



Caracterização da influência de queimadas na dinâmica fenológica da Terra Indígena Arariboia, MA.

Níckolas Castro Santana¹
Cristiane Batista Salgado^{1,2}
Miriam Rodrigues da Silva¹
Osmar Abílio de Carvalho Júnior¹

¹Universidade de Brasília, Departamento de Geografia - UnB/GEA
Campus Darcy Ribeiro - 70910-900 – Brasília – DF, Brasil
nickolas.santana@outlook.com / miriamsibmol@gmail.com / osmarjr@unb.br

²Instituto Federal de Brasília – IFB
Campus Brasília - 70830-450 – Brasília – DF, Brasil
cristiane.salgado@ifb.edu.br

Abstract. The interaction between wildland fires and severe drought has a greater impact on tropical forests, causing changes in vegetation structure and hindering its regeneration. This study aimed to determine the impact of fires and severe droughts on phenological cycle of an Indigenous Land in the Amazon Forest, using satellite data to analyze the burn severity (dNBR), derived from MODIS and OLI sensors, vegetation index (EVI), derived from MODIS sensor, and rainfall, derived from TRMM satellite. The results showed the possibility of quantification of burn severity from MODIS data, although the correlation between MODIS and OLI data was higher for the individual dates than for the seasonal difference. More than 30% of the Indigenous Park was burned with moderate or high severity. The phenological pattern for the different types of severity indicates a fire of lower severity in 2007, where the vegetation spent about 3 years to return to the mean value of EVI, and a high severity fire in 2015. In the four previous years, rainfall below the historical average was observed, this factor may be a determinant of the greater severity of fires in this year. The burned areas with high severity presented an average decrease of 34% in the EVI, while the unburned areas showed an average decrease of 7%. These results demonstrated that the interaction between wildland fires and severe droughts are more related to the decrease in EVI.

Palavras-chave: Wildland fires, time series, fire severity, vegetation index, Amazon, incêndios florestais, séries temporais, severidade do fogo, índice de vegetação, Amazônia.

1. Introdução

Eventos climáticos extremos, associados à degradação florestal, têm contribuído para o aumento do total de incêndios nas Florestas Tropicais, ocasionando danos na estrutura da vegetação e modificando seu ciclo fenológico (Alencar et al., 2015). O conhecimento da Fenologia Florestal de diferentes biomas é essencial para a modelagem do sistema terrestre, sendo a influência do padrão climático e a resposta da vegetação aos seus efeitos, as principais responsáveis pelo seu ciclo (Richardson et al., 2013).

Na Amazônia, já se pode observar o aumento do número de incêndios florestais, devido a eventos como o El Niño, bem como a anomalias de temperatura do oceano atlântico tropical, culminando em secas severas na região, como no ano de 2005 (Alencar et al., 2015). Diante disso, o padrão da fenologia vegetal e suas mudanças espaço-temporais devem ser observados para que haja a possibilidade de definição das características da vegetação e sua susceptibilidade aos grandes incêndios.

Com a utilização de dados orbitais como séries de índices de vegetação e de pluviosidade, pode-se estimar alguns parâmetros da vegetação para que a partir destes busque-se os fatores determinantes na difusão dos grandes incêndios ou incêndios com alta recorrência. A atividade da vegetação em larga escala tem sido estimada a partir de dados orbitais como os

derivados do sensor MODIS (Zhang et al., 2003), podendo ser estimados parâmetros relacionados à biomassa, fenologia, impactos de secas e do fogo (Anderson, 2012).

Dentre os parâmetros que podem ser estimados por sensoriamento remoto, para estimativa de danos do fogo à vegetação, um dos mais aplicados é a análise da severidade da queimada, representada pelo índice *Normalized Burn Ratio* (NBR) (Key e Benson, 2002). A utilização deste índice considerando a diferença entre dois momentos, um anterior ao fogo (pré NBR) e um posterior (pós NBR), resulta em uma classificação espacial da distribuição da severidade do fogo.

Secas e queimadas recorrentes são distúrbios que afetam a funcionalidade estrutural das florestas e seus processos, podendo resultar em erosões do solo e mudanças na cobertura da terra e dinâmicas do carbono. Índices como NDVI e EVI tem sido utilizados com a finalidade de avaliação da recuperação da vegetação após distúrbios como o corte seletivo ou queimadas (Anderson, 2012; Koltunov et al., 2009; van Leeuwen, 2008).

