

Análise da relação EVI e TRMM para a bacia do Purus considerando a sazonalidade climática na região

Tássia Alves Costa¹
Pedro Jorge Bele Mateus²
Laura De Simone Borma¹
Kenny Delmonte Oliveira¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{tassia.costa, laura.borma, kenny.oliveira}@inpe.br

² Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa - FCUL
Instituto Dom Luiz (IDL) - Lisboa, Campo Grande, Portugal
pedrobele@gmail.com

Abstract. It is known that the dense forests, such as an Amazon, have dynamics of complex vegetation and, at the same time, represent a key role in carbon capture and climate change, being important completely comprehension of these ecosystems. One of the ways to understand these dynamics are the vegetation indices, such as the EVI, which has been enhanced to maximizing the response of green vegetation. Some studies done in the Amazon has presented widely divergent results with regard the EVI MODIS sensor and his possible correlation with rainfall data in dry extremes occurred in 2005 and 2010. In view of this, this work aimed to relate to different data sources remote sensing, using the sensor data MODIS monthly EVI and TRMM monthly precipitation, assessing whether, for wet and dry period and for the Purus basin located west of the Amazon, there is correlation between them. After total extraction and preprocessing the boxplot statistics were generated for the two data sources through the mean of all basin pixels for the proposed period, as well as their spatial distribution. For the period analyzed, the results show no relation between EVI and TRMM data to the working range used, however presented a spatial correlation between the data. This indicates the need for further studies on the spatial dynamics and temporal forest response in relation to rain and its forms of representation, on the scale of the basin.

Palavras-chave: Amazon forest, vegetation index, precipitation, floresta amazônica, índice de vegetação, precipitação.

1. Introdução

As florestas tropicais desempenham importante papel na ciclagem de carbono e considerável impacto na dinâmica do clima (Bonan, 2008). No entanto, não se sabe como esses sistemas irão responder às tendências de uma clima mais seco e quente, projetado de ocorrer em resposta a um aumento nas concentrações de CO₂ atmosférico (Stocker et al., 2013). As secas na Amazônia não são um fenômeno recente, porém, têm sido objeto de pesquisas e preocupação da comunidade científica em face a um possível aumento na sua frequência e intensidade. Alguns estudos sugerem que a produtividade da floresta amazônica tende a ser afetada pelo estresse hídrico decorrente das secas (Zhao e Running, 2010; Phillips et al., 2010). Outros estudos apontam, no entanto, para um potencial aumento da produtividade decorrente de um aumento na radiação solar, tendo em vista a elevada capacidade de armazenamento da água no solo, em grande parte da bacia (Huete et al., 2006; Restrepo-Coupe et al., 2013; Saleska et al., 2007).

Saleska et al. (2007), utilizando dados MODIS-EVI, concluiu que houve um aumento significativo do esverdeamento da vegetação durante a seca de 2005. Posteriormente Samanta et al. (2010) mostraram que não houve aumento do EVI na seca de 2005. Já de acordo com Anderson et al. (2010), em suas análises relacionando índices de vegetação e mortalidade de árvores, mostraram que locais com altas taxas de mortalidade em 2005 tenderam a possuir elevado EVI e concluiu que valores positivos do EVI não indicam aumento do índice de área

foliar e da produtividade na floresta amazônica. Um dos motivos dessas incertezas é a correspondência entre os índices de vegetação (EVI, NDVI) e os complexos processos que ocorrem nas florestas tropicais para evitar a perda de água e lidar com as secas.

A despeito das incertezas, o SR e, em particular, os índices de vegetação, exercem um papel crucial na identificação do impacto das secas na resposta das florestas tropicais. Assim sendo, o principal objetivo do presente trabalho foi a busca de uma possível correlação entre o EVI e a precipitação, medida por meio do TRMM.

