

Dinâmica da cobertura florestal em diferentes escalas temporais para ambientes sazonalmente inundados de várzea na Amazônia

Bianca Darski ^{1,2}
André Bresighello Beig ²
Thiago Sanna Freire Silva ²

¹ Instituto de Biociências, UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Programa de Pós-graduação em Ecologia, Porto Alegre - Rio Grande do Sul, Brasil
biadarski@gmail.com

² Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP - Univ Estadual Paulista, Departamento de Geografia, Ecosystem Dynamics Observatory, Rio Claro, São Paulo, Brasil
beig206@hotmail.com, tsfsilva@rc.unesp.br

Abstract: Changes in *várzea* floodplain cover (flooded seasonally by "whitewaters") can occur due to natural processes, such as erosion and sedimentation by flood, or by anthropogenic activities. Studies about floodplain land cover changes over time may be crucial to explain patterns of distribution and species diversity in these environments. However, the time scales most appropriate to detect such changes still unknown. In this study, we detected processes of deforestation and disturbance using the CLASlite algorithm, which was developed specifically to mapping of tropical forests. We evaluated forest cover changes in a floodplain area in Central Amazonia, based on a time series of Landsat 5/TM images, at two time scales: long (1989-2011) and short (1998-2003). We identified higher changes in the long time series than in the short series, with almost three times more forest changes detected in the long series. We observed that changes in forest cover over time in floodplain were, in general, more associated with disturbance than deforestation. No spatial pattern of forest change in both time series was found. Given that the CLASlite algorithm was developed to tropical forests, but not specifically for seasonally flooded forests, it is possible that the elimination of areas with water from the analysis is probably an important factor to consider when quantifying forest cover changes in floodplains.

Palavras-chave: disturbance, deforestation, hydrogeomorphology, desmatamento, distúrbio, hidrogeomorfologia.

1. Introdução

Na Bacia Amazônica, além da grande diversidade de espécies de fauna e flora, há uma ampla variabilidade de habitats, como florestas permanentemente ou sazonalmente inundadas, florestas não inundáveis, campinas, campinaranas e lagos (Junk et al. 2011). Os ambientes inundáveis na Amazônia possuem uma dinâmica temporal particular devido as suas características hidrogeomorfológicas, e a cada estação de cheia podem ocorrer mudanças nas características da paisagem devido ao processo de erosão e sedimentação mediado pela inundação (Wittmann et al. 2004; Peixoto et al. 2009). Esta dinâmica cria e mantém a heterogeneidade na paisagem destes ambientes, promovendo a existência de mosaicos de vegetação em diferentes estágios sucessionais (Salo et al. 1986, Foster 1990, Worbes et al. 1992, Wittmann et al. 2010).

Os ambientes inundáveis por águas "brancas" na Amazônia são chamados de várzeas. A cor da água dos rios é um indicativo da quantidade de sedimento presente na água; as águas "claras" e "pretas" contêm baixa carga de sedimento, ao contrário das águas "brancas", que possuem alta carga de sedimento (Sioli 1956). Devido a esta elevada carga de sedimentos, os ambientes de várzea são considerados os ambientes inundáveis mais dinâmicos da Amazônia (Junk et al. 2011).

Diversos estudos descrevem o padrão de distribuição de espécies de fauna e flora e as suas adaptações para sobreviverem em ambientes inundáveis na Amazônia (e.g., Kubitzki e

Ziburski 1994, Junk et al. 1997, Parolin et al. 2004, Parolin et al. 2013, Luize et al. 2015). Entretanto, devido a dificuldades logísticas para acessar estes ambientes, há poucos estudos com réplicas temporais. Além disso, dada a dinâmica gerada pelo processo de sedimentação e erosão pela água, estudos focados na variação de características de ambientes inundáveis ao longo do tempo podem ser fundamentais para explicar o padrão de distribuição e de diversidade de espécies nestes ambientes.

