

Delimitação de unidades morfológicas na zona de confluência dos rios Solimões e Purus (Amazônia Ocidental), a partir de dados de sensoriamento remoto

Marcel Silva Passos¹
Ericson Hideki Hayakawa²
Emílio Alberto Amaral Soares³

^{1,3}Universidade Federal do Amazonas - UFAM
Campus Universitário, CEP 69077-000 - Manaus - AM, Brasil
marcel.silva.k2@gmail.com

²Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE
CEP 85960-000 - Marechal Cândido Rondon - PR, Brasil
ericson_geo@yahoo.com.br

Abstract. The region comprising the confluence zone of the Solimões and Purus rivers (Western Amazonia) presents in its adjacency three levels of fluvial terraces of quaternary ages, in which they have been denominated informally Upper Terrace (TS), Intermediate Terrace (TI) and Lower Terrace (TInf) in several studies. In this context, this study addresses the identification and delimitation of the main morphologies of the fluvial quaternary plain of this region through the photointerpretation of digital image processing of remote sensors optical, radar and interferometric. The optical images used (Landsat-8) highlighted physico-chemical aspects, optimizing the visualization of accretion bars and paleocanals, radar images (Alos PAISAR) characterized the limits of morphological units, mainly with regard to textural and geometric aspects, and interferometric data (SRTM) enabled the visualization of masked contacts in the other sensors used, also providing topographic information of the study area. These integrated data provide a great subsidy for the identification of morphological units in this region, and can also be replicated to the surrounding areas. These elements, integrated with data available in the literature as sedimentological, stratigraphic and geochronological, corroborate the understanding of the processes involved, and the elaboration of evolutionary models of this fluvial system during the quaternary period, when the Solimões-Amazonas river system was installed.

Palavras-chave: Solimões and Purus Rivers, River Plain, Remote Sensing; Rios Solimões e Purus, Planície Fluvial, Sensoriamento Remoto.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o uso de produtos de sensores remotos na região amazônica tem auxiliado na delimitação de unidades geomorfológicas e a elaboração de mapas geológicos regionais, bem como em estudos de análise estrutural (Brasil, 1978; Costa *et al.*, 1996; Latrubesse e Franzinelli, 2002; Soares, 2007; Ribeiro *et al.*, 2009; Soares *et al.*, 2010; Gonçalves Júnior, 2013; Ferreira, 2013; Passos, 2016). A aplicação multitemporal destes produtos também são aplicados em estudos de mobilidade de canais e caracterização geomorfológica das planícies aluviais do sistema fluvial Solimões-Amazonas. Por exemplo, pioneiramente Mertes *et al.* (1996) demonstraram diversos padrões de mobilidades de canais em trecho do sistema fluvial entre Iquitos (Peru) até Óbidos (Pará), baseando-se em cartas de navegação antigas e imagens de radar. Demais estudos sobre a determinação da estabilidade de trechos deste sistema fluvial são desenvolvidos por meio de cálculos das áreas de erosão e deposição (Rozo, 2004; Peixoto *et al.*, 2009; Rozo *et al.*, 2012; Passos e Soares, 2015; Passos, 2016). Análises multitemporais também têm sido utilizadas na determinação das variações sazonais referentes aos períodos de cheia e vazante dos rios, bem como na influência desta sazonalidade no desenvolvimento dos depósitos aluviais e ilhas deste sistema (Marinho e Melo, 2009).

Adicionalmente, os dados de sensoriamento remoto são aplicados na caracterização morfoestratigráfica e morfotectônicas na planície amazônica, principalmente no sistema

fluvial Solimões-Amazonas e alguns de seus tributários como Purus, Negro e Madeira, onde podemos destacar os estudos de Rossetti *et al.* (2004, 2005, 2014, 2015), Soares *et al.* (2010), Hayakawa *et al.* (2010), Hayakawa (2011), Rozo *et al.* (2012), Ferreira (2013), Gonçalves Júnior (2013) e Passos (2016), nos quais individualizam diversas unidades morfológicas quaternárias integrados a dados de campo e fotointerpretação de imagens orbitais e aerotransportadas. Neste contexto, o objetivo desse trabalho é identificar e delimitar as principais morfologias da planície fluvial quaternária na zona de confluência entre os rios Solimões e Purus, por meio da fotointerpretação e processamento digital de imagens.