O índice de vegetação melhorado (EVI) foi desenvolvido para aperfeiçoar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade em regiões com maior densidade de biomassa, corrigindo distorções da luz refletida, causadas por material particulado suspenso no ar. O EVI é mais sensível às variações na resposta estrutural do dossel, incluindo o índice de área foliar (IAF), a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (Huete et al., 2002). Apesar dos avanços, a maior parte dos índices de vegetação ainda é sensível aos efeitos geométricos (fonte-sensor-alvo) decorrentes da aquisição de dados a partir de satélites (Epiphanyo e Huete, 1995; Chen et al., 2005; Galvão et al., 2009). É neste contexto que nota-se a importância de se entender como funcionam os índices de vegetação e de saber interpretá-los, tentando relacioná-los com outras variáveis de modo a compreender de que forma a floresta Amazônica se comporta durante a seca.

Um dos satélites com o objetivo específico de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia o clima global, foi o TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) que é um projeto de parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA) e foi lançado em 27 de novembro de 1997 (Kummerow et al., 1998). Em função de ser o satélite mais bem equipado em termos de instrumentos para estimativa de precipitação, o satélite TRMM fornece estimativas mais precisas do que as técnicas indiretas baseadas em imagens de outros satélites (Barrera, 2005), sendo usado inclusive para validação dessas técnicas.

É sabido que a despeito dos elevados índices de chuva que ocorrem na região, a Amazônia apresenta uma sazonalidade bem definida em termos de período chuvoso e período de estiagem. Em geral, para uma parte expressiva da Amazônia – e, em particular, para a bacia do Purus – objeto de estudo do presente trabalho, o período chuvoso ocorre de outubro a abril e, o período de estiagem, de maio a setembro. Assim, a hipótese a ser testada é a de que, se a floresta responde sazonalmente aos índices de chuva, então deveria ser esperada alguma diferença entre os valores de EVI do auge do período seco e do auge do período chuvoso.

2. Metodologia

O presente foi desenvolvido na bacia do rio Purus (Figura 1). O Rio Purus nasce no Peru, a cerca de 500 metros de altitude, tendo a característica de ser uma bacia trans-fronteiriça, localizada a sudoeste da floresta Amazônica, cobrindo áreas dos estados do Amazonas, Acre e dos países vizinhos ao Brasil, Peru e Bolívia. A bacia do Purus estende-se por uma área de cerca de 63.000 km², e apresenta um clima quente e úmido com estações seca e chuvosa bem definidas (Brasil, 1976). Por possuir um grande número de habitats limitados a partir dos movimentos do rio com longas áreas de inundação, à bacia do Purus atribui-se uma grande importância ambiental. Além disso, ainda que haja uma pressão de ocupação de fronteira econômica, o grau de conservação dos ambientes naturais da bacia é relativamente alto (Trancoso et al., 2005).

O fluxograma OMT-G seguido para realização desse trabalho está apresentado na Figura 2, sendo que os produtos de sensoriamento remoto utilizados foram:

- Dados mensais de precipitação do TRMM, produto 3B43 (<http://disc.gsfc.nasa.gov/giovanni>) para análise da variação da precipitação durante o período

do ciclo hidrológico, de outubro de 2009 a setembro de 2011. Sua resolução espacial é de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$.

- Dados mensais do MOD13A3 (*Vegetation Indices Monthly L3*) referindo-se ao índice de vegetação EVI, (<http://reverb.echo.nasa.gov/>) para o período de dezembro de 2009, janeiro, agosto e setembro de 2010 e agosto e setembro de 2011. Sua resolução espacial é de 1 Km.