Uma forma de entender a dinâmica temporal de ambientes é através da análise de mudanças de características da paisagem em imagens de satélite de diferentes datas. São diversas as abordagens para detectar tais mudanças, sendo uma delas o uso do algoritmo *Carnegie Landsat Analysis System Lite* (CLASlite) (Asner et al. 2009). Este algoritmo, além de gerar mapas de cobertura florestal, identifica mudanças associadas a desmatamento e distúrbio, sendo desenvolvido especificamente para o mapeamento de florestas tropicais. A mudança na vegetação florestal associada ao desmatamento é definida como a conversão de uma área com floresta para uma área sem floresta. O distúrbio é definido como a mudança na vegetação florestal quando há uma diminuição difusa da copa de florestas. A origem da mudança (antrópica ou natural) não é identificada pelo algoritmo.

As mudanças na cobertura de floresta de várzea podem ser decorrentes de processos naturais, como a erosão e sedimentação pela inundação (Wittmann et al. 2004, Peixoto et al. 2009), ou por atividades antrópicas (Junk 2000, Ohly 2000). A mudança de origem natural mais facilmente registrada em ambientes inundáveis é a substituição de uma área com vegetação para uma área com água (Fragal et al. 2016). Não se sabe, no entanto, qual a escala temporal mais apropriada para detectar tais mudanças.

Neste trabalho tivemos como objetivo analisar as mudanças na cobertura de vegetação florestal em uma paisagem de várzea ao longo do tempo, utilizando o algoritmo CLASlite. Considerando o dinamismo natural do ambiente de várzea, analisamos as alterações em duas escalas temporais, uma abrangendo um período curto de tempo (intervalo de dois a três anos) e outra cobrindo um período mais longo (intervalo de aproximadamente dez anos).

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada na Amazônia Central, próxima à região da confluência entre o Rio Solimões e o Rio Purus, estado do Amazonas, Brasil (Figura 1). A área foco da análise de mudança possui uma área de 3000 km² e contém somente ambientes inundáveis, classificados previamente como áreas úmidas por Hess et al. (2015). A porção sul da área de estudo analisada compreende uma parte da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Piagaçu Purus (RDS PP) (Figura 1). A paisagem desta região é caracterizada pela presença de uma rede de lagos interiores que são drenados em direção ao Rio Purus, e as florestas de várzea ficam localizadas nos diques marginais e nas planícies próximas aos lagos interiores (Goulding et al. 2003).

Na Amazônia Central, a amplitude média do nível do rio é de aproximadamente 10m, e o período em que a vegetação fica submersa pode ser superior a 230 por ano (Junk 1989). Nesta região, o pico da cheia ocorre geralmente entre maio e junho, e o pico da seca entre outubro e novembro (Junk et al. 2011).

Por compreender uma parte da área da RDS PP, não há grandes áreas desmatadas na área de estudo. Entretanto, como a RDS PP foi criada em 2003 (de Deus et al. 2003), é possível que haja registro de áreas desmatadas em períodos anteriores à criação da reserva.