1.1 Localização e vias de acesso

A área do referido estudo situa-se na região dos rios Solimões e Purus, abrangendo os municípios de Manacapuru, Anori, Beruri, Anamá e Codajás (Figura 1).

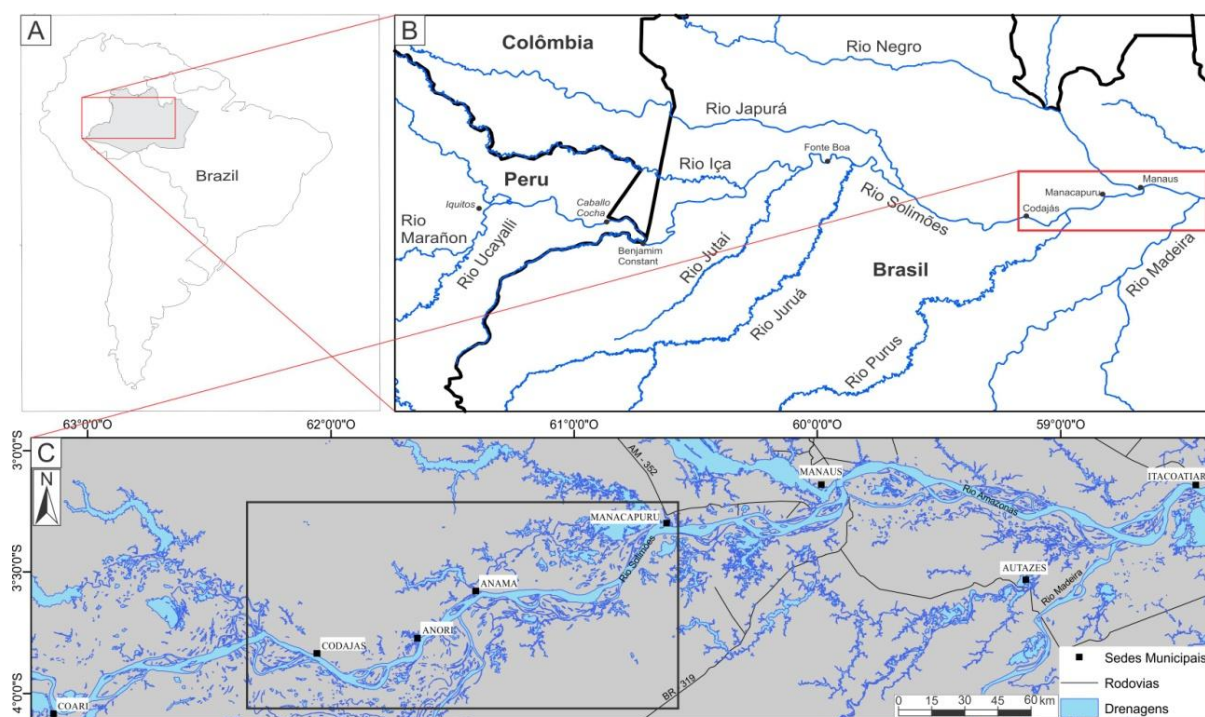


Figura 1. A) Mapa da América do Sul, destacando parte da drenagem do sistema fluvial Solimões-Amazonas (Detalhe B) dos seus principais afluentes até o rio Madeira. O detalhe C mostra a rede de drenagem e as vias de acesso da região entre os municípios de Coari e Itacoatiara, destacando o trecho estudado entre Manacapuru e Codajás (retângulo preto).

2 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

Os dados de sensoriamento remoto utilizados consistem em imagens Landsat-8, de radar (Alos PalSAR) e modelos digitais de elevação (MDE) da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), empregando para o processamento os *softwares* ENVI 4.5, ArcGIS 10.2.1 e Global Mapper 12.

2.1 Landsat-8 OLI

As imagens Landsat-8, sensor OLI (*Operational Land Imager*) foram adquiridas gratuitamente no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*U.S. Geological Survey - USGS*) a partir do mecanismo de pesquisa GLOVIS (<http://glovis.usgs.gov/>). Devido à grande extensão da área de estudo foram necessárias quatro cenas, cujas orbitas/ponto são 231/062, 231/063, 232/062 e 232/063, e com datas de aquisição de 10/12/2013 para as órbitas 231 e

02/01/2014 para as órbitas 232. As principais características, em ordem de prioridade, para a escolha destas cenas foram: a) a cota, pois cotas mais baixas permitem as melhores exposições das margens dos rios e ilhas; b) cobertura de nuvens, sendo preferíveis áreas sem coberturas e/ou com a menor cobertura possível.