Incêndios recorrentes no bioma Amazônico têm acarretado em danos severos ao meio natural. A utilização de dados estimados por satélite pode auxiliar na quantificação de parâmetros da vegetação para a melhor compreensão dos processos de interação dos combustíveis com o fogo (Morton et al., 2011). O tempo de regeneração florestal, de uma área queimada com alta severidade do fogo, é um parâmetro fundamental para que ações de recuperação e prevenção possam ser estabelecidas.

Dada a importância do monitoramento dos efeitos do fogo sobre as florestas brasileiras, o objetivo deste trabalho foi avaliar a efetividade de séries temporais derivadas de dados de satélites em monitorar a dinâmica fenológica, pré e pós eventos de queimadas, em uma Terra Indígena situada em área de Floresta Amazônica, no Estado do Maranhão, Brasil. Dentre os objetivos específicos buscou-se: (a) comparar os dados estimados de severidade de queimada com os sensores MODIS e OLI; (b) caracterizar o padrão fenológico e pluviométrico para as diferentes severidades de queimada e para uma área de referência não queimada.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de Estudo

A área de estudo foi a Terra Indígena de Arariboia, no Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil entre as latitudes. -5,069423; long.-46,423974 (Figura 1). Esta Terra Indígena possui 413.288,0472 hectares de superfície e é habitada pela Etnia Guajá. Há predominância de Florestas Ombrófilas Abertas, além de fragmentos de Savana e Vegetação Secundária (IBGE, 2008). Com temperatura média de 27° C e chuvas anuais de 1900 mm em média, distribuídas em um período chuvoso de outubro a abril e um período seco de maio a setembro.

A Terra Indígena, localizada dentro da área conhecido como “Arco do Desmatamento”, tem sofrido com a pressão do desmatamento, o que ocasionou no ano de 2015, em conjunto a condições climáticas favoráveis, incêndios de grandes proporções, sendo os seus danos apresentados na Figura 1, onde há a comparação da vegetação no mês de início dos incêndios (a) e no mês onde houve o total controle (b).

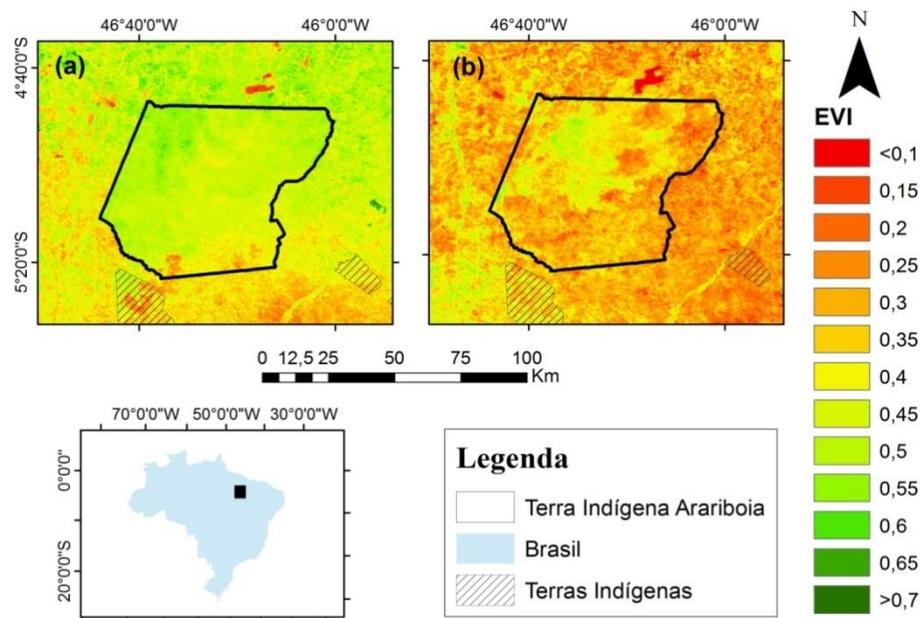


Figura 1: EVI-MODIS para a Terra Indígena Arariboia, em Junho de 2015 (a) e Dezembro de 2015 (b).