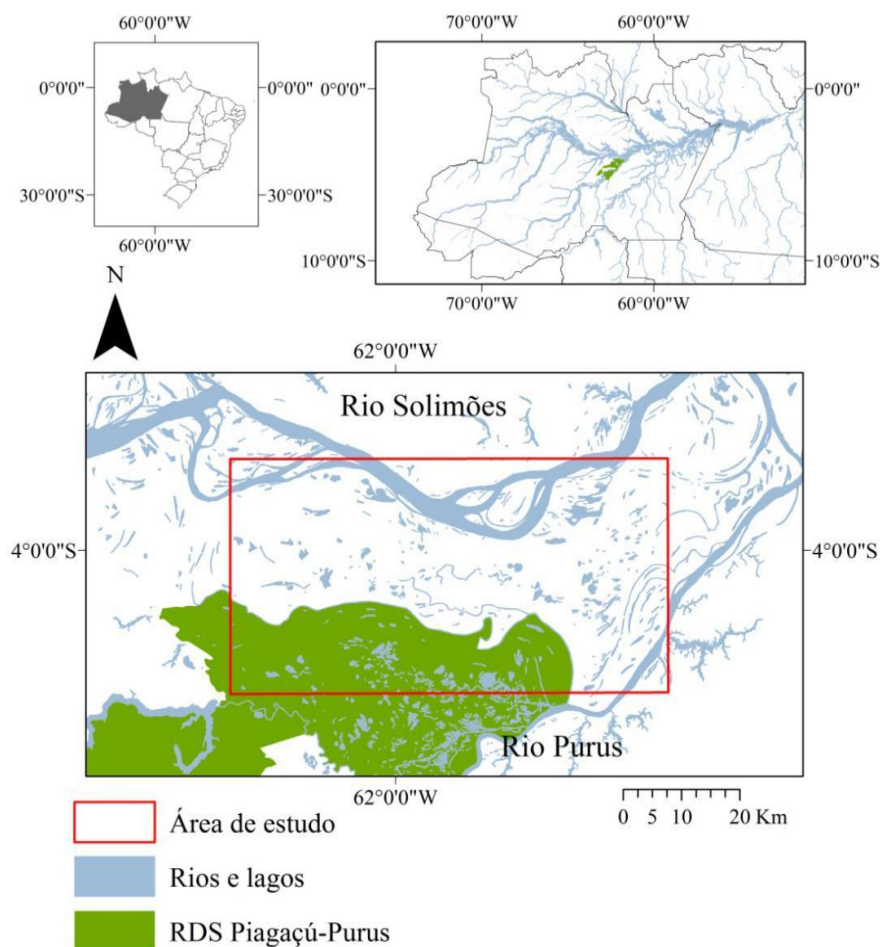


Figura 1. Localização da área analisada para mudanças na cobertura florestal, com destaque para a RDS PP e os principais rios e lagos da Amazônia Central.

2.2 Processamento das imagens de satélite

Para fazer a análise de mudança na cobertura florestal, adquirimos as imagens do *Landsat Surface Reflectance Climate Data Record* (CDR, <http://earthexplorer.usgs.gov/>), para a órbita/ponto 232/063. As imagens CDR são disponibilizadas com correções para interferência atmosférica (reflectância de superfície) e distorções geométricas, juntamente com máscaras de cobertura de nuvens e sombra de nuvens.

Fizemos a análise de mudanças para duas séries temporais. Denominamos de *série temporal longa* o conjunto de imagens adquiridas em 1989, 2001 e 2011 e *série temporal curta* o conjunto de imagens adquiridas em 1998, 2001 e 2003. Seleccionamos imagens que fossem representativas do período de seca, entre outubro e dezembro, sendo analisada somente uma imagem por ano (Tabela 1).

Para a análise de mudança, o algoritmo CLASlite, através de uma Análise de Mistura Espectral, decompõe os pixels de uma imagem com dados de reflectância em uma imagem fração de classes de cobertura de superfície (Asner et al. 2009). São identificadas três classes de cobertura: substrato, vegetação fotossintética, vegetação não-fotossintética. Cada pixel da imagem fração corresponde à porcentagem de cada classe, variando de 0 a 100%. A imagem fração gerada possui sete bandas: Banda 1) substrato (solo); Banda 2) vegetação fotossintética; Banda 3) vegetação não-fotossintética; Banda 4) Incerteza da fração de substrato; Banda 5) Incerteza da fração de vegetação fotossintética; Banda 6) Incerteza da fração de vegetação não fotossintética; Banda 7) Erro total. A partir das imagens fração e de

reflectância é feita a análise de mudança na vegetação florestal. Como o foco da análise de mudança é sobre a classe de vegetação florestal, as áreas classificadas como água e nuvem são excluídas da análise. A mudança de classe de vegetação fotossintética para vegetação-não fotossintética ou substrato é um indicativo de que houve desmatamento ou distúrbio.

