

## Tendências temporais do número de queimadas na Amazônia Legal brasileira entre os anos de 2002 a 2014

Celso Henrique Leite Silva Junior <sup>1</sup>  
Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão <sup>1</sup>  
Liana Oighenstein Anderson <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Av. dos Astronautas, 1758 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
celso.junior@inpe.br, laragao@dsr.inpe.br

<sup>2</sup>Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais - CEMADEN  
Est. Dr. Altino Bondensan, 500 - 12247-016 - São José dos Campos - SP, Brasil  
liana.anderson@cemaden.gov.br

**Abstract.** Fires cause tree mortality, emission of aerosols and trace gases to atmosphere, alter the radiation balance and reduce photosynthetic rates of vegetation. These emissions can interfere in the rainfall regime and affect the health of population. The aim of this work was to answer the following questions: (i) is there any temporal trends on fire behavior in the Amazon? (ii) where do these trends occur and what is the spatial extent of significant trends? (iii) what is the magnitude of these trends? For answering these questions, we used active fire detection data, aggregated at 729 km<sup>2</sup> cell grid for analyzing the entire Brazilian Legal Amazon, during the years 2002-2014. We used two non-parametric statistical methods to analyze the regional and local trends, as well as quantify its magnitude (Mann-Kendall and Sen's Slope, respectively). We found evidence of a significant tendency in regional reduction of fires between the years 2002-2014 (at 10% of significance; p-value = 0.077). Locally significant trends (p-value  $\leq 0.05$ ) were observed in the reduction of fires, mostly in the Arc of Deforestation region; however, there was a significant (p-value  $\leq 0.05$ ) increase in areas of deforestation frontiers, especially in Cerrado (Brazilian Savanna) areas. The areas with negative trends are possibly related to the reduction in deforestation rates, whereas the areas with positive trend were associated with an increase of deforestation.

**Keywords:** desmatamento, secas, análise temporal, remote sensing, wildfires, Brazilian Amazon, trend analysis.

### 1. Introdução

As queimadas ocorrem naturalmente ou por influência antrópica através dos processos de mudança no uso e cobertura da terra. O fogo é utilizado como técnica de manejo em culturas agrícolas para converter áreas de floresta em lavouras, e na criação e manutenção de pasto para o gado, no controle de plantas invasoras, pragas ou doenças, assim como, para estimular a rebrota da pastagem (Fearnside, 2005; Piromal et al., 2008).

Mais recentemente foi descoberto que na Amazônia, perturbações antropogênicas como as queimadas e outros tipos de degradação florestal podem dobrar a perda da biodiversidade quando adicionados ao efeito do desmatamento de corte raso (Barlow et al., 2016).

A ocorrência dessas queimadas favorece a mortalidade de árvores, alterando a composição de espécies, estimulando a ocorrência de gramíneas e árvores mais adaptadas ao fogo, o que pode alterar a estrutura ecológica local (Veenendaal et al., 2015). Os aerossóis e gases traços produzidos podem aumentar de 2 a 8 vezes a concentração natural desses elementos na atmosfera (Artaxo et al., 2006). Esse fato altera o balanço de radiação, absorvendo cerca de 70% da radiação fotossinteticamente ativa, afetando a taxa fotossintética, a temperatura na superfície e os fluxos de calor sensível e latente, diminuindo a absorção do carbono atmosférico (Artaxo et al., 2006).

Além do efeito negativo na vegetação, as queimadas possuem um papel central nas emissões de carbono nos trópicos, pois afeta diretamente o seu ciclo, perturbando a química atmosférica global através da liberação de gases de efeito estufa e aerossóis (Anderson et al., 2005). O material particulado emitido para a atmosfera altera o regime da precipitação (Artaxo

et al., 2014), causando também impacto significativo na qualidade do ar e problemas de saúde respiratória na população (Smith et al., 2014).