Incêndios isolados que se iniciaram em junho e se intensificaram em agosto, só foram completamente extintos no mês de Dezembro de 2015 (INPE, 2016). Tendo queimado mais de 220 mil hectares da Terra Indígena, sendo mais de 53,2% da área florestal afetada. Incêndios nas áreas de Floresta Amazônica geralmente estão relacionados a períodos de secas extremas, ao desmatamento e ao manejo da agropecuária com a utilização do fogo (Pivello, 2011).

2.2 Produtos Orbitais

2.2.1. Fenologia Florestal

O monitoramento da fenologia florestal para áreas extensas tem sido realizado a partir de séries temporais de imagens de satélite (Koltunov et al., 2009). Podem ser citadas as análises temporais a partir de séries do sensor AVHRR (Silva et al., 2013), Landsat TM (Morton et al., 2011) e MODIS (Anderson et al., 2011). Com a disponibilidade de 36 bandas espectrais, alta resolução temporal e resolução espacial moderada, as séries temporais do sensor MODIS têm sido fundamentais para o monitoramento da fenologia na floresta Amazônica.

Neste trabalho, utilizou-se para a caracterização da fenologia da vegetação, o produto MOD13A3 c6, derivado do sensor MODIS. O produto MOD13A3 fornece composições mensais dos índices de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*) com 1km de resolução espacial. O índice EVI foi utilizado por ter maior relação com a estrutura da copa da vegetação, possuindo maior sensibilidade do que outros índices a variações da copa que podem saturar índices como o NDVI em regiões de alta biomassa como a Amazônia (Huete et al., 2002).

As composições mensais, de Agosto de 2000 a Agosto de 2016 foram agrupadas em um cubo temporal em que cada pixel conterà as informações de coordenadas nos eixos x e y, e no eixo z o valor de EVI para cada mês, e amostradas para 500 metros para compatibilidade de dados.

As séries temporais foram tratadas com um filtro de mediana e suavizadas por um filtro de Savitzky-Golay, este conjunto de filtros já foi aplicado em regiões diferentes do Brasil e

permitiram a suavização das curvas de índices de vegetação e eliminação de ruídos principalmente relacionados a nuvens e sombras de nuvens (Abade et al., 2015; Carvalho Júnior et al., 2015).

2.2.2. Área Queimada – Severidade

Dada a intensa cobertura de nuvens no período em que se encerraram as queimadas na área de estudo, as imagens de melhor resolução espacial como Landsat e CBERS não seriam suficientes para avaliação de toda a área queimada, portanto, foram utilizadas duas cenas MODIS, do produto MOD09GA, diário, com 250m de resolução espacial, para avaliação da severidade do fogo na Terra Indígena, as cenas correspondem a um ano anterior à queimada em 03 de Setembro de 2014 e pós-queimada no dia 29 de Dezembro de 2015 (Tabela 1).

Foram utilizadas duas cenas Landsat 8 OLI para avaliar a correlação entre os dados MODIS. Esta correlação foi feita para uma área equivalente a 60% da área de estudo a partir de uma regressão linear para os períodos pré e pós fogo e para a diferença sazonal. As imagens previamente georreferenciadas e disponibilizadas pelo Serviço Geológico Americano, são calibradas para reflectância e com correção atmosférica. Foram selecionadas as imagens com a data mais próxima ao final da queimada e com menor cobertura de nuvens. É importante ressaltar que os pixels com nuvens foram eliminados da análise, utilizando as bandas de qualidade para os dados OLI e MODIS.

Tabela 1: Imagens OLI e MODIS utilizadas.

Período	Landsat OLI	MODIS
Pré-Fogo	2014-220(10 Agosto)	2014-246(03 Setembro)
Pós-Fogo	2015-335(01 Dezembro)	2015-363(29 Dezembro)

Os índices NBR (*Normalized Burn Ratio*) e dNBR (*Difference Normalized Burn Ratio*) foram calculados para os dois sensores. Apesar da melhor resolução das imagens do sensor OLI, a cobertura de nuvens impossibilitou a quantificação do dNBR para toda a área em uma mesma data, portanto foi utilizado o resultado do índice dNBR do sensor MODIS para avaliação das curvas fenológicas para os diferentes níveis de severidade.

2.2.3. Precipitação

Para caracterização do padrão de precipitação na região, foram utilizadas séries mensais derivadas do sensor TRMM, com o produto 3B43 de 1km de resolução espacial.