Tabela 1. Data de aquisição das imagens utilizadas na análise de mudanças na cobertura florestal.

Ano	Dia e mês
1989	31 de dezembro
1998	05 de outubro
2001	14 de novembro
2003	22 de dezembro
2011	25 de outubro

Para cada série temporal, analisamos três imagens, cada uma representando um ano. Utilizamos a configuração padrão do algoritmo para o mapeamento automatizado de cobertura florestal. As imagens geradas pelo algoritmo com os resultados da mudança por distúrbio e desmatamento foram interpretadas da seguinte forma: 0 = mudança; 1 = mudança no primeiro ano; 2 = mudança no segundo ano. As mudanças identificadas para cada série temporal foram convertidas para km².

3. Resultados e Discussão

A análise de mudança na cobertura florestal indicou mais mudanças na série temporal longa (1989-2011) em comparação com a série temporal curta (1998-2003). Embora com pouca diferença, em ambas as séries a mudança associada a distúrbios foi maior do que a mudança por desmatamento (Figura 2), exceto para o período de 2001 a 2011.

Na série temporal longa, detectamos mudanças associadas a distúrbios para uma área de 48,67% km² (1,62% da área total analisada) e associadas a desmatamentos para uma área de 46,42 km² (1,55% da área total analisada). Já na série temporal curta, detectamos mudanças associadas a distúrbios para uma área de 17,46 km² (0,60% da área total analisada) e associada a desmatamentos para uma área de 16 km² (0,53% da área total analisada) (Figura 2).

Na série temporal longa não encontramos padrões claros de localização de mudança, tanto para distúrbio, quanto para desmatamento. Entretanto, notamos que próximo a uma área urbana (cidade de Codajás, na margem norte do Rio Solimões) foi detectada uma área de desmatamento possivelmente de origem antrópica (Figura 5). Na série temporal curta não encontramos também um padrão de localização de mudanças, porém, a maior área indicada com mudança por desmatamento está próxima a uma área encoberta por nuvens (Figura 5), sendo possivelmente um erro de identificação da análise. Durante a aplicação do algoritmo, a frequente ocorrência de nuvens foi o principal fator que dificultou a análise dos resultados.

Embora não tenhamos encontrado um padrão espacial de mudanças ao longo do tempo – como distúrbios gerados pelo processo de sedimentação e erosão próximo ao canal principal dos rios – foi possível perceber uma diminuição de áreas com mudanças por desmatamento a partir do ano de 2003, após a criação da RDS PP (Figura 2). Em um período de 10 anos (2001-2011), identificamos uma área de 30,19 km² associada a desmatamento, no entanto, somente entre 2001 e 2003 detectamos 14,71 km² de área associada a desmatamento. Nos oito anos restantes (2003-2011), a área com mudança por desmatamento foi de 15,48 km².

