

## Origem tectônica de megaleques no norte da Amazônia com base em multisensores

Dilce de Fátima Rossetti<sup>1</sup>  
Édipo Henrique Cremon<sup>1</sup>  
Hiran Zani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{rossetti, cremon,hzani}@dsr.inpe.br

**Abstract.** We analyzed remote sensing data consisting of Landsat-5/TM (Thematic Mapper), Landsat-7/ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) and PALSAR images, and a Digital Elevation Model (DEM) derived from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), in order to proceed with a morphostructural characterization of Quaternary megafan deposits in a large wetland area of northern Amazonia. The goal was to verify if the origin of this distributive alluvial paleolandscape that differs significantly from the modern fluvial tributary systems could be associated with tectonic subsidence. The data indicated several anomalous morphostructural features, consisting mostly of straight lineaments trending parallel to main faults from the adjacent crystalline basement, channel capture, orthogonal channel junctions, lateral deviation of megafan morphologies and of entire fluvial valleys, and termination of megafan in rectangular depressions bounded by straight lineaments. These features suggest that the formation of megafans in northern Amazonia was not random over a flat-lying area, but they were concentrated in pre-existing rectangular to wedge-shaped depressions formed by the combination of intrabasin normal and strike-slip faults. The presence of these depressions might have determined the development of distributary drainage systems and, consequently, the megafan geometries.

**Palavras-chave:** morphostructural, tectonics, Quaternary, Amazonia, multisensors, morfoestrutural, tectônica, Quaternário, Amazônia, multisensores.

### 1. Introdução

Publicações recentes documentaram o sucesso de ferramentas de sensoriamento remoto na associação de grandes manchas de tipicamente triangulares de vegetação aberta no norte da Amazônia com paleomorfologias representativas de depósitos sedimentares formados em megaleques (Rossetti et al., 2012a; Zani e Rossetti, 2012). Esse tipo de feição residual ou paleomorfologia atesta a existência de extensas redes de drenagem formadas por canais distributários (Horton e DeCelles, 2001; Nichols e Fisher, 2007; Chakraborty e Gosh, 2010; Hartley et al., 2010; Weissman et al., 2010; Fielding et al., 2012) em tempos passados que difere substancialmente da drenagem tributária dominante na paisagem atual dessa região.

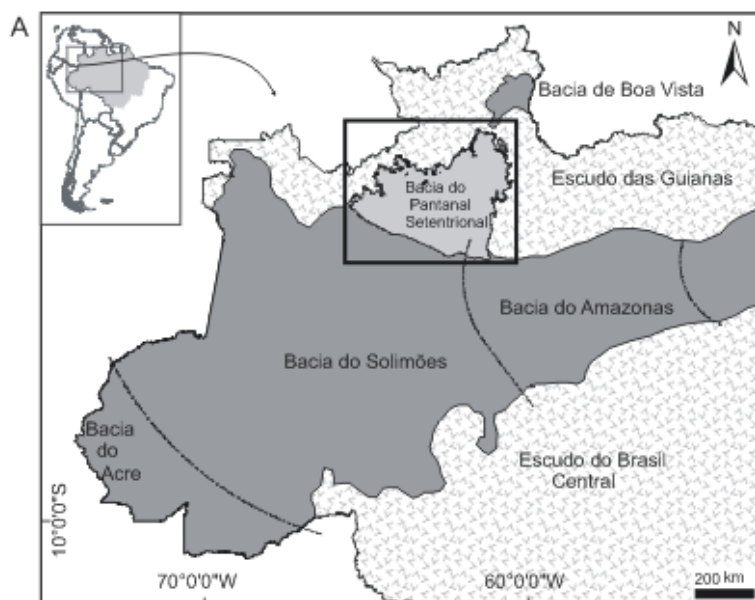
A combinação de dados de sensoriamento remoto com informações geológicas permitiu a melhor caracterização dos paleoambientes de deposição de um dos megaleques do norte da Amazônia (Rossetti et al., 2012b). Estes autores mostraram, ainda, que os megaleques estiveram em formação até, pelo menos, o Holoceno médio (cerca de 5 a 6 mil anos), quando houve sua transformação para os sistemas fluviais atuais. Eles também levantaram a hipótese de que a origem dessa paisagem contrastante com a atual deve-se à presença de climas tropicais sob regime monçônico similar ao atual, porém com estações secas mais acentuadas. De acordo com o modelo proposto, este teria atuado em bacia com subsidência tectônica suave, porém elementos morfoestruturais adicionais necessitam ser ainda apresentados para demonstrar a influência tectônica nessa bacia.

