

Geotecnologias aplicadas no mapeamento de áreas inundáveis na Baixada Maranhense

Jonas Jansen Mendes¹
Fabrício Brito Silva¹
Ana Talita Freire Galvão¹
Celso Henrique Leite Silva Júnior^{2,3}

¹Laboratório de Geoprocessamento, Universidade Ceuma–UNICEUMA
Rua Josué Montello, 1, Renascença II, 65075-120, São Luís -MA
jjonasjansenn@hotmail.com;fabricioagro@gmail.com;talita.freire22@gmail.com

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
celsohlsj@gmail.com

³Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC Minas
Av. Trinta e Um de Março, nº 1020, Dom Cabral - 30535-000 - Belo Horizonte - MG, Brasil
celsohlsj@gmail.com

Abstract. This paper proposes a mapping of the flooded area of Baixada Maranhense, using geotechnology. The study area has a complex result of physical, biotic and human system, despite the acknowledged importance has a gap in the spatial location of wetlands and influencing the management and decision-making in the region. The methodology was based on the acquisition and processing of MODIS data in a time series of 2000-2013, determined by digital image processing techniques and visual interpretation. The validation of the data was conducted from weather stations arranged by INMET and visits to the field. The geotechnology proved very effective, contributing to the spatial distribution of wetlands in the study area, where the weather stations through statistical analyzes and maps generated an effective correlation around 89.9% is resulted with the final products.

Palavras-chave: wetlands, geotechnology, Baixada Maranhense, áreas inundáveis, geotecnologias.

1. Introdução

As áreas alagadas fornecem serviços ecológicos fundamentais para as espécies de fauna e flora e para o bem-estar da população humana. Além de regular o regime hídrico de vastas regiões, funcionam como fonte de biodiversidade, auxiliando na evolução e no desenvolvimento de espécies aquáticas, terrestres e palustres, além de cumprir com o papel relevante de caráter econômico, cultural e recreativo.

A Baixada Maranhense possui essas características e apresenta um complexo mosaico de paisagens, oriundos da interação de atributos físicos (geologia, geomorfologia, pedologia, hidrografia e clima), bióticos (fauna e flora) e humanos.

Essa região é uma área internacionalmente estratégica para a conservação biológica das zonas úmidas do Planeta. Por isso, é um dos 11 sítios brasileiros que integram a Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional conhecida como Convenção de Ramsar. Esse tratado foi assinado por 156 países e compõe a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) da Organização das Nações Unidas (Spinelli; Soares, 2011, p.6).

Apesar dessa reconhecida importância, aspectos ambientais importantes como a área total alagada nos períodos chuvoso e seco, bem como as áreas alagáveis de cada município que compõe essa microrregião ainda são desconhecidos. A ausência dessas informações compromete o aprofundamento no conhecimento das particularidades ambientais dessa região, assim como compromete a gestão pública eficiente e sustentável dos recursos ambientais e econômicos. Além desses, aspectos da dimensão humana como a dinâmica das

atividades sócio produtivas, dependentes do ciclo de alagamento, carecem de instrumentos de planejamento que proporcione o desenvolvimento sustentável da região.

As Geotecnologias como as imagens de satélites têm proporcionado o mapeamento dos recursos naturais, dos atributos ambientais físicos e biológicos, bem como tem contribuído para compreensão de processos ecológicos frutos das interações desses atributos em ampla escala. (Silva et al, 2013a; Silva et al, 2011).

De acordo com Figueiredo (2003), o mapeamento de áreas inundáveis representa uma ferramenta importante para direcionamento da expansão urbana e a ordenação do uso e ocupação do solo, pois dispendo-se do zoneamento dessas áreas, pode-se delimitá-las e designá-las para usos adequados, a utilização de produtos de sensoriamento remoto permite um monitoramento rápido e de baixo custo para a análise (Okida e Veneziani, 1998).

A pesquisa tem como objetivo o mapeamento de áreas alagadas, na região da Baixada Maranhense, a partir dos dados do sensor MODIS, utilizando estações meteorológicas e visitas de campo como validação dos mapas gerados.