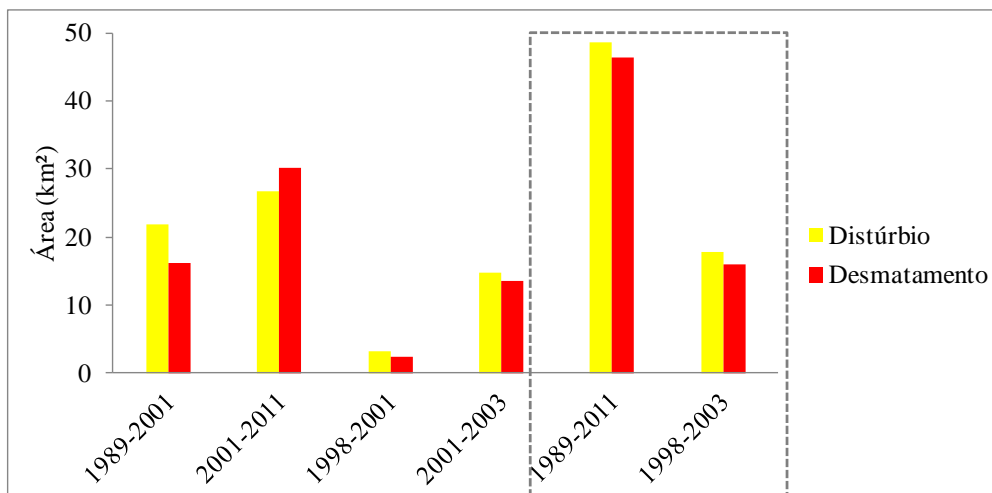


Figura 2. Mudanças associadas a desmatamento e distúrbio na cobertura florestal em uma área de várzea no baixo Rio Purus em diferentes séries temporais. Em destaque (retângulo tracejado) está a soma das mudanças para cada série por tipo de mudança.

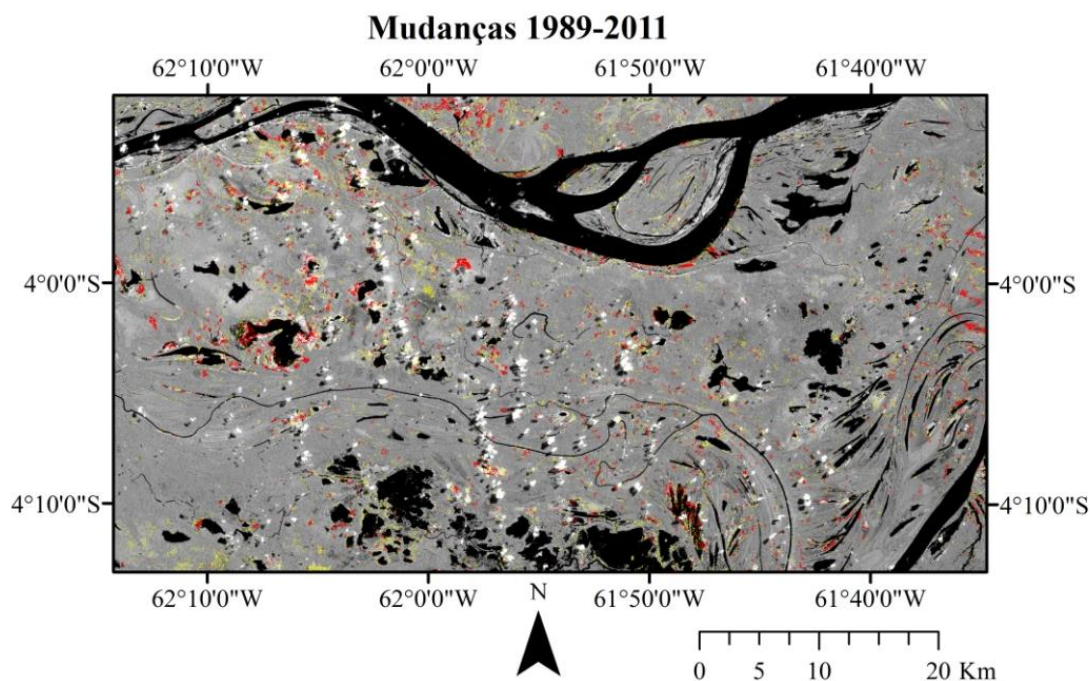


Figura 3. Mudanças associadas a distúrbio (áreas em amarelo) e desmatamento (áreas em vermelho) para a série temporal longa (1989, 2001, 2011) sobrepostas a uma imagem Landsat 5 TM (banda 4) de 25/10/2011.