Neste trabalho, apresentamos resultados da análise de diferentes produtos de sensoriamento remoto, os quais permitem propor que a formação de megaleques no

norte de Amazônia ocorreu em depressões geradas por deslocamento de falhas. Embora os dados sejam de natureza morfológica, as conclusões derivadas deste estudo podem servir de base para a condução de uma estratégia de campo visando registrar estruturas tectônicas nessa vasta área de ocorrência anômala de megaleques quaternários.

## 2. Área de Estudo

A presente investigação foi conduzida considerando dois megaleques principais que ocorrem no norte da Amazônia, um sendo o megaleque do rio Demini, localizado no interflúvio dos rios Negro e Branco, e o outro o megaleque do rio Viruá, localizado no Parque Nacional do Viruá, margem esquerda do rio Branco (Figura 1). Ambos megaleques, bem como outros que ocorrem nessa região (Figura 1B), estão inseridos na Bacia do Pantanal Setentrional, posicionada imediatamente a norte das bacias do Solimões e do Amazonas (Figura 1A).



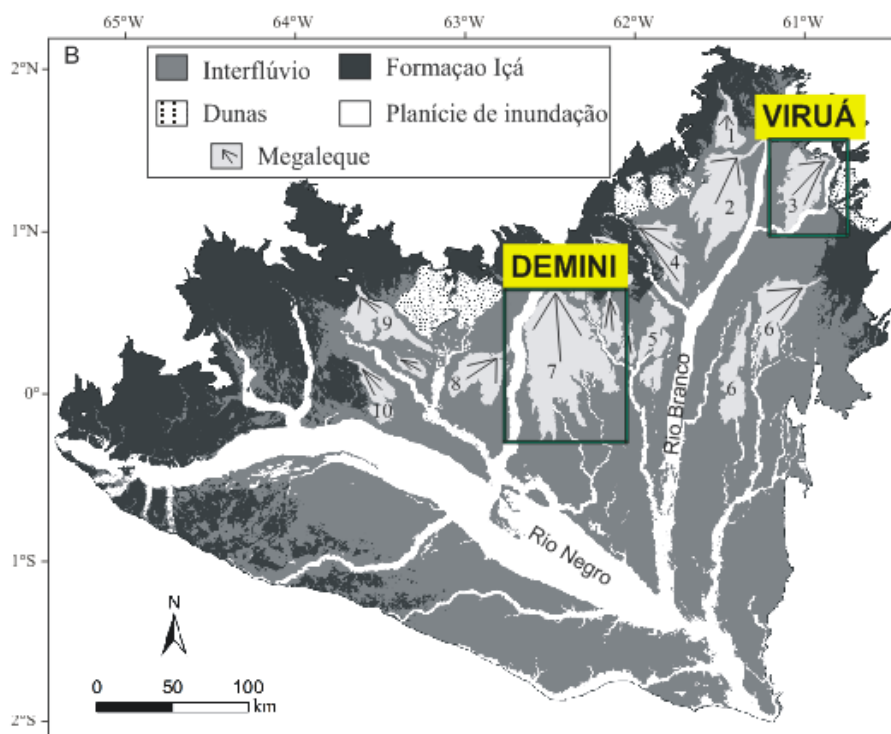


Figura 1. A) Localização da área de estudo na Bacia do Pantanal Setentrional, norte da Amazônia brasileira. B) Detalhe da bacia, com indicação das morfologias relacionadas a megaleques. Notar localização dos megaleques Demini e Viruá, enfatizados neste estudo.