2. Metodologia do trabalho

2.1. Área de estudo

A área estudada abrangerá todos os municípios que compõem a micro região da Baixada Maranhense (Figura 1). Sendo esses, Anajatuba, Arari, Bela Vista do Maranhão, Cajari, Conceição do Lago-Açu, Igarapé do Meio, Matinha, Monção, Olinda Nova do Maranhão, Palmeirândia, Pedro do Rosário, Penalva, Peri-Mirim, Pinheiro, Presidente Sarney, Santa Helena, São Bento, São João Batista, São Vicente Ferrer, Viana e Vitória do Mearim.

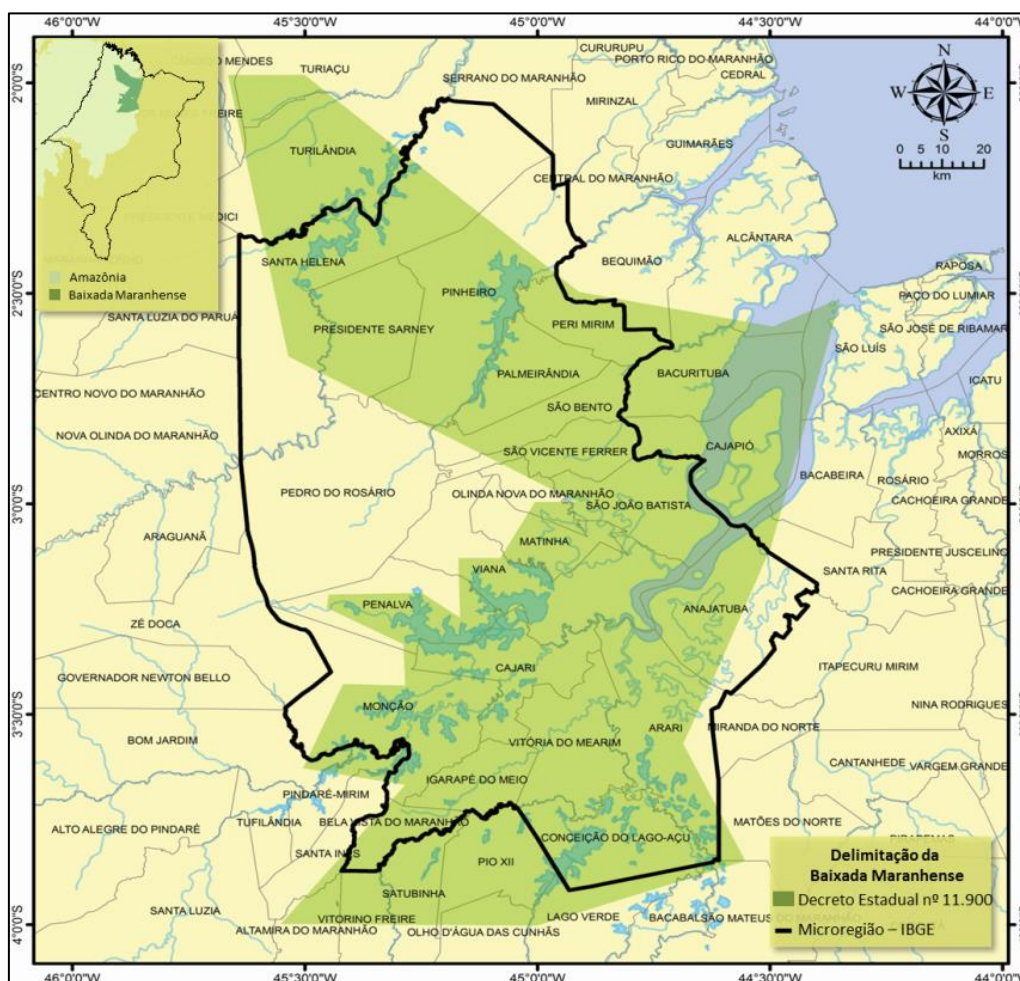


Figura 1. Localização da Baixada Maranhense, segundo IBGE.

2.2 Fluxograma Metodológico

Um panorama metodológico é apresentado abaixo (Figura 2), indicando os dados envolvidos na pesquisa e produtos gerados a partir dos elementos utilizados.

