

Avaliação do produto Active Fires do VIIRS para a Amazônia e Cerrado

Paula Resende Santos¹
Gabriel Pereira^{2,3,4}
Guilherme Augusto Verola Mataveli²
Elisabete Caria Moraes¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/Divisão de Sensoriamento Remoto
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
paula.santos@inpe.br
bete@dsr.inpe.br

² NASA Goddard Space Flight Center / Climate and Radiation Laboratory
Mail code 613, MD 20771, Greenbelt, Maryland, USA.
gabriel.pereira@nasa.gov

³ Universidade Federal de São João del-Rei / DEGEO
CTAN, Av. Visconde do Rio Preto, s/n - 36301-360 – São João del-Rei –
MG, Brasil
pereira@ufsj.edu.br

⁴ Universidade de São Paulo - USP/ Programa de Pós-graduação em Geografia Física
Caixa Postal 72042 - 05508-000 – São Paulo - SP, Brasil
{gabrielpereira, mataveli}@usp.br

Abstract. Brazil is the country with the highest number of fires in South America, in which fire is mainly used as a tool to stimulate forage regrowth, to pests control, to open field agricultural removal and to land use and land cover changes (LULCC). The active fire detection by remote sensing has been widely used to study the occurrence of fires in global scale, for the identification of their spatio-temporal distribution, and also for the estimation of biomass burned. This work aims to compare the fire radiative power (FRP) products derived from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) sensor for the Brazilian Amazon and Cerrado from May 11 to September 15, 2016. The MODIS and VIIRS sensors pass through the equator at the same time having a similarity between the active fire spatial distribution estimated by the products. For Amazon and Cerrado biomes the VIIRS sensor has detected a greater number of active fires and this can be attributed to the 750 meters spatial resolution and the greater capacity to detect smaller fires. However, the largest number of active fire for both sensors is between 0 and 200 MW and the difference between the VIIRS and MODIS sensors to detect active fires with FRP greater than 200 MW indicates that VIIRS is efficient in the detection of small fires that release less energy. Estimates made by both sensors indicated that Amazonia was the biome that presented the largest number of fires.

Palavras-chave: Amazon, Cerrado, biomass burning, Amazônia, cerrado, uso e cobertura da terra, queimadas, VIIRS, MODIS.

1. Introdução

Enquanto fenômeno global, as queimadas desempenham um papel fundamental na dinâmica terrestre e atmosférica. Estima-se que 350 milhões de hectares são queimados anualmente e as emissões de Dióxido de Carbono (CO₂) pela queima de biomassa ultrapassem em até 10% as emissões oriundas da combustão de combustíveis fósseis (Jolly et. al, 2015). Entretanto, nem toda combustão originada da queima de biomassa é completa, emitindo, além de CO₂, o Monóxido de Carbono (CO), o Metano (CH₄), Compostos Orgânicos Voláteis

(COVs) e materiais particulados (fuligem). A partir da formação destes compostos, há a reação dos COVs com outras substâncias presentes na atmosfera e ocorre a formação de um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa, o ozônio (O_3 troposférico). A emissão de gases traços e aerossóis pela queima de biomassa perturba o ciclo do carbono, altera a composição química da atmosfera em escala local, regional e global, além de afetar o balanço hídrico, diminuindo os registros de precipitação (Ichoku, 2012; Belcher, 2013)

As maiores ocorrências de queimadas em todo o Globo estão associadas às regiões tropicais, na qual a variabilidade anual dos focos está relacionada principalmente com as variáveis climáticas, uma vez que o regime hidrológico influencia a quantidade de combustível disponível para queima, a intensidade e a duração das queimadas (Chen et. al., 2013). Nestas regiões o fogo é utilizado principalmente como instrumento de manejo para estimular a rebrota de forragem para a pecuária, diminuir as pragas, remover os remanescentes agrícolas e modificar o uso e cobertura da terra (Cochrane, 2009).

No continente sul-americano, as emissões por queimadas resultantes de atividades de desmatamento foram responsáveis por aproximadamente 40% das emissões globais de gases traços e aerossóis durante o período de 1997 a 2009 (Van der Werf, 2010). As maiores taxas de desmatamento associadas as queimadas na América do Sul se concentram no “arco do desmatamento” na Amazônia, decorrente da expansão da fronteira agrícola sobre as áreas de floresta, sendo o Brasil o país com maior número de observações de focos ativos, correspondendo a 70% do total observado na América do Sul no período de 2001 a 2012 (Chen et. al., 2013).