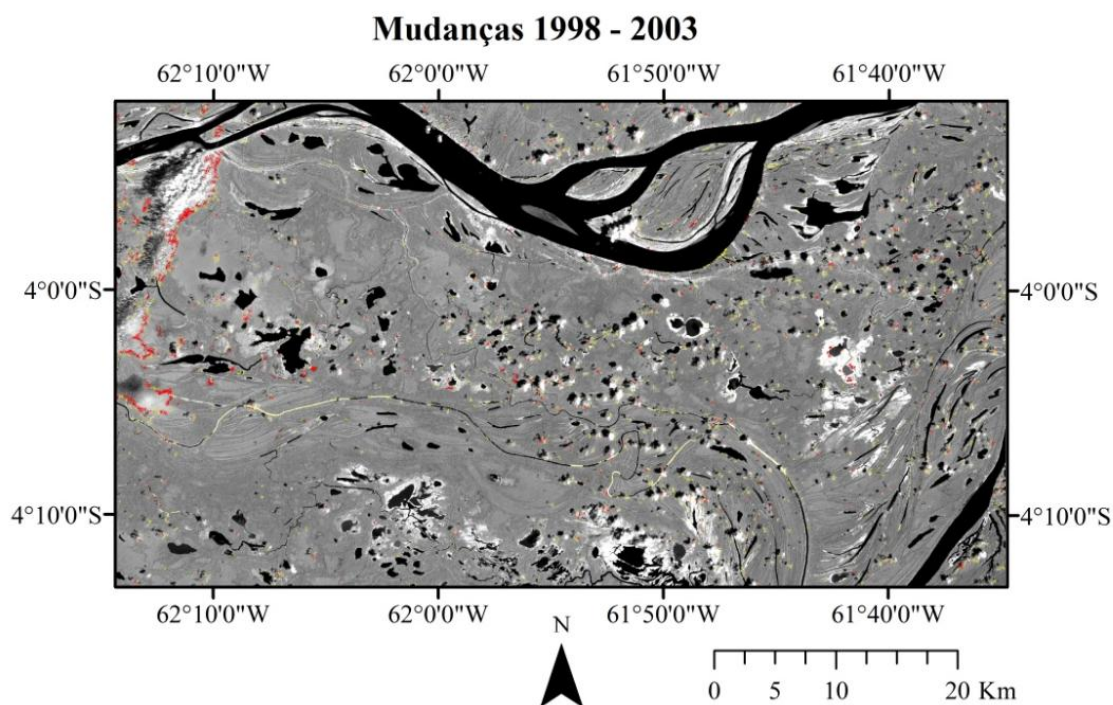


Figura 4. Mudanças associadas a distúrbio (áreas em amarelo) e desmatamento (áreas em vermelho) para a série temporal curta (1998, 2001, 2003) sobrepostas a uma imagem Landsat 5 TM (banda 4) de 22/12/2003.

