, multitemporal compositing, burned area,, compósitos multitemporais, áreas queimadas.

1. Introdução

O interesse por informações sobre a ocorrência do fogo na vegetação provenientes de sensores orbitais tem aumentado nos últimos anos por parte dos pesquisadores de diversas áreas do conhecimento (Mouillot et al., 2014). Isto porque os dados derivados de sensores orbitais de diversas resoluções espaciais e temporais tem possibilitado estudos direcionados à relação entre queimadas e ciclos biogeoquímicos, doenças respiratórias, bem como ao controle do desmatamento, de elevado interesse para o setor governamental (Gonçalvez et al., 2010; Freitas, 2005; Pereira et al., 2014).

No entanto, algumas limitações dificultam a observação da superfície terrestre pelos sensores a bordo de satélites, como por exemplo, a ocorrência de nuvens e sombras, considerada uma das principais limitações no mapeamento de áreas queimadas. Estima-se que a probabilidade de ocorrência de nuvens no Hemisfério Norte é de 0,62 e no Hemisfério Sul 0,53, sendo a média global, correspondente a 0,58 (WMO, 1994).

Para minimizar o efeito da presença de nuvens e sombras nas imagens, alguns autores sugerem a utilização de técnicas associadas à construção de compósitos multitemporais, como base em um conjunto de imagens de satélite que poderão ser diárias (Holben 1986; Souza et al., 2003, Chuvieco et al., 2005, Libonati et al., 2015),

Entre as técnicas de compósitos multitemporais, a mais comum considera o máximo valor de NDVI (*Normalize Difference Vegetation Index*) (Holben, 1986). Entretanto, esta técnica apresenta algumas limitações no mapeamento de áreas queimadas (Martin, 1998; Pereira, 1999a; Sousa et al., 2003). Baseando-se no pressuposto da queda de refletância do canal NIR após uma queimada (Pereira, 1999), algumas técnicas de compósitos utilizam a refletância deste canal (sozinha ou combinada com outros canais) como critério principal. No entanto, sombras de nuvens também apresentam este comportamento e podem ser confundidas com as queimadas.

Diante deste contexto, o objetivo deste artigo foi o de avaliar quatro técnicas de construção de compósitos multitemporais usando imagens do sensor VEGETATION a bordo do satélite PROBA-V. Separabilidade entre áreas queimadas e outros alvos, qualidade visual dos compósitos e a distribuição dos ângulos zenitais de visada foram também analisados. A principal contribuição deste trabalho foi o de explorar este sensor quanto ao melhor método de compósito para o mapeamento de áreas queimadas, permitindo o aprimoramento de algoritmos automáticos de detecção de áreas afetadas pelos fogos na vegetação.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo:

A área de estudo está localizada nas latitudes entre -15°S e -25°S e longitudes entre -40°W e -50°W e corresponde ao *tile* 13Y09 do satélite PROBA-V, onde estão inseridas grandes áreas dos estados da região Sudeste do Brasil, parte do sudeste do estado de Goiás, sul da Bahia e nordeste do Paraná, perfazendo um total de 1.000.000 km². Os Biomas compreendidos na área de estudo são o Cerrado e a Mata Atlântica, com uma pequena área de Caatinga ao norte do referido *tile* (Figura 1).