De forma geral as alterações no aumento do número de queimadas na região amazônica são principalmente influenciadas pelos padrões de chuva e pela intensificação das atividades de desmatamento. Nas últimas décadas, os eventos hidrológicos extremos como as secas têm sido mais frequentes na região amazônica, associadas a anomalias nas temperaturas dos oceanos Pacífico e Atlântico, aumentando significativamente a ocorrência do número de queimadas (Aragão et al., 2007; Marengo e Espinoza, 2016). Já o desmatamento, tem sua contribuição direta, com o uso do fogo na limpeza das áreas desmatadas (Piromal et al., 2008), e indiretamente por conta da fragmentação florestal e o aumento das bordas devido à redução da área florestal, resultando no aumento da suscetibilidade da paisagem à ocorrência de queimadas (Berenguer et al., 2014).

Com base no exposto e a carência de estudos que buscam analisar a tendência espaço-temporal das queimadas na região amazônica na última década, o presente trabalho propõe responder as seguintes questões: (i) existe alguma tendência temporal no número de ocorrência de queimadas na Amazônia? (ii) onde ocorrem e qual a extensão das áreas com tendências? (iii) qual a magnitude da tendência para os eventos de queimadas?

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

A Amazônia Legal (Figura 1), instituída em 1953 pela Lei Federal nº 1.806 (Martha Júnior, Contini e Navarro, 2011), abrange mais da metade do território brasileiro, com 5.217.423 km<sup>2</sup>, equivalendo a cerca de 61% do território nacional. Sua vegetação é composta principalmente pela Floresta Tropical Amazônica, com intensa atividade de desmatamento na região denominada Arco do Desmatamento, que faz fronteira com a região do Cerrado brasileiro (Caúla et al., 2015).

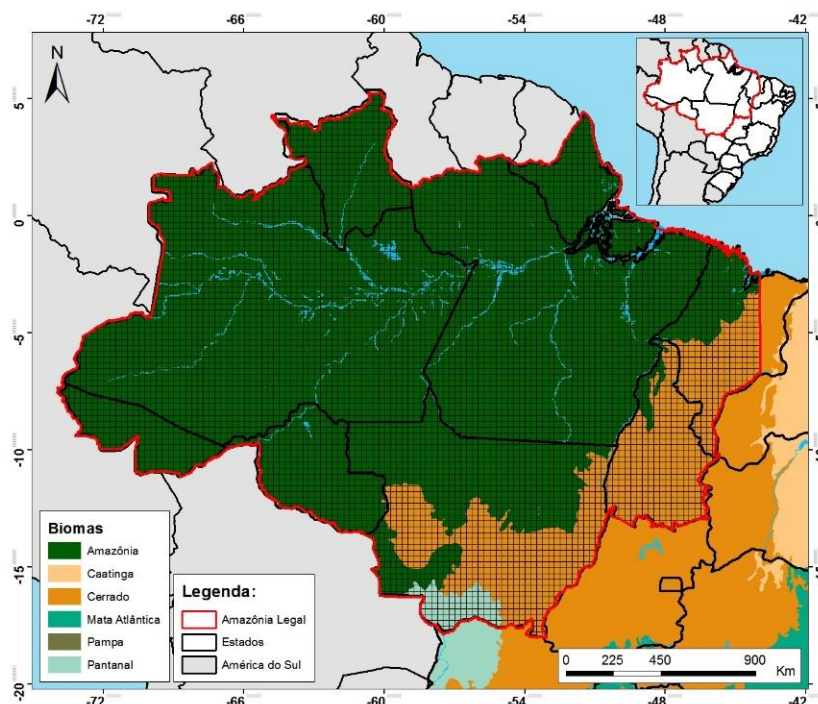


Figura 1. Localização da área de estudo. A grade na imagem representa a estrutura de células adotada para as análises.

## 2.2 Base de Dados

Para a realização do presente trabalho foram utilizados os dados de focos de calor no intervalo temporal de 2002 a 2014. Os dados referentes aos focos foram obtidos anualmente (dados vetoriais em formato *shape file*) a partir do site FIRMS - *Fire Information for Resource Management System* (<https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>).