### 3. Material e Métodos

O estudo foi baseado na análise visual de vários produtos de sensoriamento remoto, incluindo dados ópticos, de radar e modelo digital de elevação. Dados ópticos consistiram em mosaicos Landsat TM/ETM+ GeoCover (cenas N-20-00 e S-20-00). Essas imagens já estavam georreferenciadas, com acurácia inferior a 50 m (i.e., 1.5 pixels). Dados de radar consistiram em 6 imagens PALSAR, adquiridas no modo *Fine Beam Dual*, com resolução nominal de 12.5 m. As imagens cobrem períodos de seca, transicional e de chuva. O pre-processamento dessas imagens consistiu na aplicação de filtro adaptativo *Enhanced Lee* para atenuar o ruído *speckle*. A ortorretificação baseou-se em modelo orbital específico de posicionamento do sensor PALSAR, de precisão geométrica superior a 1 pixel. Após estas correções, os valores de número digital (ND) foram transformados para valores de retroespalhamento ( $\sigma^{\circ}$ ), segundo modelo e coeficientes propostos por SHIMADA et al. (2009). Dados de elevação incluem o modelo digital de elevação (MDE) do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Os dados foram processados para melhorar o potencial das informações com interpolação por krigagem, que resultou na transformação dos dados de 1 arc seg (90 m) para 3 arc seg (30 m). Artefatos e distribuições espaciais de valores aleatórios foram reduzidos utilizando procedimento apresentado em Valeriano et al., 2006). Os dados reamostrados foram processados utilizando-se esquemas de paletas de cores e sombreamentos personalizados a fim de melhor revelar as feições de interesse.

### 4. Resultados e Discussão

Os megaleques Demini e Viruá se constituem em morfologias triangulares, tipicamente resultante da dinâmica de sedimentação por canais distributários, como registrado em exemplos clássicos de megaleques do globo (Friend, 1978; Stanistreet e

McCarthy, 1993; Chakraborty et al., 2010). Entretanto, a análise morfológica revelou que os depósitos em forma de leque do norte da Amazônia apresentam alguns limites bruscamente definidos por uma série de lineamentos morfoestruturais retilíneos e ortogonais com direcionamentos NW-SE e NE-SW (Figura 2). A intercepção dos lineamentos que limitam essas feições resulta em morfologias triangulares ou em forma de cunhas. É interessante mencionar que alguns desses lineamentos se estendem além dos limites individuais das morfologias relacionadas aos megaleques, formando também o limite de outras depressões adjacentes (ver setas brancas na figura 2A). Isto é particularmente observado na porção distal do megaleque Demini, onde a sedimentação ainda não se estendeu o suficiente para obscurecer suas margens retangulares com terminações em cunha, limitadas por lineamentos retilíneos (Figura 2B). Morfologias retangulares isoladas ou compostas definidas por margens quase ortogonais estão presentes.

As bacias de drenagem associadas com os megaleques estudados são de baixa densidade, sendo formada por canais apresentando frequentes mudanças de cursos com inflexões ortogonais, que se repetem similarmente em drenagens adjacentes. Captura de rios ocorre em todas as escalas. Rios que circundam os megaleques mudam frequentemente de morfologia ao longo de seus cursos. A análise de lineamentos morfoestruturais revelou que o rio Barauana, que limite o megaleque Viruá em sua porção sul e leste, mostra um longo segmento de seu vale que foi deslocado lateralmente por uma distância superior s 5 km para leste (Figura 2D). Adicionalmente, algumas morfologias triangulares adjacentes aos megaleques Demini e Viurá estão deslocadas lateralmente por lineamentos retilíneos direcionados para NE-SW por distâncias superiores a 7 km (Figura 2C). Por fim, lineamentos morfoestruturais extraídos das redes de drenagem e do relevo estão direcionados preferencialmente para NE-SW, NW-SE, e N-S, coincidindo com a orientação de falhas presentes no embasamento cristalino precambriano adjacente.