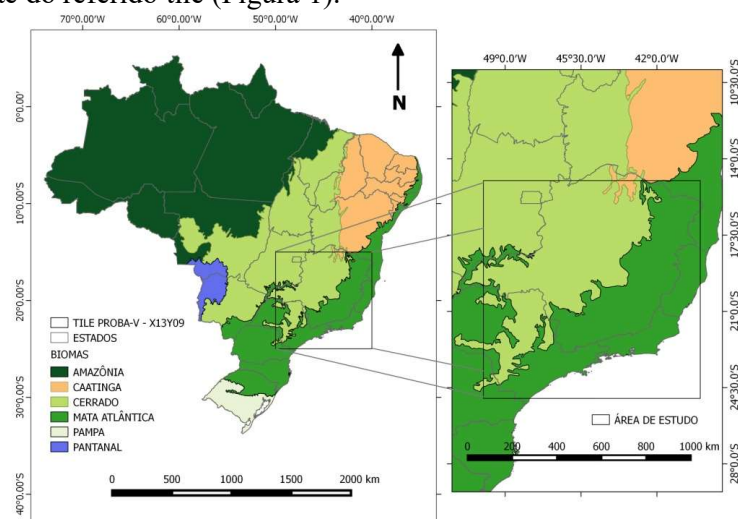


Figura 1. Área de estudo e Biomas brasileiros (Adaptado de IBGE, 2004). Em destaque o *tile* X13Y09 das imagens do satélite PROBA-V.

2.2 Dados PROBA-V (S1-TOC, S10-TOC e mascaras de nuvens e sombras):

O satélite PROBA-V (*Project for On-Board Autonomy – Vegetation*) foi projetado com o intuito de dar continuidade a série de imagens do satélite da série SPOT-VEGETATION. Os sensores a bordo deste satélite possuem quatro canais multiespectrais: azul ($0,463 \mu\text{m}$); vermelho ($0,655 \mu\text{m}$); infravermelho próximo – NIR ($0,845 \mu\text{m}$), e infravermelho de ondas curtas – SWIR ($1,6 \mu\text{m}$) (Francois et al., 2014). Neste trabalho, foram utilizados os dados dos produtos S1-TOC (*Top of the canopy*) e S10-TOC, que consiste nos dados diários e compósitos de 10 dias do máximo valor de NDVI (Holben, 1986). O produto S10-TOC tem os dias iniciais no dia 1, 11 ou 21 de cada mês (Wolters et al., 2016).

Para este artigo, foram utilizadas as 31 imagens diárias (S1-TOC) do mês de outubro de 2015 e os três compósitos de dez dias (S10-TOC). Ambos os produtos contém informações sobre refletância da superfície, ângulos zenitais solar e de visada e mascaras de nuvens, e estão disponíveis no site <http://www.vito-eodata.be/>.

O algoritmo de detecção de nuvens do PROBA-V tem com base as bandas azul e SWIR. As sombras são mapeadas por meio de um método geométrico, com base no ângulo solar, ângulo de visada e estimativa de altura das nuvens, complementar de um limiar com base nos valores de NIR. No entanto, a diferença temporal entre a coleta de dados do canal NIR para o SWIR de 12 segundos, afeta diretamente nas mascaras de nuvens/sombra (Wolters et al., 2015). A Figura 2 apresenta uma defasagem das máscaras de nuvens e sombras, decorrente dessa diferença. O procedimento do algoritmo de detecção de nuvens e sombra está descrito em Dierckx et al. (2014).

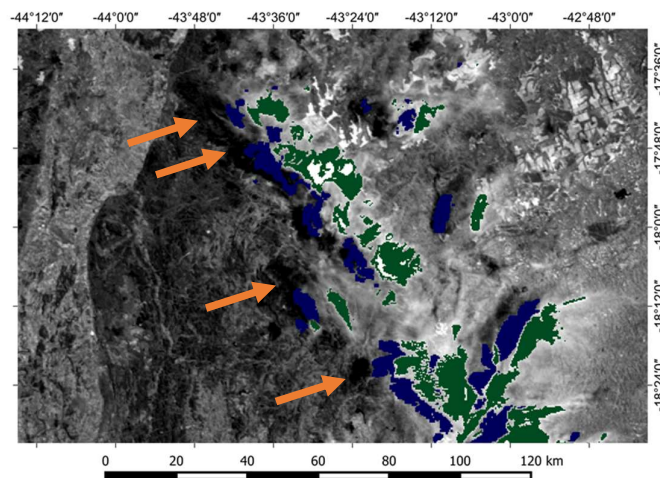


Figura 2. Recorte da imagem do canal NIR na região da serra do espinhaço Minas Gerais, de 27 de setembro de 2014. Em verde estão as máscaras de nuvens e em azul as máscaras de sombras de nuvens. As setas em laranja indicam as áreas de sombras que não foram mascaradas.