2.3 Procedimentos

Foram calculados os índices NBR e dNBR para imagens MODIS e OLI e a correlação entre os diferentes resultados encontrados. Para caracterização do padrão fenológico e da influência climática e das queimadas no ciclo florestal, o padrão temporal de EVI-MODIS foi avaliado para as três diferentes classes de severidade de queimada, alta, média e baixa. As áreas não queimadas foram utilizadas como base de comparação para os efeitos do fogo nas demais áreas.

3. Resultados e Discussão

3.1 Severidade de Queimada derivada de dados Orbitais

O índice dNBR calculado a partir de imagens OLI e MODIS, representados respectivamente na figura 2, demonstra a aplicação do dNBR para quantificação da severidade de queimada obtida por sensoriamento remoto. Na quantificação do dNBR para a imagem MODIS (Figura 2b), do total de 413 mil Hectares da Terra Indígena, 2% foram classificados como regeneração, 18% como área não queimada, 43% queimada com baixa severidade, 34% queimada com moderada severidade e 3% queimado com alta severidade.

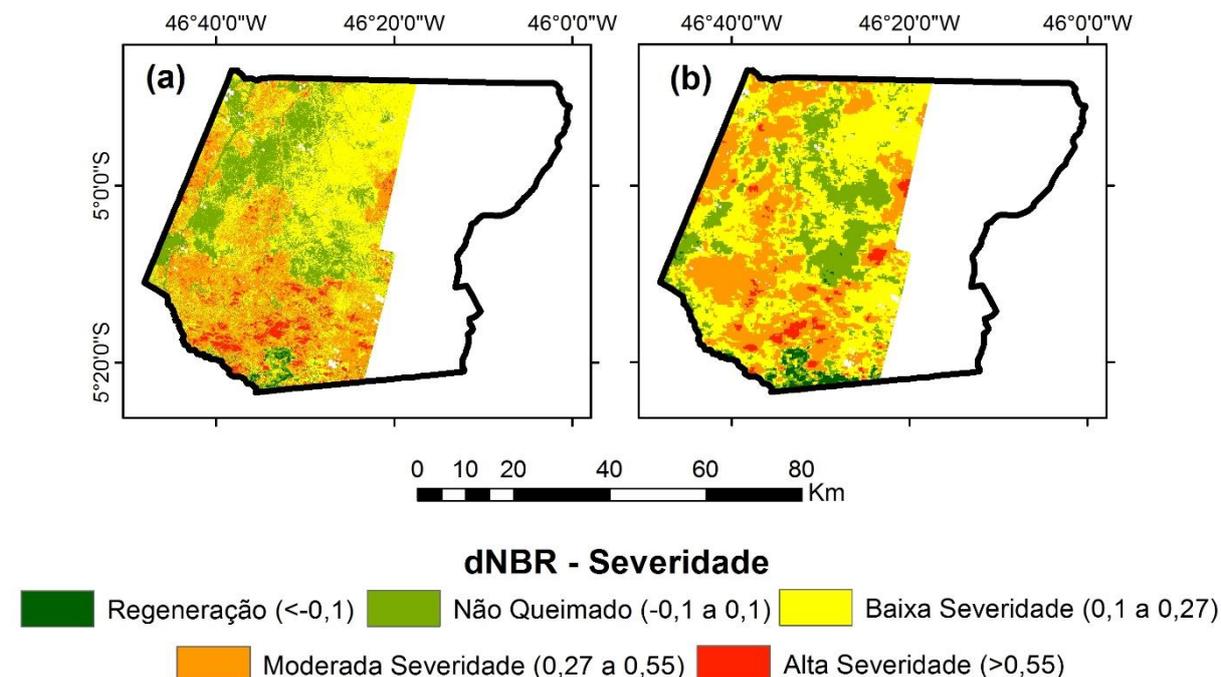


Figura 2: Severidade do Fogo (dNBR) para imagem Landsat OLI (a) e MODIS (b)