As quatro cenas do Landsat-8 (Figura 2A) foram corrigidas atmosféricamente pela técnica do Pixel Escuro (*Dark Object Subtraction*) proposta por Chavez (1988). A correção tem a finalidade de atenuar os efeitos da atmosfera nas imagens (Sanches *et al.*, 2011). Demais procedimentos executados foram: composições coloridas (falsa cor) com as bandas 6, 5 e 4 nos canais RGB e Aumento Linear de Contraste (ALC), com a finalidade de realçar os alvos presentes nas imagens. Neste tipo de realce, as barras que formam o histograma da imagem de saída são espaçadas igualmente. O histograma de saída será idêntico em formato ao histograma de entrada, exceto que ele terá um valor médio e um espalhamento diferente INPE (2002). Após o realce, foi estruturado o mosaico das cenas, gerando assim uma única imagem da área de estudo (Figura 2B), sendo posteriormente empregado a classificação do tipo Iso-Agrupamento Não-Supervisionada, resultando em 10 classes. Dessas, foram utilizadas as classes 01 e 02, as quais caracterizavam os corpos d'água.

2.2 Alos PalSAR

As imagens de radar provenientes do radar ALOS, sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) foram adquiridas gratuitamente por meio do site do IBGE no link (ftp://geoftp.ibge.gov.br/imagens_orbitais/ortoimagens/alos_palsar). Selecionou-se 52 cenas do modo *Fine* da banda L nas polarizações HH e HV. No aplicativo ENVI gerou-se dois mosaicos, uma para a polarização Horizontal-Horizontal (HH) (Figura 3A) e outra para a polarização Horizontal-Vertical (HV) (Figura 3B), perfazendo toda a área de estudo, posteriormente exportadas no formato *GeoTiff* para o ArcGIS 10.2.1.

2.3 Dados SRTM

Os dados SRTM foram obtidos no site da EMBRAPA, no link (<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/download/am/am.htm>). Os MDE dos dados SRTM foram agrupados (mosaico) no aplicativo ENVI 4.5, gerando uma única imagem da área de estudo. Em seguida foi elaborado o relevo sombreado (*Hildshale*) do terreno (Elevação: 30° e Azimute: 45°). O mosaico foi exportado no formato *GeoTiff*, e inserido no aplicativo Global Mapper 12. Neste aplicativo, através da manipulação das paletas de cores em função da altimetria do terreno, foram geradas diferentes representações do relevo a fim de realçar morfologias de interesse (Figura 4), conforme metodologia já aplicada por Rossetti e Valeriano (2007), Mantelli *et al.* (2009) e Hayakawa *et al.* (2010).

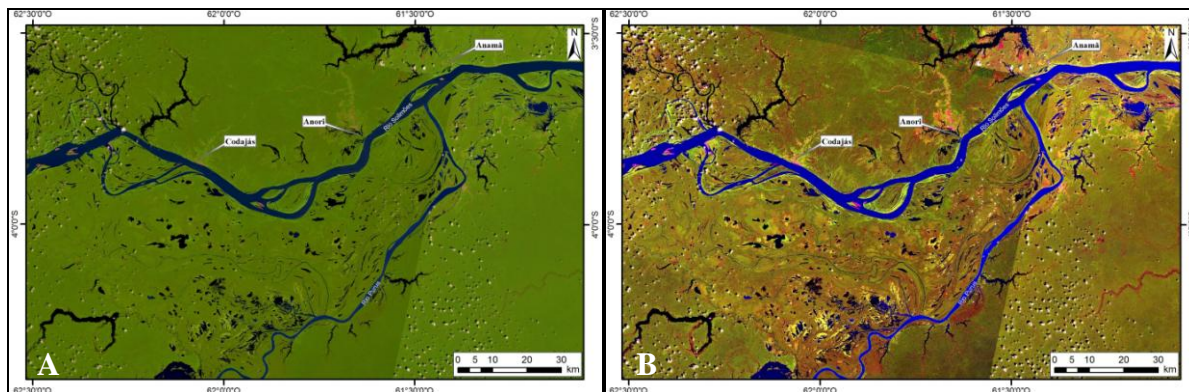


Figura 2: A) Mosaico de Imagens Landsat-8 brutas nas bandas 6, 5 e 4 (RGB). B) Mosaico de Imagens Landsat-8 com correção atmosférica e aumento linear de contraste nas bandas 6, 5 e 4 (RGB).