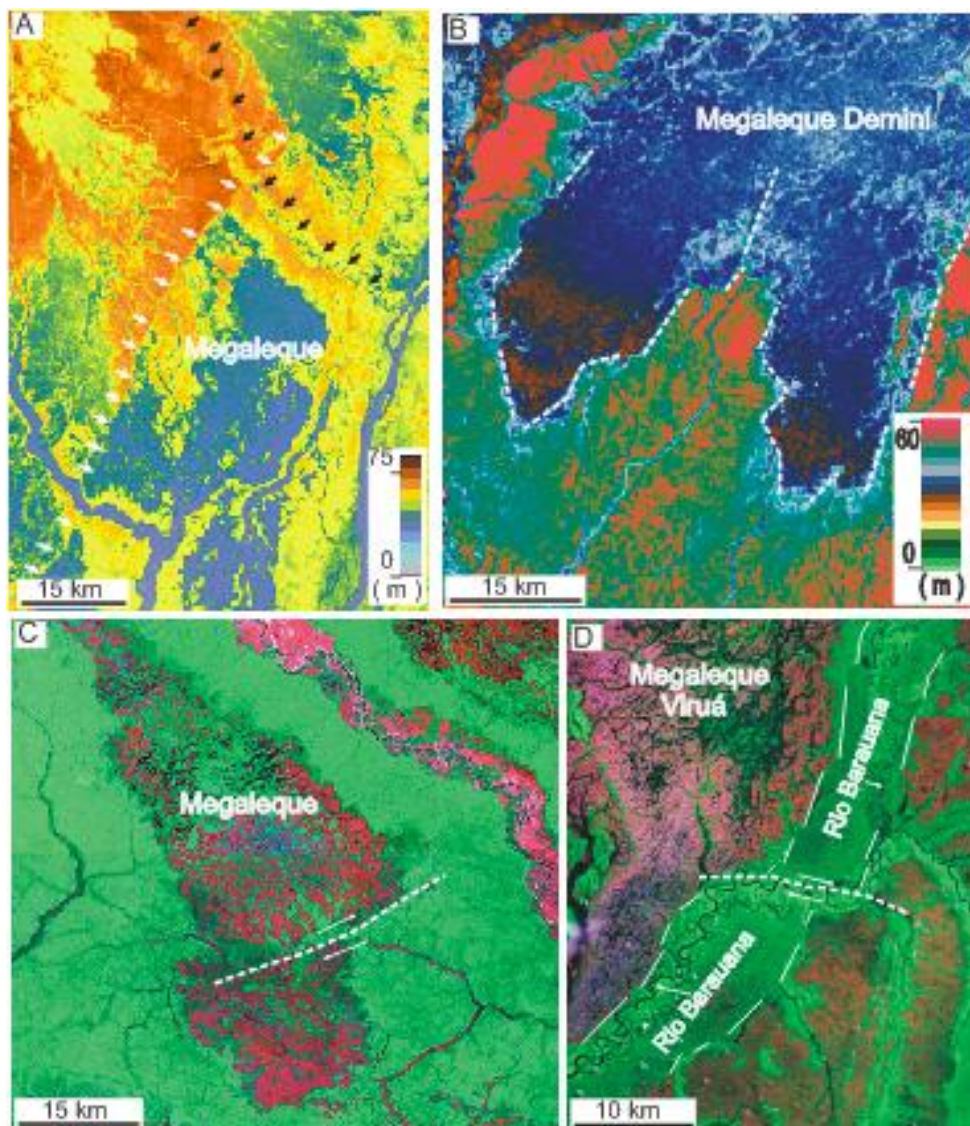


Figura 2. Características morfoestruturais dos megaleques estudados. A) Dados do MDE-SRTM mostrando deposição em bacia de morfologia em cunha, de limites retilíneos e ortogonais, definidas por lineamentos que se prolongam além de seus limites (ver setas). B) Dados MDE-SRTM ilustrando área distal do megaleque Demini, onde se percebe sua formação em bacias retangulares, com terminações em cunha, limitadas por lineamentos retilíneos (linhas tracejadas). C) Imagem Landsat ETM+ com feição de triangular relacionada a megaleque, o qual foi deslocado lateralmente na paisagem devido à presença de falha transcorrente dextral (linha tracejada). D) Imagem Landsat ETM+ indicando o deslocamento lateral do vale do rio Barauana nas margens do megaleque Viruá, também por falha transcorrente dextral (linha tracejada). Observe que os limites do vale são definidos por vários segmentos de lineamentos retilíneos, possivelmente também relacionados a traços de falha (segmentos de linhas brancas).