A detecção de focos ativos de queimadas por sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizado para estudar a ocorrência de incêndios em escala global, permitindo a identificação de sua localização geográfica. No entanto, são necessárias informações além da posição geográfica do incêndio para melhorar a compreensão da atividade do fogo e seus impactos, a fim de estimar a biomassa queimada e as emissões provenientes das queimadas. Uma alternativa para a estimativa da biomassa queimada é a Potência Radiativa do Fogo (em inglês, *Fire Radiative Power – FRP*), uma medida discreta obtida pelo sensor que corresponde a taxa em que a energia é emitida pelo fogo na forma de radiação eletromagnética (Ichoku, 2012; Wooster et al., 2003).

Desde o início da coleta de dados do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) em 2000, os seus produtos de focos ativos têm sido amplamente utilizados para estimar as emissões por queimadas e a analisar os regimes de queimada (Ichoku, 2012; Giglio et al., 2016). O sensor possui maior número de bandas espectrais na região termal e maior resolução radiométrica em relação seu antecessor (*Advanced Very High Resolution Radiometer – AVHRR*) e foi o primeiro sensor orbital a estimar FRP. Com propósito de dar continuidade e melhorar as estimativas realizadas pelo MODIS, em 2011 foi lançado o sensor *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS). Suas características radiométricas e de amostragem tem potencial para prover dados de focos ativos e FRP com melhor qualidade devido a sua melhor sensibilidade para detectar menores focos de queimadas (Csiszar et al., 2013).

Tendo em vista que os sensores orbitais se tornaram a principal fonte de dados para estudos relacionados a queimadas a partir da aquisição sistemática dos dados, para analisar sua distribuição espacial e temporal, e também para estimar a biomassa queimada, este trabalho tem como objetivo comparar os produtos de focos ativos e a FRP dos sensores MODIS a bordo da plataforma Aqua e VIIRS para o bioma Amazônia e para o bioma Cerrado no período de 11 de maio a 15 de setembro de 2016.

2. Área de Estudo

A Amazônia é o maior bioma do Brasil, cobrindo uma área de 4.196.943 km², incluindo os estados do Pará, Amazonas, Amapá, Acre, Rondônia e Roraima e algumas partes do Maranhão, Tocantins e Mato Grosso. A floresta amazônica é composta por diversos ecossistemas: além das matas de terra firme, apresenta diferentes tipos de matas, campos abertos e espécies de cerrado. As características destas florestas estão relacionadas aos fatores climáticos tropicais, de elevada temperaturas e de alta precipitação (IBGE, 2012)

Localizado na porção central do Brasil, o Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ocupando aproximadamente 23,92% da área total do território nacional, abrangendo o Distrito Federal e os estados de Goiás, Tocantins e parte dos estados da Bahia, Ceará, Maranhão, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Piauí, Rondônia e São Paulo, e ocorre de forma disjunta na Floresta Amazônica, denominada “Savana Amazônica” (Ribeiro e Walter, 2008; IBGE, 2004).

De acordo com Ribeiro e Walter (2008), os principais tipos de vegetação do bioma Cerrado se diferenciam principalmente pela fisionomia (forma), fatores edáficos e composição florística. Existem onze principais tipos fitofisionômicos para o bioma, divididos em: formações Florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), Savânicas (Cerrado no sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e as formações Campestres (Campo sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre).

Em ambos os biomas, a queimada é considerada um agente modificador da estrutura da vegetação e transformador da paisagem. Na Amazônia, as árvores não são adaptadas ao fogo e há uma grande mortalidade de espécies a partir da primeira queima, onde o fogo, geralmente, se espalha pelo sub-bosque queimando as bases das árvores. Já no Cerrado, embora algumas espécies sejam adaptadas ao fogo, estudos sugerem que a recorrência de queimadas pode mudar a fisionomia do Cerrado para campos abertos, tornando as gramíneas como o principal componente estrato herbáceo o que resulta em um maior acúmulo de biomassa, que tem como consequência maior frequência e incêndios com altas temperaturas (Miranda et al., 2002; Cochrane, 2009).

3. Materiais e Métodos

3.1.1 MYD 14

O produto *Thermal Anomalies and Fire - MYD14* é estimado pelo sensor MODIS a bordo da plataforma AQUA com 1 km de resolução espacial. O Satélite Aqua foi lançado em Maio de 2002 e passa pelo Equador às 13h30min e 01h30min, em sua órbita ascendente totalizando aproximadamente duas aquisições diárias. O produto é disponibilizado gratuitamente pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e distribuído pela *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LPDAAC). Em relação à acurácia do produto, a versão 5 é validada utilizando como fonte de dados de referência os sensores *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) e *TM/Landsat 5* (Justice, 2011). O algoritmo utilizado (*MODIS Collection 6*) para a detecção de focos ativos do MODIS (Giglio et. al, 2016) tem por objetivo identificar *pixels* que contenham um ou mais focos ativos de queimadas durante a passagem do satélite. A temperatura de brilho é estimada nas bandas correspondentes aos comprimentos de onda de 4, 11 e 12 μm , enquanto as observações diurnas utilizam as bandas posicionadas em 0,65 0,86 e 2,1 μm . Assim, o algoritmo classifica cada *pixel* como dados em falta, nuvem, água, não-fogo, fogo ou desconhecido.