O produto de fogo ativo do MODIS (MCD14ML, Coleção 5.1) detecta queimadas em pixels de 1 por 1 km de resolução espacial, utilizando as imagens de cada passagem dos satélites Terra ou Aqua, em condições relativamente livres de nuvens (Giglio et al., 2003).

Para gerar o produto mencionado, é utilizado um algoritmo contextual, onde são utilizadas as comparações entre as bandas do infravermelho médio e termal com imagens de referência (onde não ocorreram queimadas), em seguida falsas detecções são rejeitadas pelo exame da temperatura de brilho em relação a pixels vizinhos (Giglio et al., 2003). Esses dados vêm sendo amplamente utilizados pela comunidade científica nos últimos anos, e foram validados para a região amazônica (Schroeder et al., 2008).

## 2.3 Metodologia

Adotamos a terminologia análise regional, para as análises relativas ao total anual de focos de calor para toda a extensão da Amazônia Legal brasileira. Similarmente, o termo análises locais, foi utilizado para as quantificações *pixel a pixel*.

Foram utilizados somente os dados do satélite Terra. Cada dado anual foi agregado em uma estrutura de células de 0,25 por 0,25 graus (aproximadamente 27 por 27 km), totalizando uma grade com 6614 células. Em cada célula o valor atribuído correspondeu a soma total anual do número de focos.

Na elaboração do mapa de tendências (análise local) e na análise regional, foi utilizado o software estatístico R (R Core Team, 2016). Para tal, cada análise de tendência local foi realizada *pixel a pixel*, onde cada pixel representa o total de focos ao longo do tempo para determinada área de 729 km<sup>2</sup>.

Para identificar as tendências nas séries temporais foi empregado o teste estatístico não paramétrico *Mann-Kendall* (Kendall, 1975; Mann, 1945), indicado pela *World Meteorological Organization* (WMO) para avaliação de tendências em séries temporais de dados ambientais (Hipel e McLeod, 2005; Yu, Yang e Wu, 2002). Esse teste está implementado no pacote “*Water Quality (wq)*”, através da função “*mannKen*” (Jassby e Cloern, 2016). Como resultado a função retorna a estatística *S*, que apresenta valores entre -1 e 1, onde valores negativos indicam tendência negativa e valores positivos tendência positiva na série temporal. Para valores iguais a 0, assume-se que a série não apresenta tendência. Para cada estatística é atribuído um p-valor para a determinação da rejeição da hipótese nula, de acordo com o nível de significância adotado. Adicionalmente a função retorna o valor da magnitude na tendência “*Sen*” (mudança por unidade de tempo), estimado pelo método não paramétrico “*Sen’s slope*”, que é considerado pouco sensível a dados *outliers* (Sen, 1968).

Para o mapa de tendência foram considerados somente os pixels com p-valor  $\leq 0,05$  (nível de significância de 5%). Para a análise regional um nível de significância de 10% (p-valor  $\leq 0,10$ ) foi adotado.

## 3. Resultados

A Figura 2 mostra a tendência regional para a área de estudo. Foi encontrada uma tendência negativa significativa a 10% do número total de focos de queimadas ao longo dos anos. O valor do *Sen’s Slope* evidencia que essas queimadas, apesar de picos interanuais, diminuiram com uma taxa de aproximadamente 2.934 focos por ano entre 2002 e 2014.