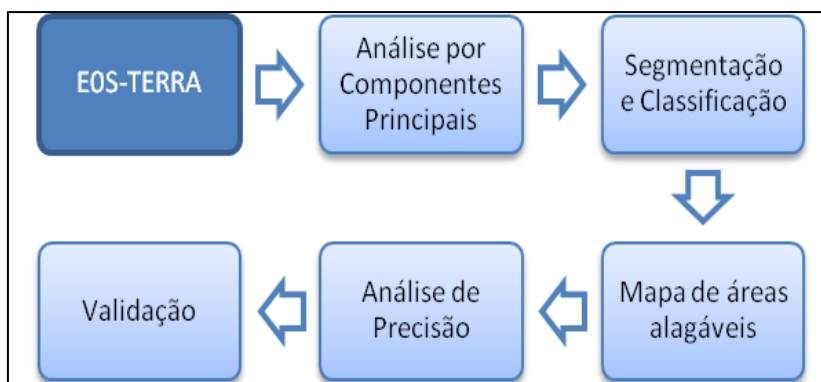


Figura 2. Fluxograma de resumo metodológico.

2.3 Dados Utilizados

Os dados utilizados provêm do satélite *Earth Observing System* (EOS) que é um conjunto de satélites que fazem parte do programa de longa duração de observação da superfície terrestre da agência espacial americana (NASA) denominado *Earth Science Enterprises* (ESE). O objetivo principal da ESE é determinar como a Terra está mudando e quais as consequências para a vida neste planeta, desenvolvendo um entendimento de seu funcionamento como um sistema único e interligado. Estes dados adquiridos em todo o planeta permitem um monitoramento de longa duração da superfície, necessários para o entendimento de mudanças globais (Justice et al., 2002a).

Neste satélite, o sensor utilizado para o estudo é o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) é um dos cinco instrumentos a bordo do satélite EOS-TERRA e foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para o conhecimento de diferentes necessidades observacionais e para oferecer uma cobertura global quase diariamente (Justice, 2002 apud Anderson et al., 2003, p.6).

As 36 bandas espectrais deste sensor estão localizadas em função de um comprimento de onda, cuidadosamente escolhido para a observação de feições das propriedades das nuvens, dinâmica e as propriedades da vegetação na cobertura terrestre, e a temperatura da superfície dos oceanos no mundo. Estas especificações têm como objetivo evitar as bandas de absorção atmosférica, além de outras feições (linha de Fraunhofer), durante a observação e monitoramento da superfície terrestre (Salomonson e Barker, 1992, apud Anderson et al., 2003, p.6). Essas características favorecem os estudos desenvolvidos na Baixada Maranhense devido, principalmente, a intensa presença de nuvens.

Essas imagens são produzidas a cada 8 dias em uma resolução espacial de 250m, foram integradas pela Análise por Componentes Principais de acordo com a metodologia proposta por Zanni (2013, p.40). Essa metodologia utiliza uma série temporal de imagens para produzir uma imagem resultante que permite a representação da máxima variabilidade espacial da superfície terrestre, minimizando fontes de erro provocadas, por exemplo, pela presença de nuvens.

2.4 Processamento Digital das Imagens

O Processamento Digital de Imagens (PDI) envolveu inicialmente a aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP) utilizando uma série temporal de imagens MODIS correspondentes à região do infravermelho próximo. Esta técnica possibilita a diminuição da

redundância de valores observados em uma série temporal de imagens digitais, produzindo uma imagem (Componente 1) que representa a máxima variabilidade espacial (Bouroche; Saporta, 1982).

Esse tipo de processamento pode ser resumido em três passos Richards (1993): (a) derivação da matriz de correlação ou de variância covariância, (b) cálculo dos autovetores e autovalores, e (c) transformação linear do conjunto de dados. Esta transformação tem como base a rotação do espaço de atributos na direção dos autovetores com o intuito de tornar ortogonal o conjunto de dados, promovendo a união das informações de maior correlação nas primeiras componentes (Mather, 1999).

Em seguida, utilizando a primeira componente do conjunto de dados produzidos a partir da ACP foi aplicado a técnica de fatiamento, onde um intervalo é definido e representado através de uma cor padrão, onde é verificada a sua correspondência com o fenômeno desejado, neste caso, áreas alagadas.

2.5 Validação

Para validar o mapa produzido foi realizada uma análise estatística de regressão entre os dados correspondentes à áreas alagadas e precipitação anual medida por duas estações meteorológicas localizadas nos municípios de Zé Doca e Bacabal. Estes municípios estão localizados próximos à Baixada Maranhense. Foram utilizadas estas estações devido a inexistência de estações meteorológicas na região estudada.