A estimativa da FRP do MODIS baseia-se na abordagem proposta por Wooster et al. (2003), em que a FRP é:

$$FRP \approx \frac{A_{pix} \sigma}{a t_4} (l_4 - \bar{l}_4) \quad (1)$$

em que A_{pix} é a área do pixel do MODIS (que varia em função do ângulo de varredura), σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,6704 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$), a é uma constante específica para cada sensor (No caso do MODIS, é igual a $3,0 \times 10^{-9} \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1} \text{ K}^{-4}$), t_4 é a transmitância atmosférica em $4 \mu\text{m}$. O valor de l_4 e \bar{l}_4 correspondem a radiância do *pixel* e a radiância do *background* em $4 \mu\text{m}$, respectivamente.

3.1.2 VIIRS

O produto *Active Fires* (AF) é estimado pelo sensor VIIRS, que possui resolução espacial de 750 metros e está acoplado ao satélite *Suomi National Polar-orbiting Partnership* (NPP), lançado em outubro de 2011. O satélite foi posicionado em uma órbita síncrona com o sol e passa pelo Equador às 13h30min e 01h30min. Este produto é gerado utilizando uma adaptação do algoritmo MODIS *Collection 6*, criando uma máscara que indica os focos de calor e outros *pixels* relevantes (como por exemplo, nuvem), além da FRP. Os principais dados de entrada para detecção e caracterização de focos de queimada são a banda M13 que corresponde aos comprimentos de onda entre $3,973 \mu\text{m}$ e $4,128 \mu\text{m}$ e como dado secundário para detecção de focos de queimadas é utilizada a banda M15 posicionada entre $10,263$ e $11,263 \mu\text{m}$.

3.2 Métodos

Para determinar e espacializar os focos de queimadas e FRP, os dados do produto MYD14, que são disponibilizados formato *Hierarchical Data Format* (HDF) para o globo, foram convertidos para o formato *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII). Os dados do produto AF do VIIRS já são disponibilizados no formato ASCII. Para cada produto, os dados do período analisado foram agrupados em um único arquivo e recortados para o limite dos biomas (Amazônia e Cerrado) através de um script em *Interface Description Language* (IDL). Para a análise espacial dos focos de queimada, os dados foram agrupados em uma grade de $20\text{km} \times 20\text{km}$ a fim de determinar o acumulado de focos para o período estudado em cada ponto da grade regular, de acordo com a equação:

$$FRP_{grid(lon,lat,t)} = \sum_{\gamma=-\alpha}^{\alpha} \sum_{\kappa=-\beta}^{\beta} \eta(\gamma, \kappa) \xi(lon + \gamma, lat + \kappa, t) \quad (1)$$

em que $\eta(\gamma, \kappa)$ representa a convolução de uma máscara de tamanho $M \times N$ (colunas x linhas), sobre a grade com os valores de FRP estimados pelo MODIS ou VIIRS $\xi(lon, lat, t)$.

4. Resultados

A Figura 1 mostra a distribuição espacial dos focos de queimadas detectados pelos sensores MODIS e VIIRS na grade regular de 20 km para o período de 11 de maio a 15 de setembro de 2016. Ao comparar as duas imagens, nota-se uma semelhança entre a distribuição espacial dos focos de queimadas estimados pelos produtos MYD14 e AF dos sensores MODIS e VIIRS, respectivamente. Estes sensores possuem o mesmo horário de

imageamento (passando pelo Equador às 13h30min e 01h30min), indicando uma concordância na detecção e espacialização de focos ativos de queimada entre os sensores. Além disso, ambos indicam que as maiores concentrações de focos estão localizadas no arco do desmatamento, bem como no bioma do Cerrado, principalmente na porção norte e oeste (nos estados do Tocantins, Maranhão, Piauí e na porção oeste da Bahia) e na porção dos estados do Acre e Rondônia limítrofe com a Bolívia.