Os dados Landsat OLI foram calculados para uma área equivalente a 60% da Terra Indígena devido a não cobertura de toda a área em uma mesma data (Figura 2a). A correlação entre os dados OLI e MODIS foi calculada para a área equivalente ao dNBR OLI. Foram calculados os coeficientes de correlação para a comparação entre imagem NBR MODIS e OLI para o período pós-fogo, com $r^2=0,69$, para o período pré-fogo, com $r^2=0,71$ e para o Dnbr, com $r^2=0,53$ (Tabela 2). Percebe-se, portanto, que a diferença sazonal tem grande influência na correlação entre os dados dos diferentes sensores, enquanto os dados NBR sem interferência da diferença sazonal apresentaram correlações significativas, esta limitação já foi abordada por Carvalho Júnior et al. (2015) na identificação de áreas queimadas. A diferença entre as datas de aquisição de imagens para os dois sensores, ocasionada pela alta presença de nuvens no período, é um fator importante na redução do coeficiente de correlação.

Tabela 2: Coeficiente de Correlação entre os dados NBR e dNBR - MODIS e OLI.

r^2 MODIS 2015363 OLI 2015335	r^2 MODIS 2014246 OLI 2014220	dNBR
0,69	0,71	0,53

3.2 Padrões Fenológico e Pluviométrico

As séries temporais de EVI tornaram possível a identificação da sazonalidade pré-fogo até o ano de 2007, quando o primeiro evento de queimada ocorreu, posterior a este evento a vegetação atinge o seu ponto máximo sete anos após o incêndio (Figura 3). No ano de 2015, no qual ocorreu um incêndio com maior intensidade, pode-se observar a diferença na queda do EVI para cada um dos tipos de severidade e para uma área não queimada.

A análise do regime pluviométrico obtido a partir de séries TRMM, indica a ocorrência de quatro anos consecutivos de chuvas abaixo da média, este fator influencia na disponibilidade de combustíveis e na menor umidade da vegetação (Alencar et al., 2015) acarretando em incêndios com maior severidade.