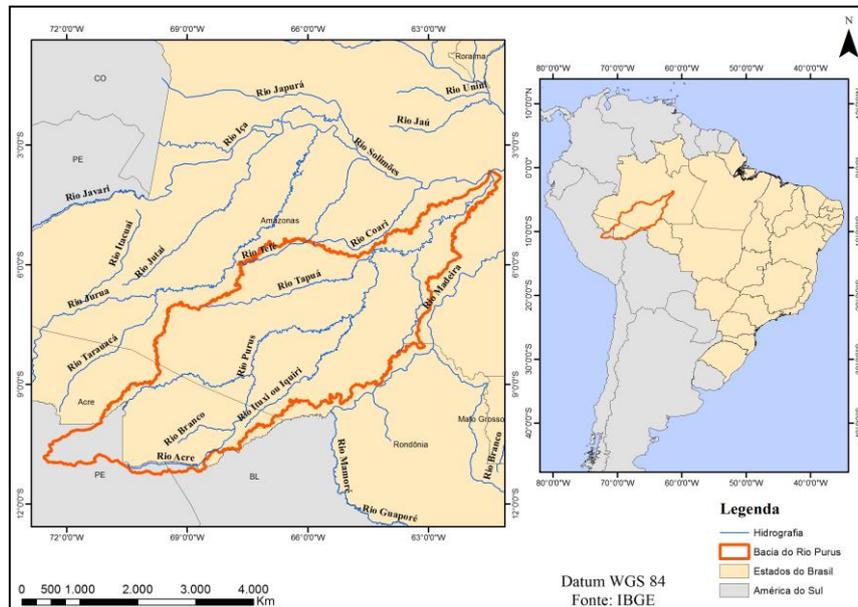


Figura 1. Área de estudo.

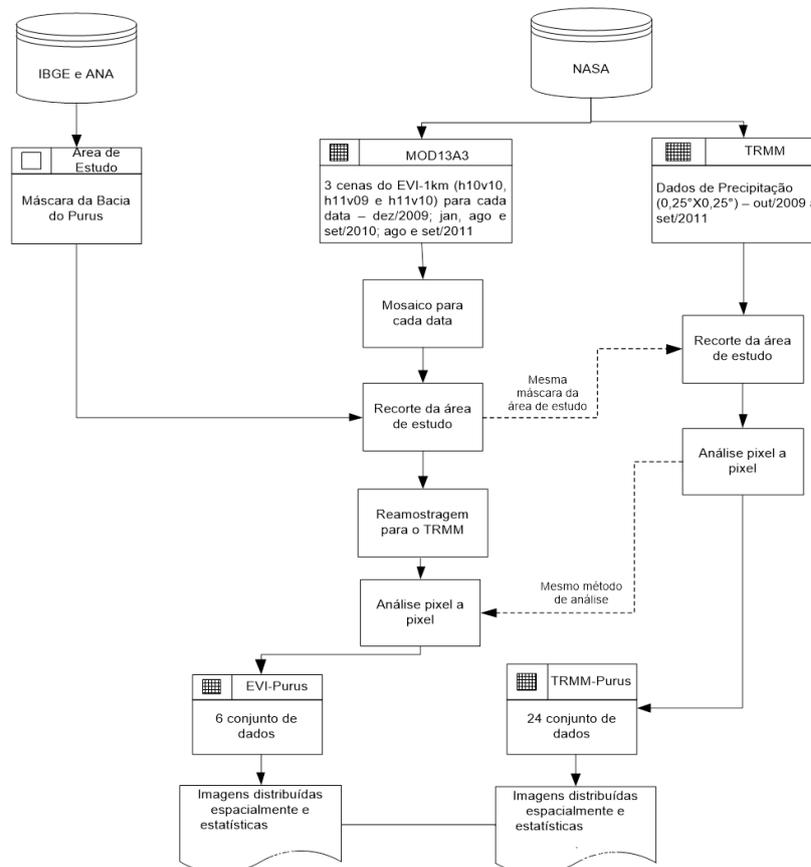


Figura 2. OMT-G deste estudo.