Embora as estimativas realizadas pelos dois sensores coincidam espacialmente, o número de focos detectados pelo VIIRS é superior ao registrado pelo MODIS tanto para o Cerrado, como para a Amazônia. No Cerrado, enquanto o MODIS detectou 39.779 focos, o sensor VIIRS detectou 59.535 focos, representando um aumento de aproximadamente 50% na detecção de focos. Já na Amazônia, houve um aumento de cerca de 40% na detecção de focos pelo VIIRS em relação ao MODIS, uma vez que, o sensor MODIS registrou 46.596 focos e o VIIRS detectou 66.059 focos para o período em estudo. Esta diferença entre o número de focos detectados pelos sensores pode ser atribuída à resolução espacial dos mesmos, visto que o VIIRS possui uma resolução de 750 metros e, portanto, uma maior capacidade para detectar menores focos do que sensores com resolução espacial de 1km.

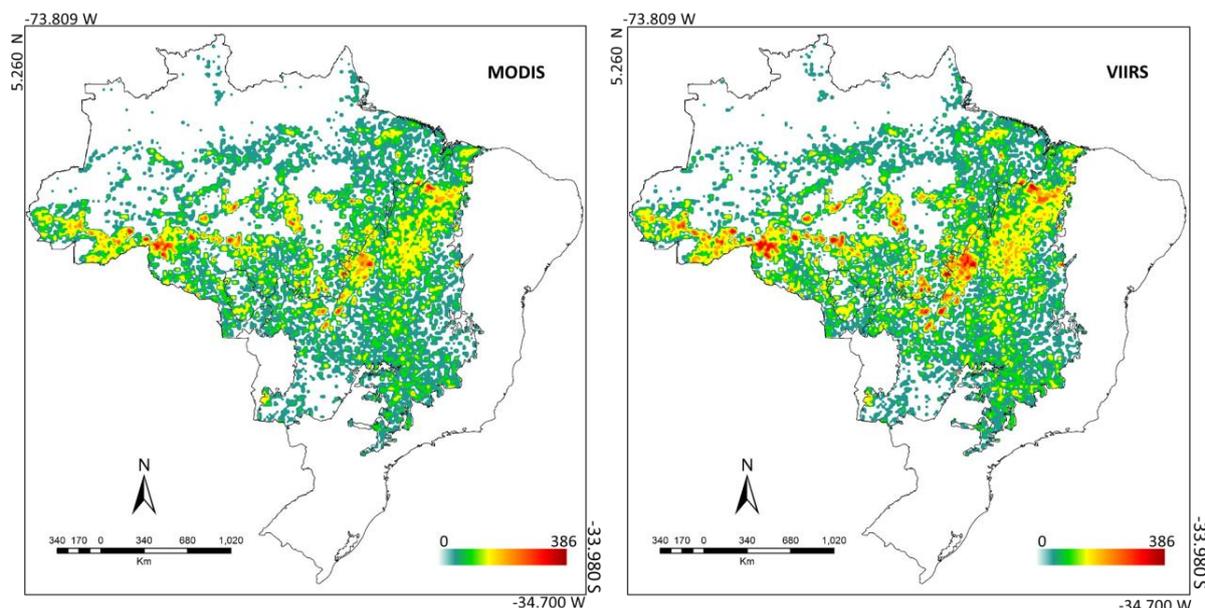


Figura 1. Distribuição espacial dos focos de queimada estimados pelos sensores MODIS e VIIRS para a Amazônia e Cerrado para o período de 11 de maio a 15 de setembro de 2016.

Ao analisar a FRP proveniente tanto do MODIS e do VIIRS, cerca de 95% dos focos com valores de FRP estão compreendidos entre 0 e 200 MW (Tabela 1). Porém, considerando apenas o VIIRS, aproximadamente 3% do total de focos registrados para a Amazônia e Cerrado possuem FRP > 200 MW, enquanto que o total de focos registrados pelo MODIS corresponde a cerca de 5%. A diferença apresentada entre os sensores na detecção de FRP > 200 MW pode indicar a eficiência do VIIRS para detectar focos menores que liberam menos energia. No entanto, é necessário validar a FRP dos sensores a fim de verificar qual sensor possui maior concordância com dados obtidos em campo ou por sensores aerotransportados.

Tabela 1. Número de focos com FRP entre 0 e 200 MW e maior ou igual a 200 MW.