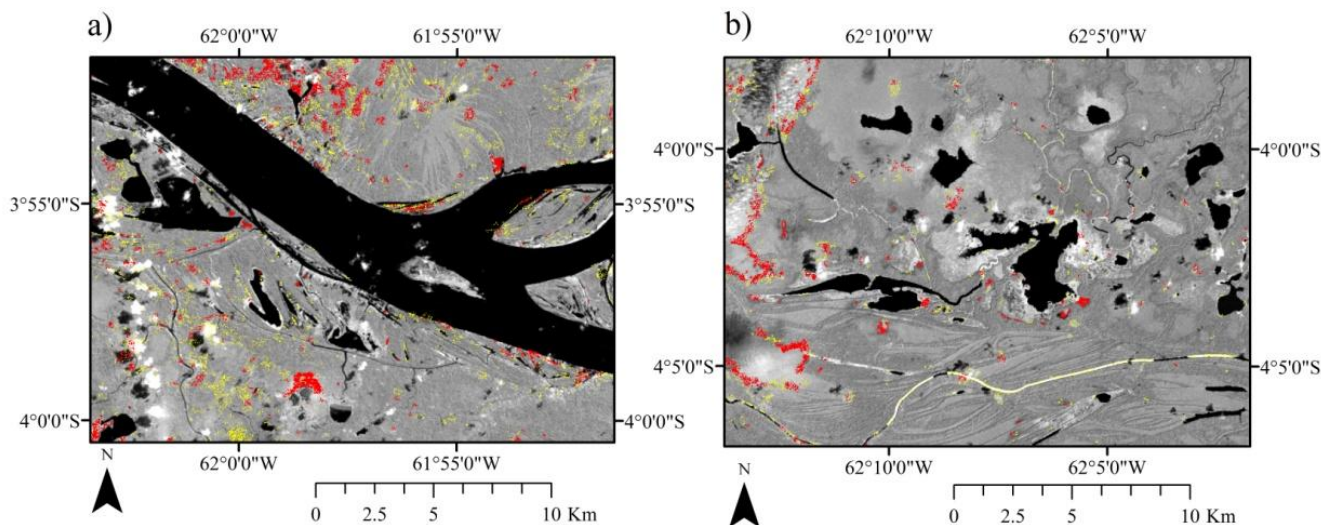


Figura 5. Destaque para áreas com mudanças associadas a distúrbio (áreas em amarelo) e desmatamento (áreas em vermelho). a) Sobreposição das mudanças detectadas com uma imagem Landsat 5 TM (banda 4) de 25/10/2011. b) Sobreposição das mudanças detectadas com uma imagem Landsat 5 TM (banda 4) de 22/12/2003.

4. Conclusões

Verificamos que as mudanças na cobertura vegetal ao longo do tempo em ambientes de várzea na Amazônia foram, de modo geral, mais associadas a distúrbios do que a desmatamentos. Com exceção da mudança detectada por desmatamento próxima a uma área urbana, as demais mudanças detectadas não revelaram o dinamismo natural presente na várzea, independentemente da série temporal analisada.

A série temporal com mais mudanças detectadas foi a série longa (1989-2011), com quase três vezes mais mudanças detectadas em relação à série curta (1998-2003). A escolha dos parâmetros utilizados para a identificação das classes de cobertura pode ser um fator importante no resultado da análise. Neste trabalho, utilizamos a configuração padrão do algoritmo CLASlite, mas dado que o algoritmo foi desenvolvido para áreas com florestas tropicais – e não necessariamente para áreas úmidas ou com influência de inundações – é possível que a eliminação de áreas com água da análise seja um fator importante a se considerar no momento da quantificação de mudanças em ambientes inundáveis.

Agradecimentos

B. Darski é bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo Programa de Pós-Graduação em Ecologia da UFRGS. A.B. Beig recebe bolsa PIBIC CNPQ (processo nº 118434/2016-0). T.S.F. Silva é bolsista de produtividade do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq 310144/2015-9).