3. Resultados e Discussão

A Figura 3 representa, por meio de *boxplots*, a distribuição dos dados mensais de precipitação para toda a bacia do Purus para o período de outubro de 2009 a setembro de 2011, destacando-se, para efeito de comparação i) uma estação seca e uma estação chuvosa no mesmo ano hidrológico (meses de dezembro de 2009, janeiro, agosto e setembro de 2010) e duas estações secas (meses de agosto e setembro de 2010 e 2011). Observa-se, como era de esperar, a existência de variabilidade do valor da mediana mensal da precipitação entre o período chuvoso e o período seco do ano hidrológico 2009/2010 e, ainda, uma similaridade dos índices mensais de chuva entre os períodos de seca dos anos de 2010 e 2011. Nota-se, em todo o período analisado, a existência uma sazonalidade bem definida, com menores valores de precipitação ocorrendo nos meses MJJA e, os maiores, ocorrendo nos meses DJFM.

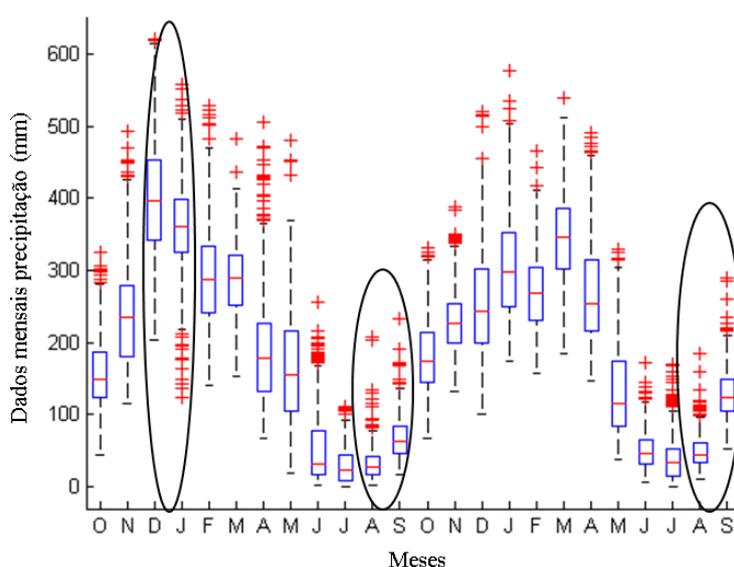


Figura 3. Dados mensais de precipitação em todo o ciclo hidrológico (de outubro de 2009 a setembro de 2011)

A Figura 4 apresenta os dados do EVI para os meses acima destacados, ou seja, dezembro de 2009 (1), janeiro (2), agosto (3) e setembro (4) de 2010 e agosto (5) e setembro (6) de 2011, mostrando a distribuição de todos os pixels da bacia do Purus. Ao contrário do que seria esperado, observa-se que a mediana do EVI não apresentou sazonalidade expressiva entre os meses considerados, apesar do gráfico da precipitação demonstrar variações significativas entre o período chuvoso (outubro a março) e o período seco (abril a setembro) (Figura 3). Por exemplo, em agosto de 2010 a precipitação foi bem menor do que em janeiro de 2010, no entanto o EVI não obteve a variabilidade nos dados proporcionalmente aos de precipitação.