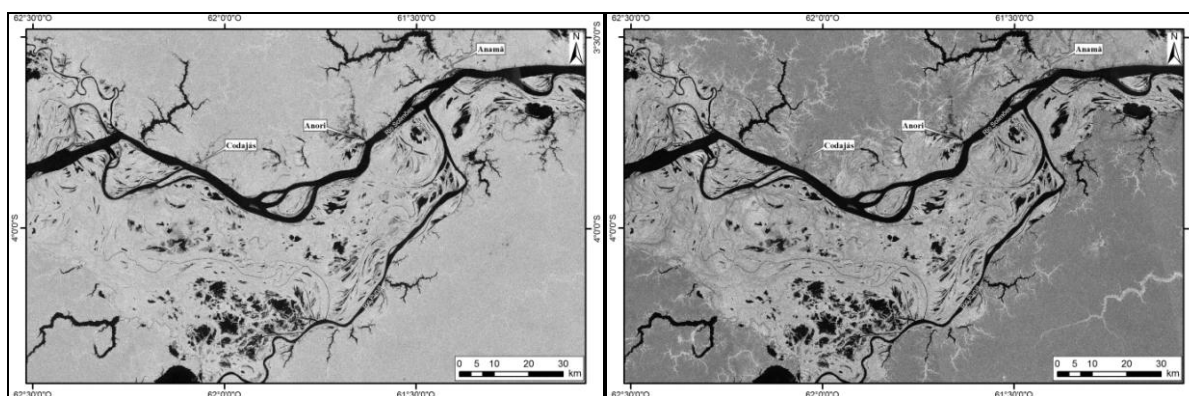


Figura 3: A) Mosaico das imagens ALOS PALSAR na polarização Horizontal-Horizontal. B) Mosaico das imagens ALOS PALSAR na polarização Horizontal-Vertical.