Além dessas análises, no ano de 2013 foi realizada uma visita em campo onde foram georreferenciados 3 pontos (Figura 3) para avaliação da correspondência de alagamento identificado no mapa de áreas alagadas produzido.

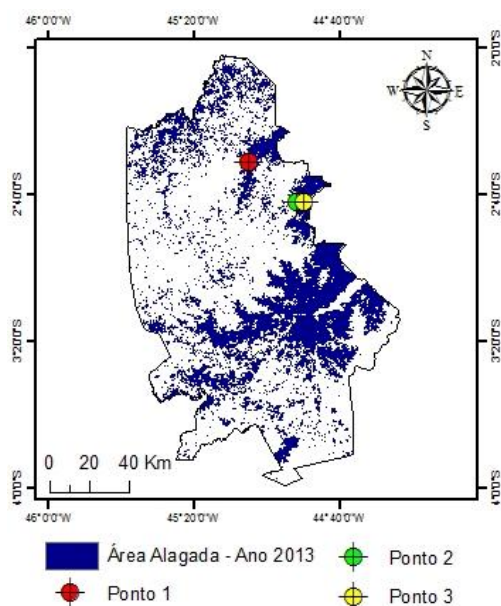


Figura 3. Localização dos pontos de validação.

3. Resultados e Discussão

O período de monitoramento correspondeu de 2000 à 2013, sendo gerados mapas anuais, onde foi quantificado a área total alagada na Baixada Maranhense. Nesse período os anos de 2009 e 2012 foram identificados com a maior e menor área alagada, respectivamente (Figura 4).

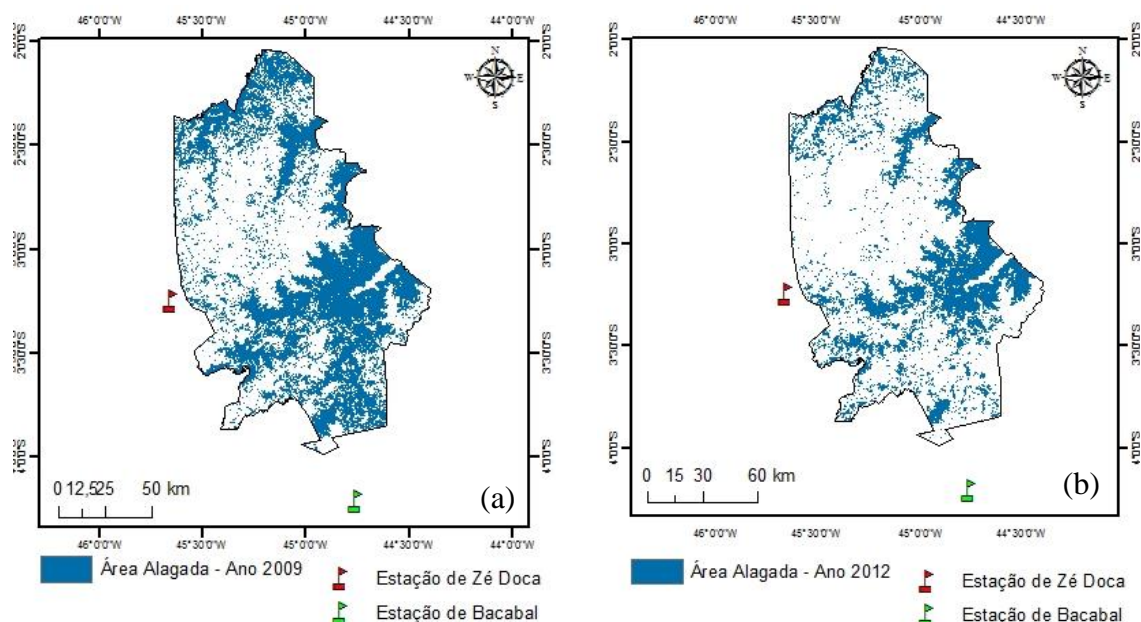


Figura 4. Mapas de áreas alagadas nos anos de (a) 2009 e (b) 2012.

A espacialização dos dados possibilitou a visualização do ano de ocorrência das maiores cheias e estiagem na região, assim como a identificação local da incidência de maior fluxo de lâmina d'água prevendo subsidio a futuras pesquisas.

Após a espacialização das áreas, utilizou-se os dados provenientes das estações pluviométricas mais próximas à baixada maranhense, provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, registrando a ocorrência de duas estações próximas a área de estudo situadas nos município de Zé Doca e Bacabal (Figura 5).