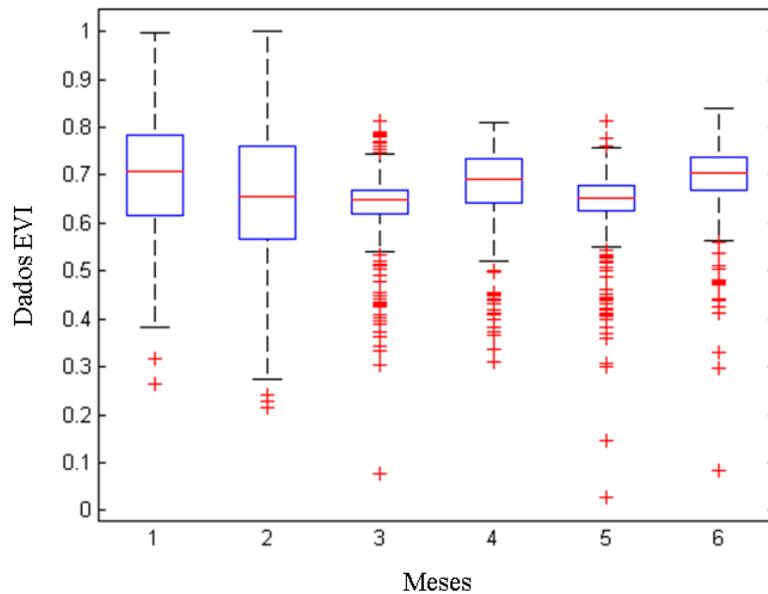


Figura 4. *Boxplots* dos dados EVI, sendo: 1 - dezembro/2009; 2, 3 e 4 – janeiro, agosto e setembro/2010; e 5 e 6 agosto e setembro de 2011.

Ainda, a Figura 4 mostra que os dados médios do EVI para toda a bacia nos meses chuvosos (1 e 2 – dezembro/2009 e janeiro/2010), embora as medianas tenham sido similares entre si, a variabilidade entre os dados foi maior, quando comparada com a variabilidade dos dados de EVI para os meses de seca (agosto e setembro). No entanto, deve-se atentar para o fato de que os *outliers* ocorridos nos meses de seca claramente influenciaram na mediana, fato que não ocorreu com tanta intensidade nos meses chuvosos.

Em função dos dados de EVI obtidos, observa-se que o uso de mediana mensal/sazonal para toda bacia do Purus não é viável para esse tipo de estudo. Assim sendo, no presente trabalho buscou-se também identificar possíveis relações entre esses índices em diferentes áreas da bacia. As Figuras 5 a 7 apresentam a variação espacial do EVI e da precipitação para a bacia do Purus, para os meses de dezembro de 2009, janeiro e agosto de 2010.

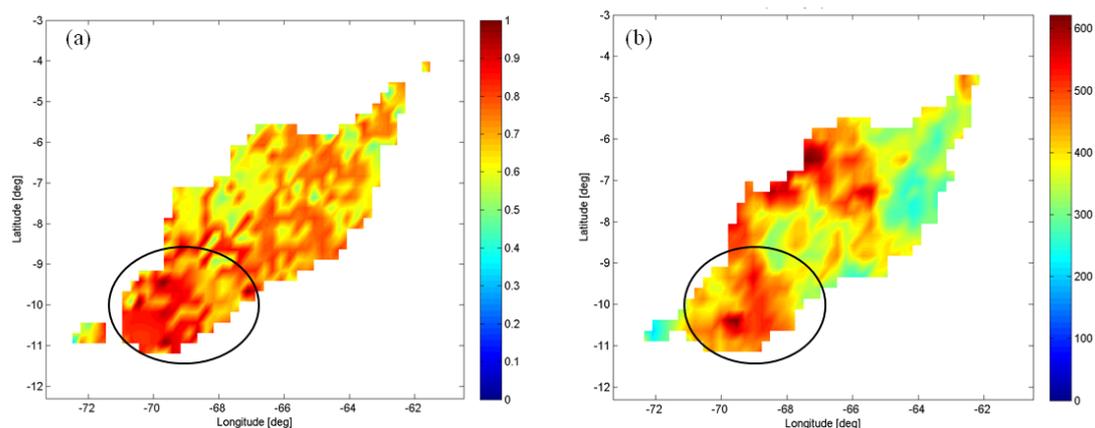


Figura 5. Distribuição espacial em dezembro de 2009: (a) EVI e (b) precipitação.

Através da Figura 5, observa-se que, para o mês de dezembro de 2009, os maiores valores de EVI (entre 0,80 e 1), concentraram-se na região sudoeste da bacia (Figura 5a), região essa que apresentou os maiores valores de precipitação (entre 500 e 600 mm mensais - Figura 5b). Na porção central da bacia, o EVI variou entre 0,70 e 0,80 e a precipitação mensal variou

entre ~300 mm e ~500 mm, conforme a região considerada. Já a nordeste da bacia, o EVI foi de cerca de 0,60, com uma chuva mensal da ordem de ~300 mm na sua maior parte. Observa-se, dessa forma, que na região sudoeste da bacia, onde houve uma concentração maior de chuvas, houve também um elevado EVI, o mesmo não ocorrendo com a região norte da bacia.