BIOMA	0 > FRP < 200	FRP ≥200
Amazônia (MODIS)	44.228	2.368
Amazônia (VIIRS)	64.156	1.592
Cerrado (MODIS)	37.987	1.792
Cerrado (VIIRS)	58.453	1.082

5. Conclusão

A espacialização dos focos de queimadas é importante para localizar as áreas dos biomas que possuem maior recorrência de focos de queimadas, enquanto que a quantificação dos focos permite uma melhor observação da dinâmica das queimadas. Embora o sensor MODIS possua uma série histórica de mais de 15 anos, o sensor VIIRS (lançado em 2011) possui maior resolução espacial, melhorando a caracterização de menores focos e, por conseguinte, as estimativas das emissões de gases traços e aerossóis oriundos da queima de biomassa. Assim, é possível obter uma avaliação mais detalhada dos impactos atmosféricos das queimadas e construir de inventários de emissões. A maioria dos focos de queimadas (para ambos os biomas) possuem FRP variando entre 0 e 200 MW, no entanto, é necessário validações e comparações estatísticas a fim de verificar a correspondência deste dados com dados de campo.

Para o período de estudo, tanto para o MODIS como para o VIIRS a Amazônia foi o bioma que registrou o maior número de focos de queimadas. As grandes quantidades de focos associadas ao bioma contribuem para a emissão de gases traços e aerossóis, responsáveis por mudanças climáticas em âmbito local, regional ou até mesmo global. Neste sentido, o uso de ferramenta de SIG constitui uma ferramenta de baixo custo para monitorar em séries históricas as dinâmicas dos focos de queimadas a fim de subsidiar políticas públicas de conservação ambiental.

6. Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG, Processo APQ-01698-14) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Processo 6123/2015-05).

Referências Bibliográfica

Belcher, C. M . **Fire Phenomena and the Earth System: An Interdisciplinary Guide to Fire Science** An Interdisciplinary Guide to Fire Science. College of Life and Environmental Sciences, University of Exeter, 2013.
Chen, Y.; Morton, D. C.; Jin, Y.; Collatz, G J; Kasibhatla, P. S, Van Der WerF, G. R.; Defries, R. S.; Randerson, J. T. Long-term trends and interannual variability of forest, savanna and agricultural fires in South America. **Carbon Management**, 4(6), 617–638, 2013.

Cochrane, M. A. **Tropical Fire Ecology: Climate change, Land use and Ecosystem Dynamics**. Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, 2009.

Csiszar, I.; Schroeder, W.; Giglio, L.; Ellicott, E.; Vadrevu, K. P.; Justice, C. O.; Wind, B. Active fires from the Suomi NPP Visible Infrared Imaging Radiometer Suite: Product status and first evaluation results. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 119, 2014.

Giglio, L.; Schroeder, W.; S.; Justice, C. O. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. **Remote Sensing of Environment**, 178, p. 31-41, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**: Sistema fitogeográfico Inventário das formações florestais e campestres Técnicas e manejo de coleções botânicas Procedimentos para mapeamentos. 2012. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>>. Acesso em: 1 nov. 2016

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Biomas e de Vegetação**. 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 21 Out 2016.

Ichoku, C.; Kahn, R.; Chin, M. Satellite contributions to the quantitative characterization of biomass burning for climate modeling. **Atmospheric Research**, v.111, p. 1-28, 2012.

Jolly, W. M.; Cochrane, M.A.; Freeborn, P. H.; Holden, Z. A.; Brown, T.J.; Williamson, G. J.; Bowman, D. M. J. S. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. **Nature Communications**, 6, 2015.

Justice, C. O. et al. **MODIS-Derived Global Fire Products**. In: Ramachandram, B.; Justice, C. O.; Abrams, M. J. (Eds.). *Land Remote Sensing and Global Environmental Change: NASA's Earth Observing System and the Science of ASTER and MODIS (Remote Sensing and Digital Image Processing)*. New York: Springer, 2011. 873p.

Miranda, H. S. et al. The Fire Factor. In: Oliveira, P. S.; Marquis, R. J. (eds.). **The Cerrado of Brazil**: Ecology and natural history of a neotropical savanna. New York: Columbia University Press, 2002. 69-88 p.

Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T.. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sano, Sueli Matiko; Almeida, Semíramis Pedrosa; Ribeiro, José Felipe. **Cerrado**: Ecologia e Flora. Embrapa Cerrados. In: SANO, Sueli Matiko; ALMEIDA, Semíramis Pedrosa; RIBEIRO, José Felipe (Org.). **Cerrado**: Ecologia e Flora. Brasília: Embrapa Cerrados, 2008. p. 1-406.

Van der Werf G.R.; Randerson J.T.; Giglio L. et al. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997– 2009). **Atmos. Chem. Phys.** 10, p. 11707–11735, 2010.

Wooster, M. J.; Zhukov, B.; Oertel, D. Fire radiative energy for quantitative study of biomass burning: derivation from the BIRD experimental satellite and comparison to MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, 86, p. 83–107, 2003.