2.3 Focos Ativos

Foram utilizados focos ativos do sensor VIIRS (*Visible Infrared Imager Radiometer Suite*) do satélite VIIRS Suomi NPP (Schroeder et al., 2014) para direcionar visualmente a coleta de amostras de áreas queimadas. Este satélite possui uma resolução espacial de 375 metros e fornece informações sobre focos ativos duas vezes ao dia. Os dados utilizados são disponibilizados pelo site [bdqueimadas/INPE \(http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/\)](http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/). Ao todo, foram coletados 1.000 pixels como amostras.

2.4 Metodologia

Foram avaliadas as seguintes técnicas para geração de compósitos:

Técnica 1 – Menor valor de refletância do canal NIR (1 NIR);

Técnica 2 – Segundo menor valor de refletância do canal NIR (2 NIR);

Técnica 3 – Entre os três menores valores da refletância do NIR, o valor na data de maior refletância do SWIR (NIR -SWIR);

Técnica 4 – Produto PROBA-V S10-TOC, com o máximo valor de NDVI em 10 dias (NDVI).

Para cada uma das três primeiras técnicas descritas acima foram gerados dois compósitos de 15 dias. O produto referente a técnica 4 fornece compósitos de 10 dias. Dessa forma, foram construídos dois compósitos para o mês de outubro, considerando a primeira quinzena como a imagem antes das queimadas (T1) e a segunda quinzena a imagem depois das queimadas (T2). As imagens diárias foram mascaradas com os dados de máscaras de nuvens/sombras, antes de aplicar os critérios de avaliação, excluindo estes pixels para gerar os compósitos.

A separabilidade entre os valores de refletância de áreas queimadas e não queimado, foi calculada através do índice M (Kaufman e Remer, 1994). Este índice é utilizado para aferir a distinção entre classes com base na diferença da média dos valores de duas classes, dividido pela soma do desvio padrão. A equação do índice M é dada por (Equação 1)

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

Onde μ e σ são respectivamente a média e desvio padrão dos valores das refletâncias dos pixels para classe não queimados e nq e d classe queimados, q . Esse teste representa a sobreposição dos histogramas das classes analisadas, representando baixa separabilidade entre as classes quando $M < 1$ e alta separabilidade quando $M > 1$ (Pereira 1999; Veraverbeke et al., 2011).

Além do índice M, foi calculado o histogramas com a frequência relativa com valores dos 1.000 pixels coletados como amostras nas áreas queimadas dos compósitos pós fogo. O histograma mostra os valores em T1, que representam as amostras nos compósitos antes das queimadas e T2 nos compósitos depois das queimadas. Quanto menor a sobreposição dos histogramas T1 e T2, maior a distinção entre área queimada e não queimado.

A avaliação das nuvens foi realizada por meio de uma inspeção visual em cada cena, e as principais diferenças visuais de cada compósito foram ilustradas a fim de auxiliar nas discussões.

Também foi analisada a distribuição dos ângulos zenitais dos pixels dos compósitos, tendo em conta a proximidade entre o nadir e o ângulo de visada. Quanto mais próximo do nadir o ângulo de visada, menor é a interferência dos efeitos atmosféricos nas imagens (Van Leeuwen et al., 1999).

3. Resultados e discussões

Os resultados foram avaliados no sentido de verificar qual a técnica de compósito que fornece imagens com menor percentagem de sombras e nuvens, no entanto, que preserve as informações sobre as características espectrais das queimadas. Segundo o índice M, a técnica de compósito que apresentou maior separabilidade entre as classes queimadas e não queimadas foi o de primeiro mínimo de NIR (1 NIR), seguido do segundo mínimo de NIR (2 NIR), NDVI e por último a combinação NIR e SWIR. A tabela 1 apresenta os resultados do índice M das quatro técnicas de compósitos PROBA-V avaliados.