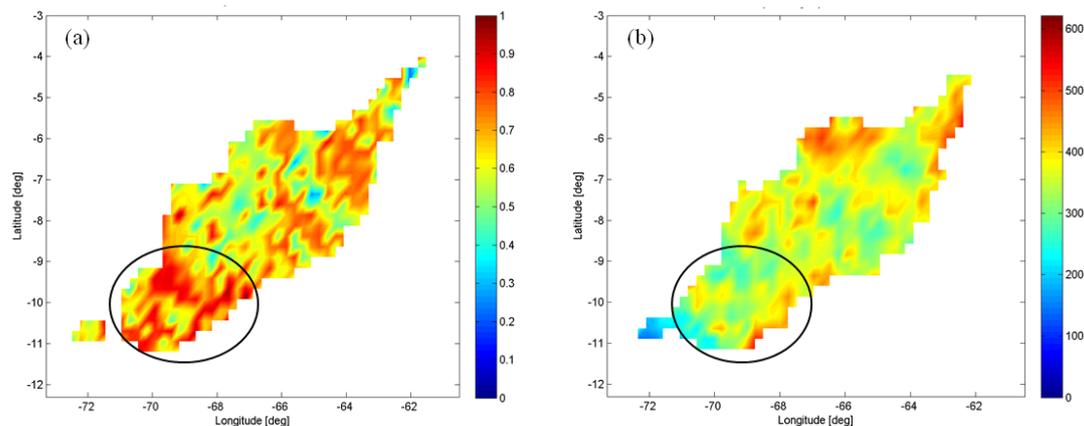


Figura 6. Distribuição espacial em janeiro de 2010: (a) EVI e (b) precipitação (mm).

Para o mês de janeiro de 2010, também considerado como um mês chuvoso na região, observa-se que as chuvas apresentaram pouca variabilidade espacial de sudoeste para nordeste, apresentando valores na faixa de 200-450 mm em um grande faixa da bacia. No entanto, os valores de EVI apresentaram uma variabilidade espacial similar à do mês de dezembro/2009 – ou seja, maiores valores de EVI a sudoeste da bacia (entre 0,8 e 1), menores valores na porção central (0,4 a 0,7) e voltando a crescer a nordeste (predominância de valores da ordem de 0,7).

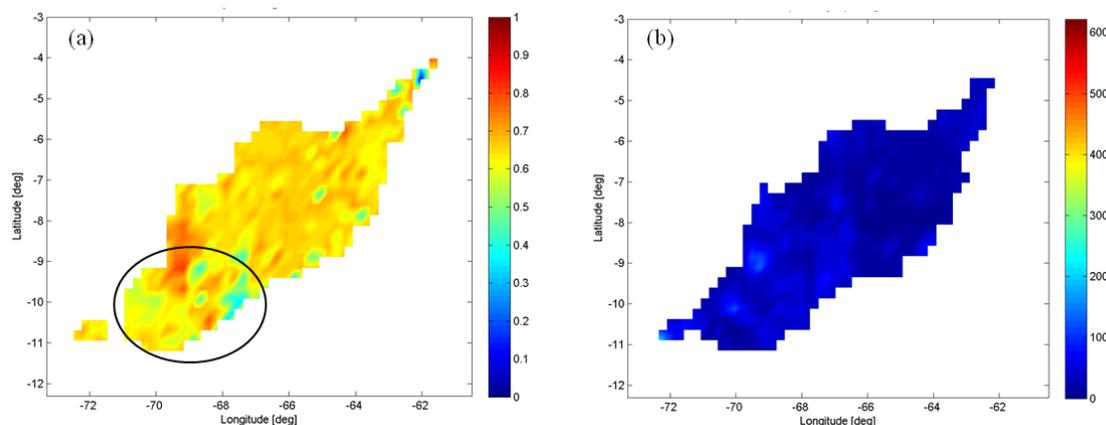


Figura 7. Distribuição espacial em agosto de 2010: (a) EVI e (b) precipitação (mm).