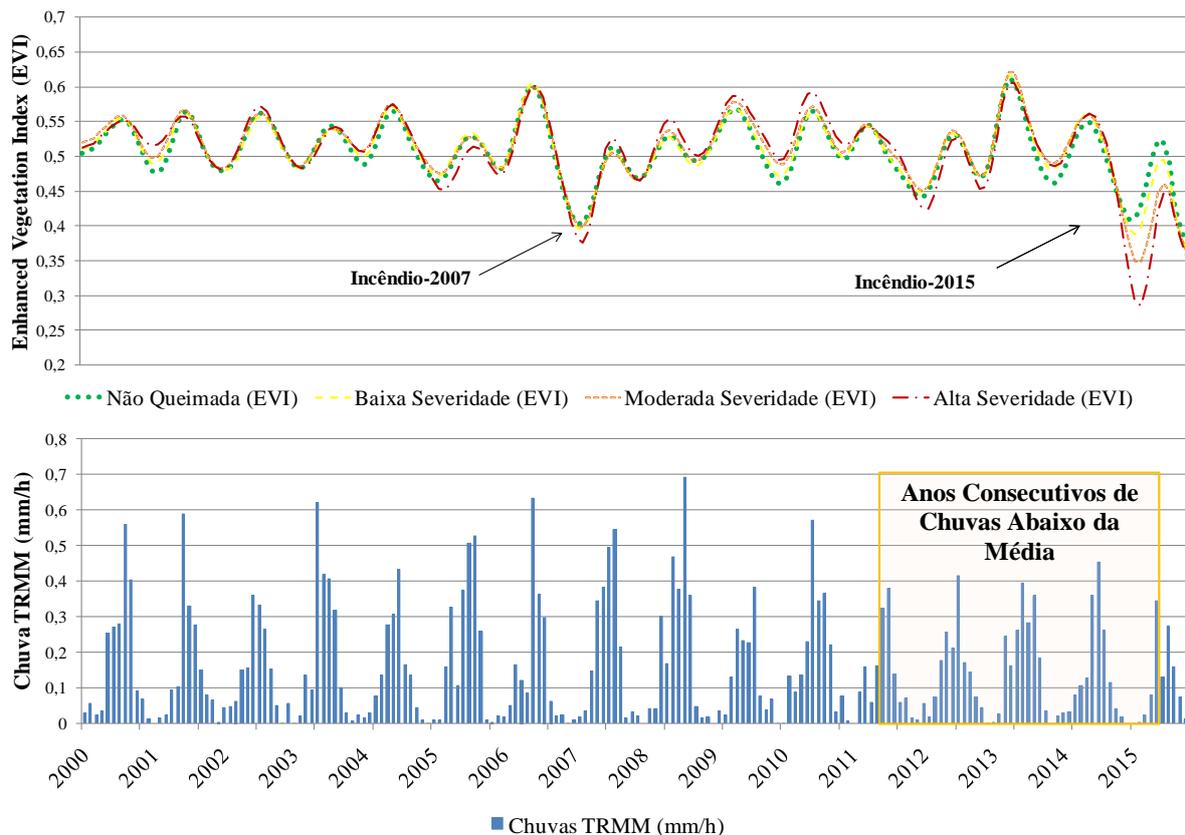


Figura 3: Comportamento temporal (2000 a 2016) do EVI e da Precipitação na Terra Indígena Arariboia.

A figura 4 demonstra com maior detalhe o impacto do fogo na alteração do EVI. Para a comparação entre o mês de agosto de 2015 e a alteração do EVI em cada um dos tipos de severidade analisados: (a) Houve queda de 7,9% entre agosto e o menor valor da série localizado em outubro para a área não queimada; (b) Queda de 13% entre agosto e o menor valor da série em novembro para a área queimada com baixa severidade; (c) Queda de 22% entre agosto e o menor valor da série em dezembro para a área queimada com moderada severidade e (d) queda de 34% entre agosto e dezembro para a área queimada com alta severidade.

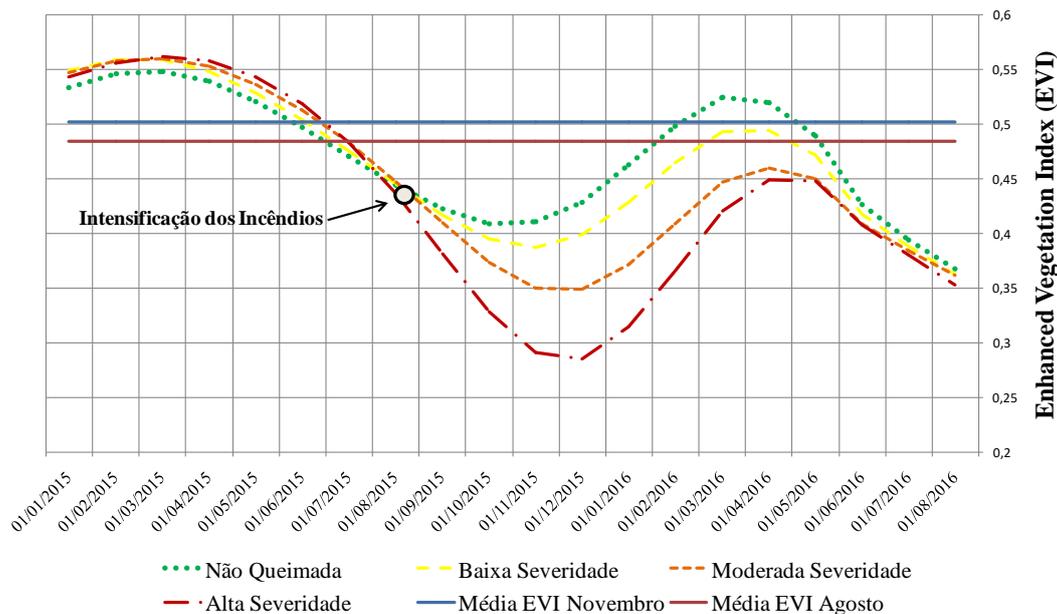


Figura 4: Efeitos de diferentes severidades de queimada no EVI.

Na figura 4 demonstra-se o valor médio esperado para o EVI nos meses de novembro e agosto, pode-se ressaltar que mesmo nas áreas sem a ocorrência de incêndios, os valores de EVI se mostraram inferiores ao esperado, indicando os efeitos de padrões climáticos na dinâmica da vegetação.

Um ano após o início dos incêndios, em agosto de 2016, os valores de EVI voltam a atingir valores abaixo da média esperada para o mês (Figura 4), indicando a não recuperação da vegetação, que levou cerca de 3 anos para atingir os valores médios após os incêndios de menor severidade registrados no ano de 2007.