Tabela 1. Índice M para as quatro técnicas de compósitos

Técnicas de Compósitos	Índice M
1 - Mínimo valor de refletância do canal NIR	1,4
2 - Segundo mínimo valor de refletância do canal NIR	1,3
3 - Entre os três menores valores de refletância NIR, o valor no dia com maior refletância do SWIR	0,93
4 - Máximo valor de NDVI	1

Os melhores valores de separabilidade de queimadas estão nos dois primeiros critérios que utilizam apenas os dados do canal NIR. A Figura 3 mostra uma sobreposição menor nos compósitos primeiro mínimo de NIR, seguido do segundo mínimo de NIR, sendo estes resultados reflexos dos valores do índice M.

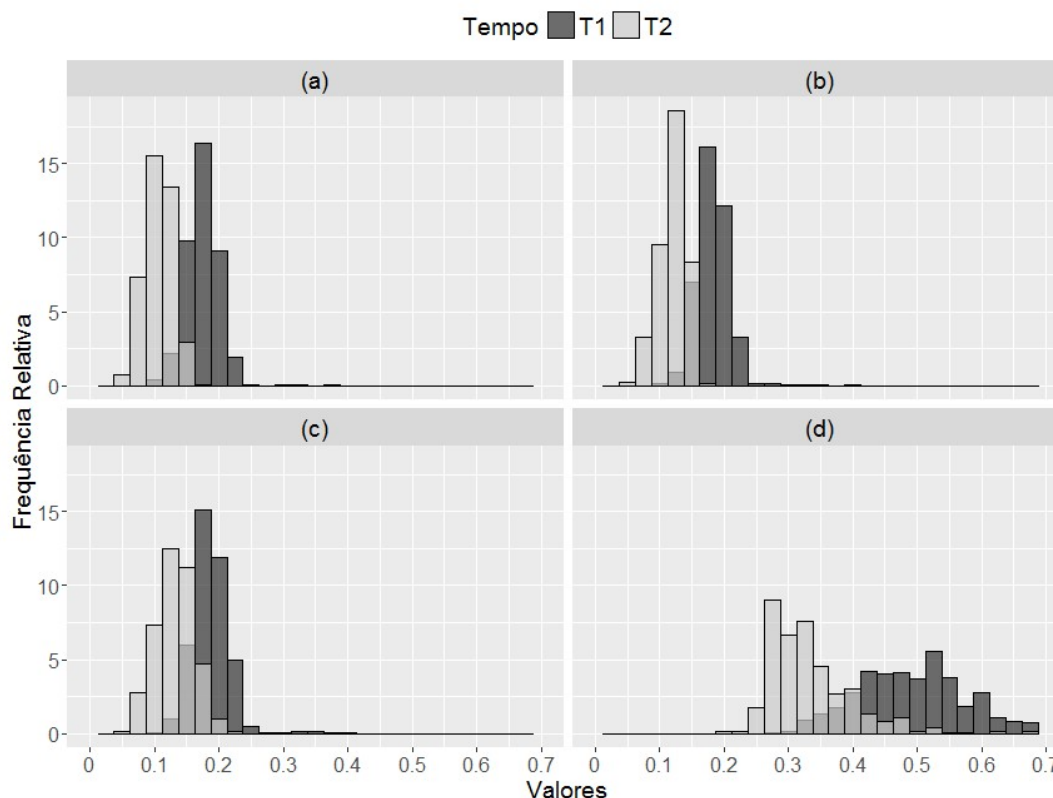


Figura 3. Histograma com a frequência relativa dos valores de 1.000 pixels coletados como amostras de áreas queimadas, para cada técnica de compósitos; (a) mínimo valor de refletância de NIR (1 NIR), (b) segundo mínima refletância NIR (2 NIR), (c) entre os três menores valores de refletância NIR, o valor no dia com maior refletância de SWIR, e (d) o máximo NDVI (normalizado entre 0 e 1). T1 representa os valores das amostras coletadas antes das queimadas e T2 depois das queimadas.

3.2 – Persistência de sombras de nuvens

A Figura 4 apresenta um recorte de cada técnica de compósito para a região da serra do espinhaço, Minas Gerais. Nesta região, a serra forma uma barreira geográfica que retêm grandes quantidade de nuvens.