Para o mês de agosto de 2010, período considerado com sendo o auge da seca na região, observa-se uma baixa variabilidade espacial tanto dos índices de chuva quanto dos índices de vegetação. Em geral, a chuva na bacia foi da ordem de 0 a 150 mm e o EVI oscilou na faixa de 0,60 e 0,75, aparecendo pontualmente dados em torno de 0,40 a sudoeste da bacia (em preto). Observa-se dessa forma que os dados espacializados confirmam os resultados apresentados nos *boxplots* para o período seco, os quais mostram baixa variabilidade espacial do EVI. Para os demais meses de seca (não mostrado), os dados foram similares aos do mês de agosto do mesmo ano.

A análise da variabilidade regional do EVI na bacia pode explicar as medianas obtidas nos *boxplots*. Ou seja, no período chuvoso, o EVI variou entre um mínimo de cerca de 0,4 a

um máximo de 1, resultando, em um valor médio da ordem de 0,7 (conforme mostrado no *boxplot*). No entanto, no período seco, o valor de EVI da ordem de 0,7 foi amplamente distribuído ao longo da bacia. Em um estudo desenvolvido na floresta Amazônica por Lee et al. (2013) os resultados mostraram que para a região central a fluorescência e o MODIS-EVI diminuíram significativamente durante a estação seca se comparada com a estação chuvosa, enquanto que o índice de área foliar (LAI) do sensor MODIS aumentou na estação seca. Santos et al. (2009) analisaram o EVI para o Pantanal entre 2000 e 2008 e observaram que os maiores índices ocorrem entre outubro e abril, com pico no mês de janeiro. A partir do mês de abril, o EVI começa a decrescer em função da diminuição da precipitação. Na bacia do Purus, no entanto, no período chuvoso ocorrem regiões onde o EVI apresentou valores menores do que no período seco. Esse comportamento pode ser explicado por variações no armazenamento de água no solo em diferentes regiões da bacia ou por problemas intrínsecos ao uso dos índices de vegetação, conforme discutido acima. Apesar das incertezas, observa-se que a análise da variabilidade regional do EVI dentro da bacia pode ser explicada, em parte, a partir da análise da precipitação.

4. Conclusões

A partir desse trabalho pode-se concluir que:

- o uso da mediana dos valores de precipitação mensal e EVI para uma bacia com considerável variabilidade espacial das chuvas não permitiu uma boa avaliação da relação entre EVI e precipitação no auge dos períodos seco e chuvoso;
- por outro lado, uma discretização espacial da bacia em termos de distribuição das chuvas permitiu uma melhor correlação entre essas duas variáveis;
- em geral, os maiores valores de EVI ocorrem no período chuvoso para as regiões de maior precipitação na bacia. Já, ao contrário do que seria esperado, os menores valores de EVI também ocorreram no período chuvoso, em algumas regiões esparsas da bacia. Assim sendo, é necessária uma melhor compreensão da distribuição das variáveis ambientais nessa bacia – p.e. tipo de solo, vegetação, profundidade do lençol freático – para um melhor entendimento e análise dos resultados aqui obtidos.

Agradecimentos

A CAPES pela bolsa de estudo concedida e ao INPE pelo apoio científico.

Referências Bibliográficas

Anderson, L. O.; Malhi, Y.; Aragão, L. E. O. C.; Ladle, R.; Arai, E.; Barbier, N.; Phillips, O. Remote sensing detection of droughts in Amazonian forest canopies. *New Phytol.*, v. 187, p. 733–750, 2010.

Barrera, D. F. Precipitation estimation with the hydro-estimator technique: its validation against raingage observations. In: VII CONGRESSO DA IAHS, Foz do Iguaçu, 3-9 de abril de 2005.

Bonan, G. B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science* (New York, N.Y.), v. 320(5882), p. 1444–1449. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/science.1155121>>. Acesso em: 24.abr. 2014.