4. Conclusões

A análise da severidade de queimada realizada por dados MODIS e Landsat/OLI demonstrou a eficiência de dados de sensoriamento remoto para a estimativa preliminar dos efeitos do fogo sobre a vegetação, indicando que apenas 20% da área analisada, não foram afetados pelo incêndio de 2015.

Com a utilização de séries de EVI pode-se observar os efeitos do fogo na alteração da estrutura florestal. O ciclo fenológico e os distúrbios podem ser evidenciados a partir da análise histórica e do padrão esperado para o período.

A terra indígena Arariboia sofreu intensa perda de EVI nos meses subsequentes aos incêndios, alcançando mais que 30% de redução do índice em áreas queimadas com alta severidade, os efeitos de anos de chuvas abaixo da média podem ter contribuído para esta maior severidade.

Referências Bibliográficas

Abade, N. A.; Carvalho Júnior, O. A.; Guimarães, R. F.; Oliveira, S. N. Comparative Analysis of MODIS Time-Series Classification Using Support Vector Machines and Methods Based upon Distance and Similarity Measures in the Brazilian Cerrado-Caatinga Boundary. **Remote Sensing**, v. 7, n. 9, p. 12160–12191, 18 set. 2015.

Alencar, A. A.; Brando, P. M.; Asner, G. P.; Putz, F. E. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. **Ecological Applications**, v. 25, n. 6, p. 1493–1505, 2015.

Anderson, L. O. Biome-scale forest properties in Amazonia based on field and satellite observations. **Remote**

Sensing, v. 4, n. 5, p. 1245–1271, 2012.

Anderson, L. O.; Aragão, L. E. O. C.; Shimabukuro, Y. E.; Almeida, S.; Huete, A. Fraction images for monitoring intra-annual phenology of different vegetation physiognomies in Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 2, p. 387–408, 2011.

Carvalho Júnior, O. A. de C.; Guimarães, R. F.; Silva, C. R.; Gomes, R. A. T. Standardized Time-Series and Interannual Phenological Deviation: New Techniques for Burned-Area Detection Using Long-Term MODIS-NBR Dataset. **Remote Sensing**, v. 7, n. 6, p. 6950–6985, 2015.

Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. P. Gao, X.; Ferreira, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1–2, p. 195–213, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Vegetação: Estado do Maranhão**. IBGE: Rio de Janeiro, Brasil, 2008. Disponível em: <<http://portaldemapas.ibge.gov.br>>. Acesso em: 23.Out.2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. 2016. Disponível em: <<http://queimadas.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 22.Jun.2016.

Key, C. H.; Benson, N. C. Measuring and remote sensing of burn severity. USGeological SurveyWildlandFireWorkshop, 31 October to 3 November 2000, Los Alamos, NM. USGS Open-File Report 02-11, 2002.

Koltunov, A.; Ustin, S. L.; Asner, G. P.; Fung, I. Selective logging changes forest phenology in the Brazilian Amazon: Evidence from MODIS image time series analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 11, p. 2431–2440, 2009.

Morton, D. C.; DeFries, R. S.; Nagol, J.; Souza Jr. C. M.; Kasischke, E. S.; Hurtt, G. C.; Dubayah, R. Mapping canopy damage from understory fires in Amazon forests using annual time series of Landsat and MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 7, p. 1706–1720, 2011.

Pivello, V. R. The use of fire in the cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: Past and present. **Fire Ecology**, v. 7, n. 1, p. 24–39, 2011.

Richardson, A. D.; Keenan, T. F.; Migliavacca, M.; Ryu, Y.; Sonnentag, O.; Toomey, M. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 169, p. 156–173, 2013.

Silva, F. B.; Shimabukuro, Y. E.; Aragão, L. E. O. C.; Anderson, L. O.; Pereira, G.; Cardozo, F.; Arai, E. Large-scale heterogeneity of Amazonian phenology revealed from 26-year long AVHRR / NDVI time-series. **Environmental Research Letters**, v. 8, p. 12, 2013.

van Leeuwen, W. J. D. Monitoring the Effects of Forest Restoration Treatments on Post-Fire Vegetation Recovery with MODIS Multitemporal Data. **Sensors**, v. 8, n. 3, p. 2017–2042, 2008.

Zhang, X.; Friedl, M. A. Schaaf, C. B.; Strahler, A. H.; Hodges, J. C. F.; Gao, F.; Reed, B. C.; Huete, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, n. 3, p. 471–475, 2003.