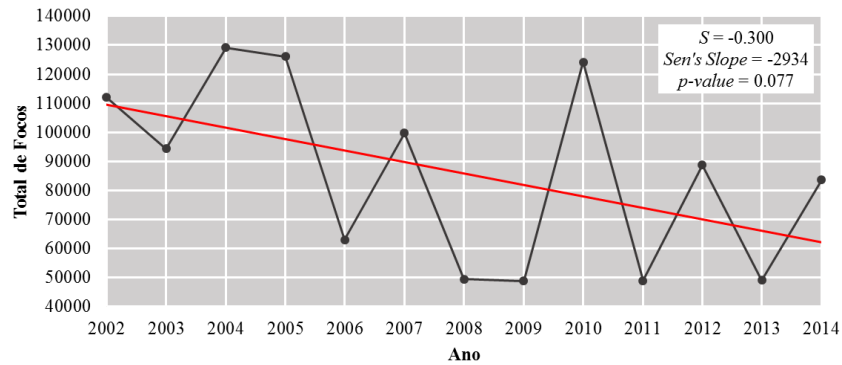


Figura 2. Tendência regional anual das queimadas na região da Amazônia Legal brasileira.

As tendências locais (Figura 3) evidenciaram que aproximadamente 88% (5.820 células) da Amazônia Legal não apresentou tendência. Outros 1% (67 células) apresentou tendência positiva de aumento no número de queimadas, com células com taxa de aumento de até aproximadamente 8 focos por ano. Os outros 11% (727 células) apresentou tendência negativa, com células com taxa de até -38 focos por ano.

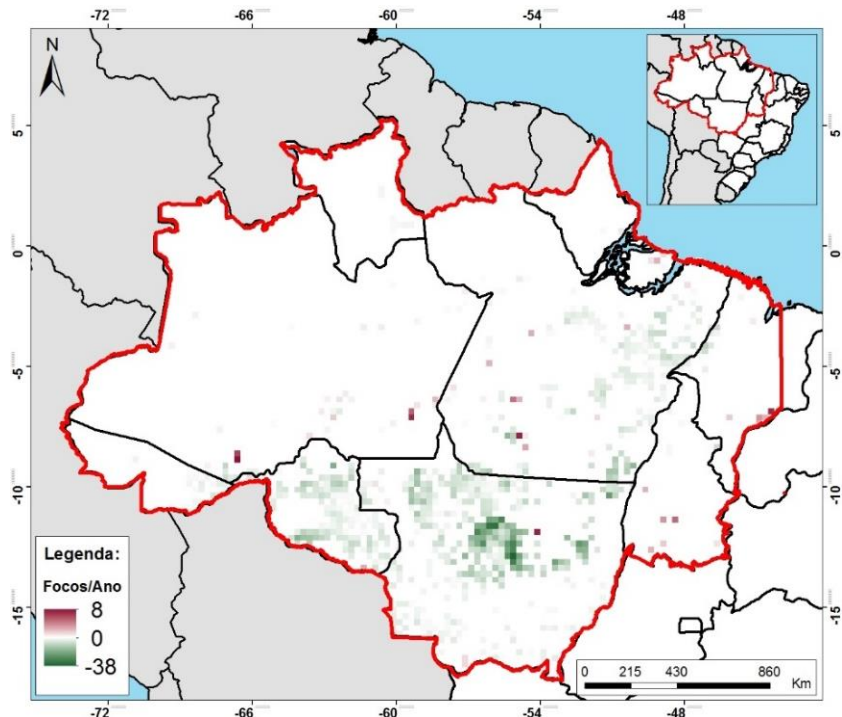


Figura 3. Distribuição espacial das tendências anuais de 2003 a 2014. Em tons de verde são as tendências negativas, em vermelho as positivas e em branco as células sem tendência.

Identificamos um padrão espacial na distribuição das tendências ao longo da área de estudo. As áreas com tendências positivas estão distribuídas em áreas de Cerrado ao sul do estado do Maranhão e do Tocantins. Outras áreas com tendência positivas estão localizadas principalmente na região central, onde estão localizadas as áreas mais intactas de floresta em novas fronteiras de desmatamento.

As áreas de decréscimo na tendência estão localizadas principalmente ao longo de áreas já consolidadas do Arco do Desmatamento. Contemplando a região oeste do estado do Maranhão, leste e centro do estado do Pará, norte e centro do estado do Mato Grosso, leste e centro do Estado de Rondônia, Leste do estado do Acre e sudoeste do estado de Roraima.