Brasil. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra.** Folha SC. 19 Rio Branco. Rio de Janeiro: Divisão de publicação, v.12, 1976. 464p.

Chen, D.; Huang, J.; Jackson, T.J. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands. *Remote Sens Environ*, v. 98, p. 225–236, 2005.

Epiphanyo, J.C.N.; Huete, A.R. Dependence of NDVI and SAVI on sun/sensor geometry and its effect on fAPAR relationships in Alfalfa. *Remote Sens Environ*, v. 51, p. 351-360, 1995.

Galvão, L.S.; Roberts, D.A.; Formaggio, A.R.; Numata, I.; Breunig, F.M. View angle effects on the discrimination of soybean varieties and on the relationships between vegetation indices and yield using off-nadir Hyperion data. **Remote Sens Environ**, v. 113, p. 846-856, 2009.

Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.195-213, 2002.

Huete, A.R.; Didan, K.; Shimabukuro, Y.E.; Ratana, P.; Saleska, S.R.; Hutya, L.R.; Yang, W.; Nemani, R.R.; Myneni, R. Amazon forests green-up with sunlight in dry season. **Geophys. Res. Lett.**, v. 33, L06405, 2006.

Kummerow, C.; Barnes, W.; Kozu, T.; Shiue, J.; Simpson, J. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. **Journal of Atmospheric and Ocean Technology**, v. 15, p. 809–817, 1998.

Lee J. E, et al. Forest productivity and water stress in Amazonia: Observations from GOSAT chlorophyll fluorescence. **Proc Biol Sci**, v. 280(1761), p. 1-9, 2013.

Morton, D.; Nagol, J.; Carabajal, C.; Rosette, J.; Palace, M.; Cook, B.; Vermote, E.; Harding, D.; North, P. Amazon forests maintain consistent canopy structure and greenness during the dry season. **Nature**, v. 506(7487), p. 221-224, 2014.

Phillips, O. L., van der Heijden, G., Lewis, S. L., López-González, G., Aragão, L. E. O. C., Lloyd, J., ... Vilanova, E. Drought-mortality relationships for tropical forests. **New Phytologist**, v. 187(3), p. 631–646, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03359.x>>. Acesso em: 24.abr. 2014.

Saleska, S.R.; Didan, K.; Huete, A.R.; da Rocha, H.R. Amazon forests green-up during 2005 drought. **Science**, v- 318, n. 612, 2007.

Samanta, A.; Ganguly, S.; Hashimoto, H.; Devadiga, S.; Vermote, E.; Knyazikhin, Y.; Nemani, R. R.; Myneni, R. B. . Amazon forests did not green-up during the 2005 drought. **Geophys. Res. Lett.**, 37, L05401, 2010.

Santos, J. S.; Pereira, G.; Shimabukuro, Y. E.; Rudorff, B. F. T. Identificação de áreas alagadas no bioma Pantanal – Brasil – utilizando dados multitemporais Terra/ MODIS. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2. (GEOPANTANAL), 2009. Corumbá. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2009.

Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., ... Midgley, P. M.. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **IPCC, AR5**, p.1535, 2013.

Restrepo-Coupe, N., da Rocha, H. R., Hutya, L. R., da Araujo, A. C., Borma, L. S., Christoffersen, B., ... Saleska, S. R. What drives the seasonality of photosynthesis across the Amazon basin? A cross-site analysis of eddy flux tower measurements from the Brasil flux network. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 182–183, p. 128–144, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.04.031>>. Acesso em: 24.abr. 2014.

Trancoso, R.; Carneiro Filho, A.; Ferreira, D. A. C.; Nogueira, S. P. Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta para o diagnóstico e gestão de macrobacias no arco do desmatamento na Amazônia. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 de abril, 2005. **Anais...** INPE, p. 2405-2412. 2005.

Zhao, M.; Running, S.W. Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. **Science**, v. 329, p. 940–943, 2010.