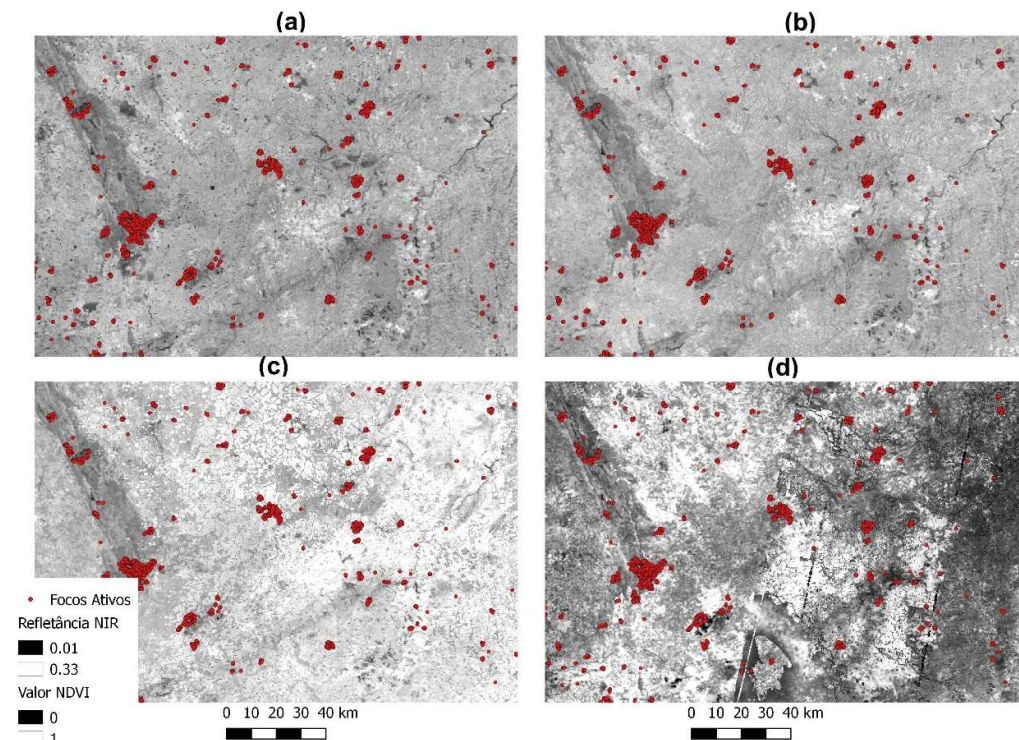


Figura 4. Recorte dos compósitos multitemporais e focos ativos. (a) mínimo valor de refletância de NIR (1 NIR), (b) segundo mínima refletância NIR (2 NIR), (c) entre os três menores valores de refletância NIR, o valor no dia com maior refletância de SWIR, e (d) o máximo NDVI (normalizado entre 0 e 1). Os valores da legenda correspondem aos valores de refletância do canal NIR e os valores de NDVI em escala de 0 a 1.

Tendo em conta a semelhança espectral entre sombras de nuvens e queimadas, a análise com focos ativos na técnica 1 NIR permitiu a identificação de uma grande quantidade de nuvens persistentes.

Já a técnica 2 NIR apresentou uma imagem com menor percentagem de presença de sombras. Isto porque as sombras que aparecem na técnica de compósito 1 NIR, desaparecem na data da escolha do segundo mínimo valor de refletância do canal NIR. Já as cicatrizes de queimadas estarão presentes em ambos os compósitos.

As técnicas de compósitos NDVI e a que combina valores de NIR e de SWIR apresentaram uma menor percentagem de presença de sombras quando comparado com o compósito 1 NIR. Porém, estes dois critérios tenderam a escolher pixels mais claros, como pode-se observar na Figura 4c).

Através da análise visual e comparação com focos ativos, pode-se contatar que a técnica 2 NIR obteve os melhores resultados quanto a obtenção de imagem com baixa incidência de sombras de nuvens.

3.3. Distribuição dos ângulos zenitais de visada

Para a avaliação do ângulo zenital de visada (VZA) foram gerados compósitos desta informação, com base nas datas de cada técnica de compósito avaliada. O VZA é o ângulo entre a linha do zênite e o sensor na hora da passagem e coleta de dados. Quanto maior o ângulo zenital de visada, maior a distorção espacial do pixel e conseqüentemente o valor da refletância do pixel é alterada. A distribuição da frequência do número de pixels por classe de ângulos zenitais de visada é apresentada abaixo na Figura 5.