As áreas de aumento no número de queimadas estão localizadas principalmente ao longo das áreas de Cerrado no estado do Maranhão e Tocantins, e mais espaçadamente nos estados do Mato Grosso, Pará e Amazonas.

#### 4. Discussão

Estudos sugerem que os picos de queimadas observados na série temporal regional estão associados à secas severas reportadas nos anos de 2005 (Aragão et al., 2007), 2007 (Brando et al., 2014) e 2010 (Gatti et al., 2014). Além disso, tendo em vista a correlação existente entre o desmatamento e a ocorrência de queimadas na Amazônia (Aragão et al., 2014), o pico de queimadas no ano de 2004 pode estar associado ao pico de desmatamento ocorrido nesse mesmo ano (INPE, 2016).

Dessa maneira, existe um padrão na ocorrência de secas nas últimas décadas na Amazônia (Marengo e Espinoza, 2016) e isso tem alterado os padrões de queimadas (Aragão et al., 2007), mas de uma forma geral, das 794 células com tendência significativa encontradas, cerca de 91,56% apresentaram tendência em diminuir o número de queimadas.

O resultado da tendência regional corrobora com um recente estudo realizado por Vedovato (2016), que analisou a tendência das queimadas utilizando regressão linear no bioma amazônico entre os anos de 2003 e 2014, onde seus resultados mostraram uma redução significativa na ocorrência das queimadas na região amazônica. Na mesma linha, Chen et al. (2013) analisou as tendências de queimadas nas florestas tropicais da América Latina entre os anos 2005 e 2012, incluindo a região amazônica, e encontrou um, pequeno decréscimo na ocorrência das queimadas.

As tendências negativas locais apresentam um padrão espacial que evidencia uma concentração principalmente na região do Arco do Desmatamento. Essa região é conhecida por ser a primeira grande frente de expansão de povoamento da região amazônica, abrigando áreas de agricultura e pecuária. Segundo Vedovato (2016), essa área apresenta significativa correlação positiva entre o fogo e o desmatamento, ou seja, nessa área a ocorrência de queimadas está fortemente ligada ao desmatamento. Com a atual evidência na redução das taxas de desmatamento (Vedovato, 2016), as ocorrências de queimadas tendem a diminuir proporcionalmente.

Nesse contexto, Velasco Gomez et al. (2015) mostrou que em boa parte do Arco do Desmatamento existem áreas que entre os anos de 1975 a 2014 perderam de 75 a 100% da cobertura original de floresta. Esse fato é outra hipótese referente a redução do número de queimadas observado neste estudo, pois, comumente as queimadas são associadas a ocorrência de desmatamento na Amazônia (Soares Filho et al., 2006). Em outras palavras, as áreas disponíveis para desmatamento não existem mais ou estão indisponíveis, como são os casos das áreas de proteção permanente e reserva legal, impedindo assim a ocorrência de queimadas associadas ao desmatamento.

Outro fator que influencia a redução do número de queimadas nessa região, é a substituição do manejo com fogo das áreas agrícolas por um manejo mecanizado, principalmente relacionado a agricultura de soja (Aragão e Shimabukuro, 2010). Cita-se também a influência do aumento da fiscalização decorrente da implantação de políticas públicas como o PPCDAm (Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal) e a Moratória da Soja na significativa redução do desmatamento na Amazônia e conseqüente redução na ocorrência de queimadas associadas ao desmatamento (Aragão e Shimabukuro, 2010; Vedovato, 2016).

As áreas com tendência positiva estão relacionadas a áreas de novas fronteiras de desmatamento na região amazônica. Essas áreas estão localizadas na região sul do estado do Amazonas, no entorno da BR-163 e na região conhecida como “Terra do Meio” no estado do Pará (Escada, 2005; Pinheiro et al., 2016). Essas regiões se sobrepõem espacialmente às áreas com tendência positivas aqui apresentadas.