Referências Bibliográficas

- Asner, G.P.; Knapp, D.E.; Balaji, A.; Páez-Acosta, G. Automated Mapping of Tropical Deforestation and Forest Degradation: CLASlite. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 3, 033543, 2009.
- de Deus C.P.; da Silveira, R.; Py-Daniel, L.H.R. **Piagaçu-Purus: Bases científicas para a criação de uma Reserva de Desenvolvimento Sustentável**. Tefé: Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, 2003.
- Fragal, E.H.; Silva, T.S.F.; Novo, E.M.L.M. Reconstructing historical forest cover change in the Lower Amazon floodplains using the LandTrendr algorithm. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 1, p. 13-24, 2016.
- Foster, R.B. Long-Term Change in the successional forest community of the Rio Manu Floodplain. In: Gentry, A.H. (Ed.). **Four Neotropical Rainforests**. New Haven: Yale University Press, 1990. p. 565-572.
- Goulding, M.; Barthem, R.; Ferreira, E. The Smithsonian atlas of the Amazon. Washington: Smithsonian Institution, 2003. 253p.
- Hess, L.L.; Melack, J.M.; Affonso, A.G.; Barbosa, C.C.F.; Gastil-Buhl, M.; Novo, E.M.L.M. **LBA-ECO LC-07 Wetland Extent, Vegetation, and Inundation: Lowland Amazon Basin**. Oak Ridge: ORNL DAAC, 2015.
- Junk, W.J. General aspects of floodplain ecology with special reference to Amazonian floodplains. In: Junk, W. J. (Ed.). **The Central Amazon Floodplain**. Berlin: Springer, 1997. p. 3-20.
- Junk, W.J.; Piedade, M. T. F.; Schöngart, J.; Cohn-Haft, M.; Adeney, J. M.; Wittmann, F. A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. **Wetlands**, v. 31, n. 4, p. 623-640, 2011.
- Junk W.J. Flood tolerance and tree distribution in central Amazonian floodplains. In: Holm-Nielsen, L.B.; Nielsen, I.C., Balslev, H. (Eds.). **Tropical forests: botanical dynamics, speciation and diversity**. London: Academic Press, 1989. p. 47-64
- Junk,W.J. The central Amazon river floodplain: concepts for the sustainable use of its resources. In: Junk, W.J.; Ohly, J.J.; Piedade, M.T.F.; Soares, M.G.M. (Eds.). **The Central Amazon Floodplain: Actual Use and Options for a Sustainable Management**. Leiden: Backhuys Publisher, 2000. p. 75-94.
- Kubitzki, K.; Ziburski, A. Seed dispersal in flood plain forests of Amazonia. **Biotropica**, v. 26, p. 30-43, 1994.
- Luize, B.G.; Silva, T.S.; Wittmann, F.; Assis, R.L.; Venticinque, E.M. Effects of the flooding gradient on tree community diversity in várzea forests of the Purus river, central Amazon, Brazil. **Biotropica**, v. 47, n. 2, 137-142, 2015.
- Ohly, J.J. Development of central Amazonia in the modern era. In: Junk, W.J.; Ohly, J.J.; Piedade, M.T.F.; Soares, M.G.M. (Eds.). **The Central Amazon Floodplain: Actual Use and Options for a Sustainable Management**. Leiden: Backhuys Publisher, 2000. p. 27-73.

Parolin, P.; De Simone, O; Haase, K.; Waldhoff, D.; Rottenberger, S.; Kuhn, U.; Kesselmeier, J.; Kleiss, B.; Schmidt, W.; Piedade, M.T.F.; Junk, W.J. Central Amazonian floodplain forests: tree adaptations in a pulsing system. **The Botanical Review**, v. 70, n. 3, p. 357-380, 2004.

Parolin, P.; Wittmann, F.; Ferreira, L.V. Fruit and seed dispersal in Amazonian floodplain trees—a review. **Ecotropica**, v. 19, p. 15-32, 2013.

Peixoto, J.M.A.; Nelson, B.W.; Wittmann, F. Spatial and temporal dynamics of river channel migration and vegetation in central Amazonian white-water floodplains by remote-sensing techniques. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 2258-2266, 2009.

Salo, J.; Kalliola, R; Hakkinen, I.; Makinen, Y.; Niemela, P.; Puhakka, M.; Coley, P.D. River dynamics and the diversity of Amazon lowland forest. **Nature**, v. 322, n. 6076, p. 254-258, 1986.

Sioli, H. Über Natur und Mensch im brasilianischen Amazonasgebiet. **Erdkunde**, p. 89-109, 1956.

Wittmann, F.; Schöngart, J.; Junk, W.J. 2010. Phytogeography, species diversity, community structure and dynamics of central Amazonian floodplain forests. In: Junk, W.J.; Piedade, M. T. F.; Wittmann, F.; Schöngart, J.; Parolin, P. (Eds.). Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management, Springer, Dordrecht, the Netherlands, Heidelberg, Germany, London, U.K.p. 347-388.

Wittmann, F.; Junk, W. J.; Piedade, M.T.F. The varzea forests in Amazonia: Flooding and the highly dynamic geomorphology interact with natural forest succession. **Forest ecology and Management**, v. 196, p. 199-212, 2004.

Worbes, M.; Klinge, H.; Revilla, J.D.; Martius, C. On the dynamics, floristic subdivision and geographical distribution of varzea forests in Central Amazonia. **Journal of Vegetation Science**, v. 3, n. 4, p. 553-564, 1992.