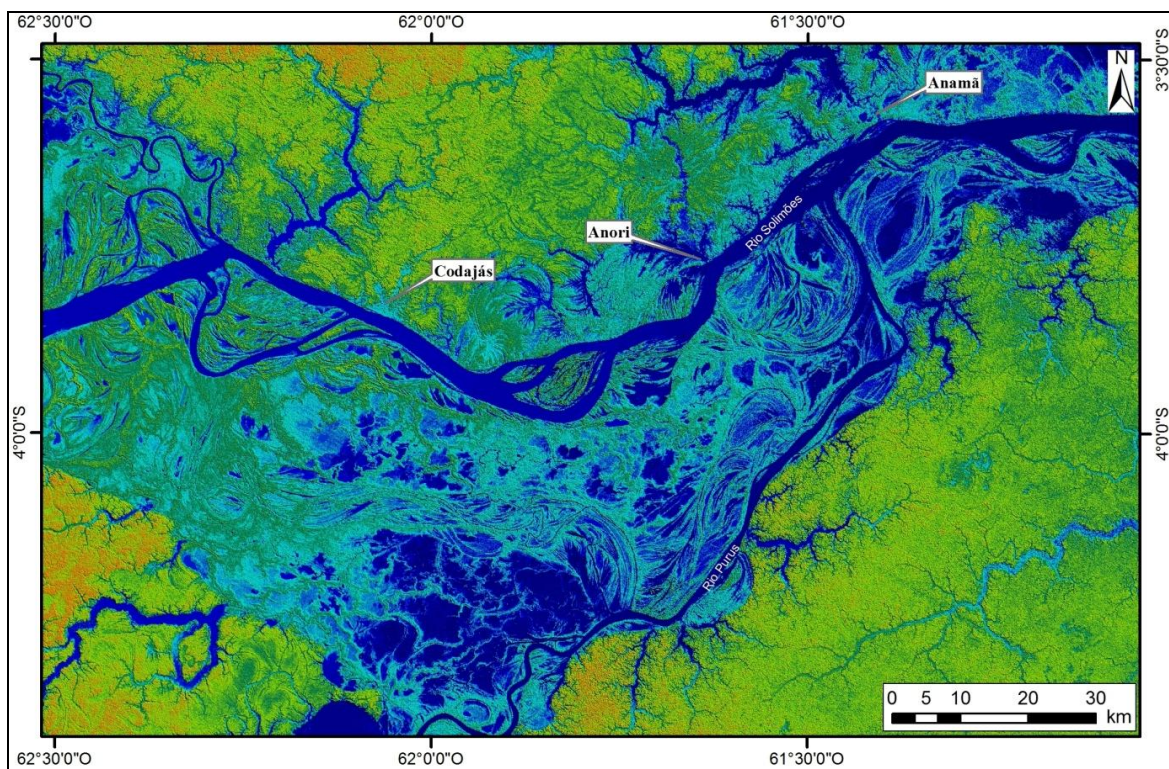


Figura 4: Modelo Digital de Elevação gerado com base nos dados SRTM.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de sensoriamento remoto auxiliaram na fotointerpretação de aspectos geomorfológicos, principalmente texturais, de relevos e drenagens, facilitando a delimitação de unidades morfológicas da área do estudo (Figura 5), bem como para as extrações de feições como lineamentos estruturais, drenagens, barras de acreção e seus vestígios. As nomenclaturas utilizadas para a delimitação das unidades basearam-se nos estudos de Soares *et al.* (2010), Gonçalves Júnior *et al.* (2016) e Passos (2016).

As imagens Landsat-8 contribuíram para a visualização de barras de acreção e seus truncamentos, e vestígios de paleocanais (Figura 2B). A classificação obtida destacou as principais massas de água da área de estudo. As imagens Alos PalSAR auxiliaram na delimitação das unidades morfológicas e visualização dos principais lineamentos tectônicos, especialmente na polarização cruzada (Horizontal-Vertical). Esta (Figura 3B) mostrou-se com importante potencial para a caracterização de aspectos texturais da planície fluvial, em relação à polarização paralela (Horizontal-Horizontal) e também as imagens ópticas.

Os MDEs SRTM contribuíram na delimitação de blocos tectônicos e terraços fluviais, nos quais geralmente são caracterizados por variações acentuadas de cota em seus limites, muitas vezes mascarados em imagens ópticas e em algumas imagens de radar.