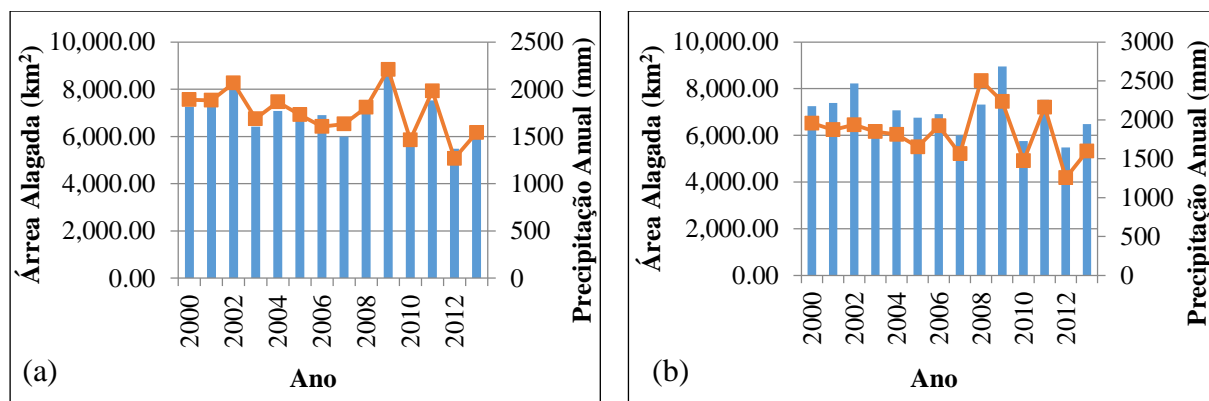


Figura 5. Comparação entre a área alagada total na Baixada Maranhense e a precipitação anual medida pelas estações meteorológicas de (a) Zé Doca e (b) Bacabal.

De acordo com os gráficos acima é possível perceber que os anos de maior valores em área alagada foram 2002 e 2009. A precipitação anual observada pela estação meteorológica de Zé Doca representou de forma mais aproximada a variação anual da área alagada na Baixada Maranhense. Dessa forma, em Zé Doca foram igualmente registrados os maiores valores de precipitação em 2002 e 2009.

Avaliando a concordância entre os dados pluviométricos medidos pelas estações e a área alagada mapeada através da análise de regressão (Figura 6) foi possível perceber que a estação de Zé Doca apresentou maior correlação com a área alagada mapeada.

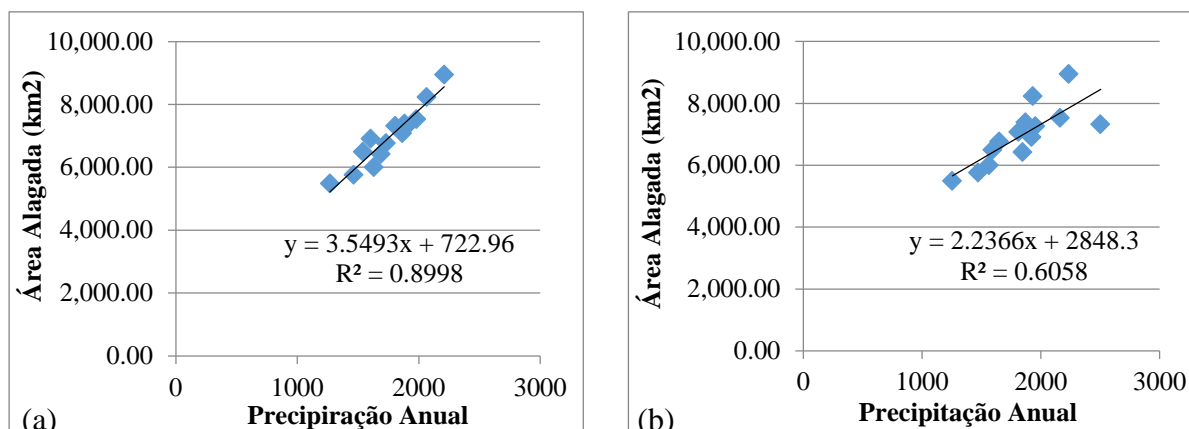


Figura 6. Coeficiente de determinação entre a precipitação anual e área alagada medida pelas estações de (a) Zé Doca. Gráfico e (b) Bacabal.