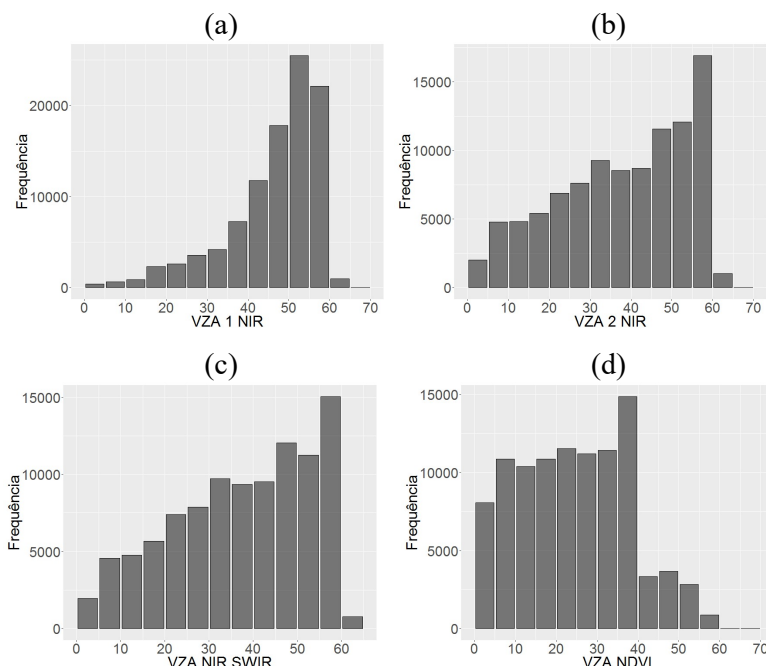


Figura 5. Distribuição da frequência dos ângulos zenitais para cada técnica de compósitos; (a) mínimo valor de refletância de NIR (1 NIR), (b) segundo mínima refletância NIR (2 NIR), (c) entre os três menores valores de refletância NIR, o valor no dia com maior refletância de SWIR, e (d) o máximo NDVI.

A Figura 5 mostra um maior número de pixels com ângulos zenitais menores na técnica NDVI (Figura 5d). Já na técnica 1 NIR (Figura 5a), ângulos entre 50° e 60° são os mais representados. A escolha do menor valor de refletância do NIR pode levar a escolha de pixels coletados com um maior VZA, já que estes dados sofrem uma maior interferência atmosférica. Isto fica evidenciado na distribuição dos ângulos do compósito de máximo NDVI, onde a distribuição dos ângulos VZA com ângulos mais próximos do nadir é decorrente da escolha de pixels mais claros.

4. Conclusões

Este trabalho avaliou quatro técnicas de geração de compósitos multitemporais utilizando o sensor VEGETATION a bordo do satélite PROBA-V. A maior separabilidade entre áreas queimadas e não queimadas foi obtida com os compósitos 1 NIR e 2 NIR.

Quanto à presença de sombras nos compósitos, verificou-se através da inspeção visual e comparação com focos ativos, que o compósito 2 NIR e o compósito NDVI obtiveram melhores resultados.

Em relação a análise dos ângulos zenitais de visada, o NDVI apresentou uma melhor distribuição na frequência de dados, com ângulos mais próximos do nadir. Os compósitos 2 NIR e NIR SWIR tiveram resultados semelhantes.

Conclui-se então que a técnica de compósito baseada no segundo menor valor de NIR (2 NIR) apresentou os melhores resultados para o mapeamento de áreas queimadas com imagens PROBA-V na região de estudo, pois além de reter a informação de queimadas, apresentou baixa incidência de sombras de nuvens nas imagens e ângulos mais próximos do nadir. Os resultados deste artigo é parte do algoritmo de áreas queimadas em desenvolvimento através do projeto “Mapeamento de áreas queimadas no Brasil utilizando dados PROBA-V”, financiado pelo CNPQ.



Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte do Programa Ciências Sem Fronteiras do CNPq (bolsa 215158/2014-8), FAPESP/FCT Project BRazilian Fire-Land-Atmosphere System (BrFLAS) 2015/01389-4. O primeiro autor agradece também a CAPES pela bolsa do programa de formação de doutorado do IFSULDEMINAS.

Referencial Teórico

Chuvieco E.; Ventura, G.; Martín, M.; Gómez I. Assessment of multitemporal compositing techniques of MODIS and AVHRR images for burned land mapping. **Remote Sensing of Environment**. v.28, n.94(4), p. 450-462, 2005.

Dierckx, W. S.; Sterckx, I.; Benhadj, G.; Saint, S.; Livens, G.; Duhoux, T.; Van Achteren, M.; Francois, M.; K. Mellab. "PROBA-V Global Vegetation Satellite: Review of the Upcoming Mission." **International Journal of Remote Sensing**. v. 35(7), p. 2589-2614, 2014.

Francois, M.; Santandrea, S.; Mellab, K.; Vrancken, D.; Versluys, J. The PROBA-V mission: the space segment. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35(7), p. 2548-2564, 2014

Freitas, S.R., Longo, K.M., Dias, M.A.F. and Dias, P.L., Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estudos Avançados**, v. 19(53), pp.167-185. 2005.

Gonçalves KD, Castro HA, Souza Hacon SD. As queimadas na região amazônica eo adoecimento respiratório. **Revista Ciência & Saúde Coletiva**. v 17(9), p1523-1532. 2012

Holben, B.N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. **International journal of remote sensing**. v. 1, n. 7(11), p. 1417-1434, 1986

Kaufman, Y. J.; L. Remer. Remote sensing of vegetation in the mid-IR: The 3.75 μm channels, **IEEE Journal of Geoscience and Remote Sensing**. v 32, p. 672-683, 1994.

Mouillot, F.; Schultz, M.G.; Yue, C., Cadule P.; Tansey, K.; Ciaï, P.; et al. Ten years of global burned area products from spaceborne remote sensing—A review: Analysis of user needs and recommendations for future developments. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 26, p. 64–79, 2014.

Pereira AA, de Barros DA, Pereira JA, Weimar F, Júnior A, Morelli F, Scolforo JR. Frequência espaço-temporal dos focos ativos em Minas Gerais durante o período de 1999 a 2009. **CERNE**.; v. 20(3): p. 459-469. 2014

Pereira, J. M. C. A comparative evaluation of NOAA/AVHRR vegetation indexes for burned surface detection and mapping. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.37, n. 1. p. 217–226. 1999.

Silva, J. M. N.; Sá, A. C. L. & Pereira, J. M. Comparison of burned area estimates derived from SPOT-VEGETATION and Landsat ETM+ data in Africa: influence of spatial pattern and vegetation type. **Remote Sensing of Environment**, v. 96, p. 188–201, 2005.

Sousa, A.M; Pereira, J.M.; Silva, J.M. Evaluating the performance of multitemporal image compositing algorithms for burned area analysis. **International Journal of Remote Sensing**. v. 1, n. 24, p.1219-1236. 2003

Van Leeuwen, W.J.D.; Huete, A.R.; Laing, T.W. MODIS vegetation index compositing approach: A prototype with AVHRR data. **Remote Sensing of Environment**, v. 69, p.264-280, 1999.

Veraverbeke, S.; Harris, S.; Hook, S. Evaluating spectral indices for burned area discrimination using MODIS/ASTER (MASTER) airborne simulator data. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 10. p. 2702–2709, 2011.

Wolters E; Dierckx W; Swinnen E.P. Products User Manual **VITO**: Mol, Belgium. v1. 3. P.1 – 98. 2015.

World Meteorological Organization – WMO statement on the status of the global climate in 1993. WMO Report No. 809. (WMO: Geneva) In: Pereira, J. M. C. Remote sensing of burned areas in tropical savannas. **International Journal of Wildland Fire**, v. 12 (4), p. 259-270, 2003.