É importante também destacar as áreas com tendências positivas encontradas no estado do Maranhão e Tocantins, região de domínio do Cerrado na Amazônia Legal. Esse aumento no número de queimadas pode indicar associação com o aumento do desmatamento para a expansão agrícola na região do MATOPIBA (estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), que é uma nova fronteira de expansão agrícola no Brasil (Lorensini et al., 2015; Vieira Filho, 2015). A intensificação da cultura de cana-de-açúcar nessa região, por exemplo, que ainda utiliza o fogo para a colheita, pode está também influenciando no aumento do número de queimadas nessa região (Vieira Junior et al., 2008).

As áreas com tendências positivas podem ser intensificadas pelo efeito das atuais mudanças climáticas juntamente com a criação de novas fronteiras de desmatamento. Isso pode ocorrer, porque na Amazônia as queimadas são respostas positivas frente a intensificação do desmatamento somada a redução da chuva, habitualmente decorrentes das secas (Laurance e Williamson, 2001).

## 5. Considerações Finais

Ficou evidente que regionalmente na Amazônia Legal existe uma tendência significativa na redução das queimadas, e elevada variabilidade interanual. No entanto, as análises locais indicaram que apesar de 88% das células analisadas não apresentarem tendências significativas, padrões espaciais bem definidos de aumento ou redução significativa nas queimadas puderam ser identificados.

Os resultados obtidos não implicam que o problema do fogo na Amazônia esteja resolvido, uma vez que essas queimadas ainda continuam ocorrendo. Isso, devido ao fogo associado ao manejo de áreas de agricultura e pecuária, conversão de florestas secundárias, além do fogo associado à fragmentação florestal (Aragão e Shimabukuro, 2010; Cochrane, 2003; Fearnside, 2005; Vedovato, 2016). Isso mostra a necessidade de criação de políticas centradas nesses fatores, além das já estabelecidas e consolidadas para o desmatamento.

As áreas com tendência positiva na região de domínio do Cerrado na Amazônia Legal, ainda são pouco monitoradas se comparada ao bioma amazônico. Dessa maneira, se faz necessário entender melhor a dinâmica das queimadas, desmatamento e mudanças climáticas nessas regiões, para uma correta tomada de decisão no sentido de novas políticas públicas ambientais, que possam resultar na correta gestão dessas áreas.

Por fim, o presente estudo abre caminho para novos trabalhos que visem confirmar as hipóteses aqui levantadas, assim como realizar análises mais profundas e detalhadas.

## 6. Agradecimentos

O primeiro autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão da bolsa no Mestrado em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

## 7. Referências

- Anderson, L. O. et al. Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 4, p. 445–456, dez. 2005.
- Aragão, L. E. O. C. et al. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 7, p. L07701, 3 abr. 2007.
- Aragão, L. E. O. C. et al. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. **Biological Reviews**, v. 2, p. n/a-n/a, 20 fev. 2014.
- Aragão, L. E. O. C.; Shimabukuro, Y. E. The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD. **Science (New York, N.Y.)**, v. 328, n. June, p. 1275–1278, 4 jun. 2010.