A precipitação observada na estação meteorológica de Zé Doca apresentou a maior correlação com a área alagada mapeada ($r = 89,98$). Essa variação pode ser explicada devido ao fato de que o município de Zé Doca está geograficamente localizado em uma região mais próxima à Baixada Maranhense.

As visitas em campo realizadas no ano de 2013 mostraram a correspondência dos mapeados com os dados observados (Figura 8).



Figura 8. Pontos visitados em campo para confirmação de áreas alagadas.

A validação dos dados em campo mostrou que nos 3 pontos mapeados como áreas alagadas foram encontrados ambientes com áreas inundadas.

3. Considerações finais

Apesar da relevância ecológica da região correspondente à Baixada Maranhense, a inexistência de um mapa de áreas alagadas é um fato que impede o planejamento ambiental adequado que alie as atividades econômicas, potencialidades ambientais e necessidade de preservação da biodiversidade.

Neste trabalho foram mapeadas as áreas alagadas no período de 2000 à 2013 com uma correspondência de 89% em relação aos dados de precipitação anual medidas pela estação meteorológica de Zé Doca, próxima à Baixada Maranhense.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo a Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA.

Referências Bibliográficas

ANDERSON, L. O., LATORRE, M. L., SHIMABUKURO, Y.E., ARAI, E., **Sensor MODIS: uma abordagem geral**. São José dos Campos: INPE. 2003.

BOROUCHE, J. M., SAPORTA. G. **Análise de dados**. Zahar Editores. Rio de Janeiro, 1982. 116 p.

FIGUEIREDO, A. P. S. Determinação da mancha de inundação do município de Itajubá na enchente de janeiro/2000. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2003. Artigos, p. 1791-1794. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00017-X. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.14.15.59/doc/14_193.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2014.

JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J.R.G.; VERMOTE, E.F., MASUOKA, E., WOLFE, R.E., SALEOUS, N., ROY, D.P., MORISETTE, J.T. **An overview of MODIS Land data processing and product status**. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, n.1-2, Nov. p 3 –15, 2002.

MATHER, P.M. **Computer processing of remotely sensed images**. New York: John Wiley e Sons, Inc., 1999. 292 p.

PETERNELLI, L. **A. Regressão Linear e Correlação**. Disponível em: <<http://www.dpi.ufv.br/~peterneli/inf162.www.16032004/materiais/CAPITULO9.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2014.

OKIDA, R.; VENEZIANI, P. O Sensoriamento Remoto como Alternativa no Estudo de Áreas de Inundação: um exemplo na região de Caraguatatuba (SP). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 9., 1998, Santos. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1998. Artigos, p. 425-429. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00015-3. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.09.15.45/doc/1_79p.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2014.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis - An Introduction**. 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin. 1993. 281p.

SALOMONDON, V.V.; BARKER, J.L. EOS Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer: phase C/D status and comments on calibration and georeferencing approaches. In: **Annual AAS Guidance and Control Conference**, 15., KEYSTONE, CO, Feb. 8-12, 1992. Proceedings. Keystone: AAS, 1992. Paper AAS 92-004.

SILVA, F. B., SHIMABUKURO, Y. E., ARAGÃO, L. E., ANDERSON, L. O., PEREIRA, G., CARDOZO, F., e ARAI, E. (2013a). **Large-scale heterogeneity of Amazonian phenology revealed from 26-year long AVHRR/NDVI time-series**. *Environmental Research Letters*, 8(2), 024011.

SILVA, F. B., BREUNING, F. M., PEREIRA, G., CARDOZO, F., SHIMABUKURO, Y. E., e ARAGÃO, L. E. (2011). **Estudo da representatividade do NDVI proveniente do sensor AVHRR/NOAA em relação aos padrões fenológicos da ecorregião Tapajós-Xingu**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15 (SBSR), 1779-1786.

SPINELLI, F.F; SOARES, R. A.A. **Cooperação internacional na área ambiental: uma análise comparativa entre Brasil e Canadá**. São Paulo: Dfdf, 2011. 25 p.

ZANI, H. **Deteção e caracterização do megaleque viruá (RR) com dados multisensores e geológicos: Influência nos padrões atuais de vegetação**. Tese de Doutorado. São José dos Campos, INPE, 2013.