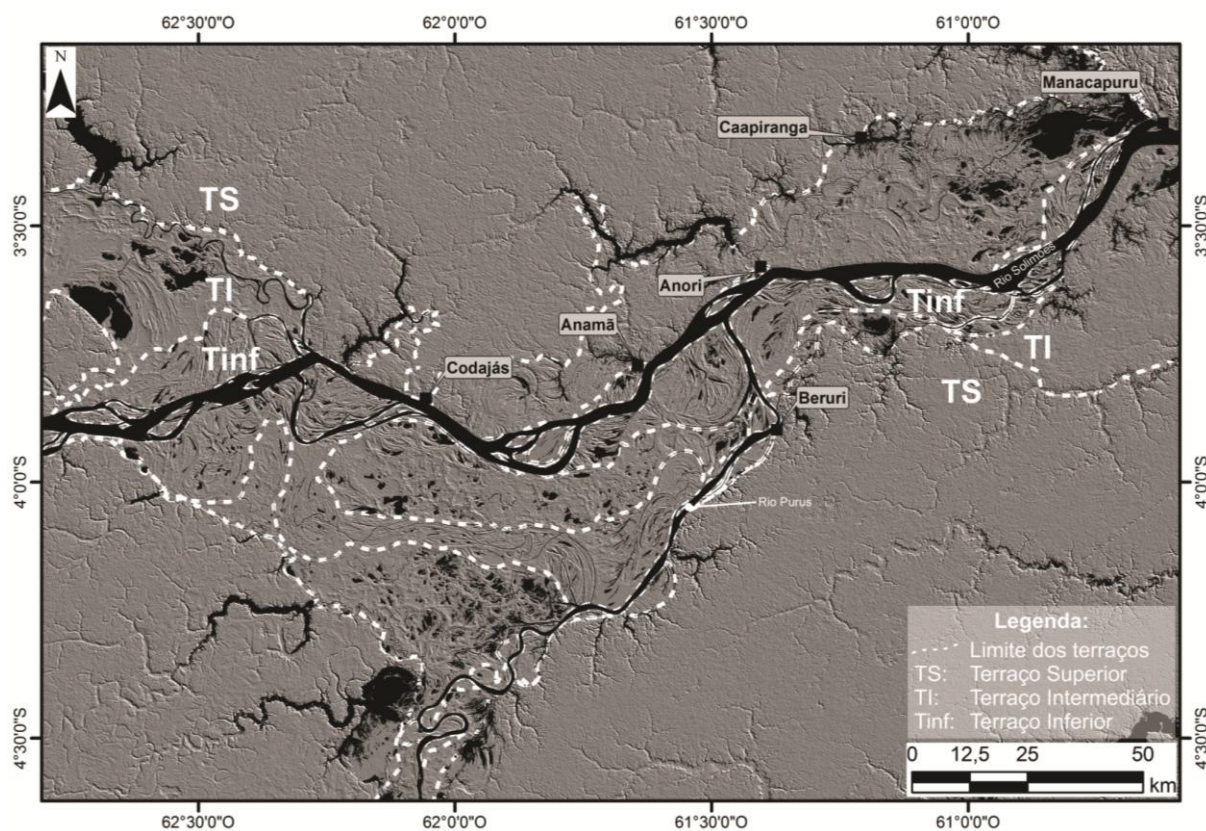


Figura 5: Limite das principais unidades morfológicas delimitadas, utilizado as nomenclaturas propostas por Soares *et al.* (2010), Gonçalves Júnior *et al.* (2016) e Passos (2016), sobrepostos sobre a imagem de relevo sombreado (*Hildshale*) gerado através dos dados SRTM.

4 CONCLUSÕES

Os diferentes dados de sensoriamento remoto permitiram destacar e delimitar feições morfológicas da planície fluvial amazônica na região de confluência entre os rios Solimões e Purus, como drenagens, barras marginais, linhas de acreção, e estabelecer nitidamente o limite da planície aluvial ativa dos demais terraços. Estas informações integradas aos dados de campo, como sedimentológicos, estratigráficos e geocronológicos, contribuem para o entendimento desta dinâmica atual deste sistema, e auxiliando em modelos evolutivos da planície.