- Artaxo, P. et al. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3, p. 168–189, 2006.
- Artaxo, P. et al. Perspectivas de pesquisas na relação entre clima e o o funcionamento da Floresta Amazônica. **Ciência & Cultura**, v. 66, n. 3, p. 41–46, 2014.
- Barlow, J. et al. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v. 535, n. 7610, p. 144–147, 29 jun. 2016.
- Berenguer, E. et al. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. **Global Change Biology**, v. 20, n. 12, p. 3713–3726, dez. 2014.
- Brando, P. M. et al. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 17, p. 6347–6352, 29 abr. 2014.
- Caúla, R. H. et al. Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 2, p. 1497–1508, 18 jul. 2015.
- Chen, Y. et al. Long-term trends and interannual variability of forest, savanna and agricultural fires in South America. **Carbon Management**, v. 4, n. 6, p. 617–638, 10 dez. 2013.
- Cochrane, M. A. Fire science for rainforests. **Nature**, v. 421, n. 6926, p. 913–9, 27 fev. 2003.
- Escada, M. I. S. **O avanço do desmatamento na Amazônia no contexto das novas fronteiras**. In: III Seminário Técnico-científico de análise dos dados de desmatamento na Amazônia Legal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005.
- Fearnside, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates, and Consequences. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 680–688, jun. 2005.
- Gatti, L. V et al. Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric measurements. **Nature**, v. 506, n. 7486, p. 76–80, 6 fev. 2014.
- Giglio, L. et al. An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, n. 2–3, p. 273–282, out. 2003.
- Hipel, K. W.; McLeod, A. I. **Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems**. 1st. ed. [s.l.] Elsevier, 2005.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **PRODES - Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: 10 fev. 2016.
- Jassby, A. D.; Cloern, J. E. **Package “wq”**. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/wq/wq.pdf>>. Acesso em: 19 maio. 2016.
- Kendall, M. G. **Rank Correlation Methods**. London: Charles Griffin, 1975.
- Laurance, W. F.; Williamson, G. B. Positive Feedbacks among Forest Fragmentation, Drought, and Climate Change in the Amazon. **Conservation Biology**, v. 15, n. 6, p. 1529–1535, 14 dez. 2001.
- Lorensini, C. L. et al. **Mapeamento e identificação da época de desmatamento das áreas de expansão da agricultura no MATOPIBA**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015.
- Mann, H. B. Nonparametric Tests Against Trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245, jul. 1945.
- Marengo, J. A.; Espinoza, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033–1050, mar. 2016.
- Martha Júnior, G. B.; Contini, E.; Navarro, Z. **Caracterização da Amazônia Legal e macrotendências do ambiente externo**. Brasília: Embrapa Estudos e Capacitação, 2011.
- Pinheiro, T. F. et al. Forest Degradation Associated with Logging Frontier Expansion in the Amazon: The BR-163 Region in Southwestern Pará, Brazil. **Earth Interactions**, v. 20, n. 17, p. 1–26, jul. 2016.
- Piromal, R. A. S. et al. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 1, p. 77–84, 2008.
- R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 1 jan. 2016.

- Schroeder, W. et al. Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 5, p. 2711–2726, maio 2008.
- Sen, P. K. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, n. 324, p. 1379, dez. 1968.
- Smith, L. T. et al. Drought impacts on children's respiratory health in the Brazilian Amazon. **Scientific reports**, v. 4, p. 3726, jan. 2014.
- Soares Filho, B. S. et al. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, n. 7083, p. 520–523, 23 mar. 2006.
- Vedovato, L. B. **Análise espaço-temporal do desacoplamento dos padrões de fogo e desmatamento na Amazônia**. 2016. 97 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- Veenendaal, E. M. et al. Structural, physiognomic and above-ground biomass variation in savanna–forest transition zones on three continents – how different are co-occurring savanna and forest formations? **Biogeosciences**, v. 12, n. 10, p. 2927–2951, 21 maio 2015.
- Velasco Gomez, M. D. et al. A long-term perspective on deforestation rates in the Brazilian Amazon. **ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XL-7/W3, n. 7W3, p. 539–544, 29 abr. 2015.
- Vieira Filho, J. E. R. Expansão da fronteira agropecuária brasileira: desafios estruturais logísticos. **Boletim regional, urbano e ambiental do IPEA**, v. 12, n. jul.-dez, p. 37–48, 2015.
- Vieira Junior, P. A. et al. Produção brasileira de cana-de-açúcar e deslocamento da fronteira agrícola no estado do Mato Grosso. **Informações Econômicas**, v. 38, n. 4, p. 58–77, 2008.
- Yu, P.; Yang, T.; Wu, C. Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. **Journal of Hydrology**, v. 260, n. 1–4, p. 161–175, mar. 2002.