5 REFERÊNCIAS

- Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA.20 - Manaus**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais, v. 18. Rio de Janeiro. 628 p.
- Chavez, J. P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479. 1988.
- Costa, J. B. S.; Bemerguy, R. L.; Hasui, Y.; Borges, M. S.; Ferreira Júnior, C. R. P.; Bezerra, P. E. L.; Costa, M. L.; Fernandes, J. M. G. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Geonomos**, v. 4, n. 2, p. 23-44. 1996.
- Ferreira, M. P. **Geocronologia e proveniência dos sedimentos holocênicos da confluência dos rios Negro e Solimões, AM**. 2013. 95 p. Dissertação (Mestre em Geociências). Universidade de São Paulo. 2013.
- Gonçalves Júnior, E. S. **Terraços fluviais quaternários das regiões de Careiro-da-Várzea, Manaquiri, Careiro-Castanho e Autazes, Amazônia Central**. 2013. 127 p. Dissertação (Mestre em Geociências). Universidade Federal do Amazonas. Manaus-AM. 2013.
- Gonçalves Júnior, E. S.; Soares, E. A. A.; Tatum, S. H.; Yee, M.; Mittani, J. C. R. Pleistocene-Holocene sedimentation of Solimões-Amazon fluvial system between the tributaries Negro and Madeira, Central Amazon. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, n. 2, p. 167-180. 2016.
- Hayakawa, E. H.; Rossetti, D. F.; Valeriano, M. M. Applying DEM-SRTM for reconstructing a late Quaternary paleodrainage in Amazonia. **Earth and Planetary Science Letters**, p. 262-270. 2010.
- Hayakawa, E. H. **Paleogeformas e sistemas de drenagem da Bacia do Baixo Rio Madeira, AM: Interpretação de dados de sensoriamento remoto**. 2011. 193 p. Tese (Doutor em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos - SP. 2011.
- INPE. 2002. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/espanol/tutorial/introducao_pro.html. <Acesso em 24/07/2014>.
- Latrubesse, E. M.; Franzinelli, E. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. **Geomorphology**, v. 44, n. 3, p. 241-57. 2002.
- Mantelli, L. R.; Rossetti, D. F.; Albuquerque, P. C. G.; Valeriano, M. M. SRTM digital elevation model to unravel Quaternary drainage in forested areas of Northeastern Amazonia. **Comput. Geosci.** v. 35, p. 2331-2337. 2009.
- Marinho, R. R.; Melo, E. Análise multitemporal da geomorfologia fluvial do rio Solimões entre dois períodos (Cheia e Vazante). In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, **Anais...** Natal-RN: INPE, Artigos, CD-ROM, On-line.
- Mertes, L. A. K.; Dunne, T.; Martinelli, L. A. Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon River, Brazil. **Geological Society of American Bulletin**, v. 108, n. 9, p. 1089-1107. 1996.
- Passos, M. S. **Depósitos sedimentares pleistocenos-holocenos da zona de confluência dos rios Solimões e Purus, Amazônia Ocidental**. 2016. 136 p. Dissertação (Mestre em Geociências). Universidade Federal do Amazonas. Manaus - AM. 2016.
- Passos, M. S.; Soares, E. A. A. Análise multitemporal da dinâmica fluvial do Rio Solimões no trecho entre Manaus e Codajás (Amazônia Ocidental) por meio de imagens Landsat-5/TM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17, 2015, **Anais...** João Pessoa-PB: INPE, Artigos, CD-ROM, On-line.
- 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.
- Ribeiro, O. L.; Silva, C. L.; Morales, N.; Miranda, F. P.; Filho, R. A.; Baisel, C. H.; Júnior, N. P. F. Controle tectônico na planície do Rio Solimões, região de Coari (AM), a partir de análise em imagens ópticas e dados SRTM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, **Anais...** Natal-RN, INPE, Artigos, CD-ROM, On-line.

- Rossetti, D. F.; Góes, A. M.; Toledo, P. M.; Santos Junior, A. E. A.; Paz, J. D. S. **Evolução de paisagens no Néogeno da Amazônia: Implicações na origem e distribuição da biodiversidade**. Belém: IBAMA. 2004. 26 p.
- Rossetti, D. F.; Todelo, P. M.; Góes, A. M. New geological framework for Western Amazonia (Brazil) and implications for biogeography and evolution. **Quaternary Research**, v. 63, n. 1, p. 78-89. 2005.
- Rossetti, D. F.; Valeriano, M. M. Evolution of the lowest Amazon basin modeled from the integration of geological and SRTM topographic data. **Catena**, v. 70, p. 253-265. 2007.
- Rossetti, D. F.; Cohen, M. C. L.; Bertani, T. C.; Hayakawa, E. H.; Paz, J. D. S.; Castro, D. F.; Friaes, Y. Late Quaternary fluvial terrace evolution in the main southern Amazonian tributary. **Catena**, v. 116, p. 19-37. 2014.
- Rossetti, D. F. Imaging underwater neotectonic structures in the Amazonian lowland. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17, 2015, **Anais...** João Pessoa-PB: INPE, 2015. Artigos, CD-ROM, On-line
- Rozo, J. M. G. **Evolução Holocênica do Rio Amazonas entre a Ilha do Careiro e a foz do Rio Madeira**. 2004. 125 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM. 2004.
- Rozo, M. G.; Nogueira, A. C. R.; Truckenbrodt, W. The anastomosing pattern and the extensively distributed scroll bars in the middle Amazon River. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 37, p. 1471-1488. 2012.
- Sanches, I. D. A.; Andrade, R. G.; Quartaroli, C. F.; Rodrigues, C. A. G. 2011. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 - TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, **Anais...** Curitiba-PR: INPE, Artigos, CD-ROM, On-line.
- Soares, E. A. A. **Depósitos pleistocenos da região de confluência dos rios Negro e Solimões, porção oeste de bacia do Amazonas**. 2007. 205 p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo-SP. 2007.
- Soares, E. A. A.; Tatumi, S. H.; Riccomini, C. OSL age determinations of Pleistocene fluvial deposits in central Amazonia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, n. 3, p. 14-19. 2010.