As características morfoestruturais derivadas da análise de produtos de sensoriamento remoto sustentam que os megaleques do rio Demini e Viruá se formaram em depressões formadas por subsidência tectônica. O fato desses megaleques apresentarem limites retilíneos e ortogonais sustentam essa hipótese. A geometria em cunha de algumas dessas áreas lembram bacias romboédricas formadas em associação com falhas de transcorrência. Os lineamentos que se estendem além dos limites das estruturas triangulares, formando o limite de estruturas adjacentes, atestam a presença



de falhas de grandes extensões. As mudanças de morfologia dos rios que limitam os megaleques são consistentes com deslocamentos diferenciais do terreno. Lineamentos morfoestruturais coincidentes com o direcionamento de estruturas tectônicas do embasamento precambriano adjacente são compatíveis com origem associada com reativação de falhas regionais durante e até mesmo após a formação dos megaleques. Os inúmeros desvios e capturas de drenagem se constituem em anomalias fortemente sugestivas de controle tectônico. Além disso, o deslocamento lateral do vale do rio Barauana, bem como de alguns megaleques e de vários cursos de rios, revelam a presença de falhas de transcorrência produzidas por esforços distensivos horizontais.

Com base nos dados apresentados, pode-se sugerir que o desenvolvimento dos megaleques Demini e Viruá foi favorecido pela criação de espaço de acomodação de sedimentos por subsidência tectônica. Em alguns locais, os megaleques não chegaram a preencher completamente as depressões, deixando elementos morfoestruturais na paisagem que ainda revelam a presença de falhas em seus limites. Outros megaleques tem sido relacionados com bacias tectonicamente ativas (p.e., Assine, 2005; Leir et al., 2005; Hartley et al., 2010). Além disto, um dos exemplos mais clássicos de megaleque, o do rio Okavango em Botswana na África, se desenvolveu em bacia formada por subsidência tectônica, limitada por duas zonas de falhas com orientação NE-SW (Gumbrecht et al., 2001).

## 5. Conclusões

O norte da Amazônia brasileira apresentou uma paisagem quaternária dominada por sistemas de megaleques, que contrasta com os sistemas fluviais tributários dominantes na paisagem atual. A análise de multisensores remoto revelou que essa paisagem pretérita se desenvolveu devido ao deslocamento de extensas áreas por movimentação tectônica. A reativação de falhas pre-existentes foi responsável pela criação de novo espaço de acomodação de sedimentos, propiciando o desenvolvimento e preservação de sistemas de megaleques. Dados morfoestruturais derivados da análise de dados de sensoriamento remoto são de fundamental interesse para a condução de investigações futuras em campo visando a caracterização de estruturas tectônicas associadas a esses megaleques. Esse tipo de estudo é de grande interesse na reconstituição de paleopaisagens amazônicas, e entendimento de seus fatores controladores.

## Agradecimento

Este estudo foi realizado com apoio de projeto de pesquisa financiado pela Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP-Projeto # 2010/09484-2).

## Referências Bibliográficas

- Assine, M.L. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**, v. 70, p. 357-371, 2005.
- Chakraborty, T.; Ghosh, P. The geomorphology and sedimentology of the Tista megafan, Darjeeling Himalaya: implications for megafan building processes. **Geomorphology**, v. 115, p. 52-266, 2010.
- Fielding, C.R.; Ashworth, P.J.; Best, J.L.; Prokocki, E.W.; Smith, G.H.S. Tributary, distributary and other fluvial patterns: what *really* represents the norm in the continental rock record? **Sedimentary Geology**, v. 261-262, p. 15-32, 2012.
- Friend, P.F. Distinctive features of some ancient river systems. In: Miall, A.D. (Ed.), *Fluvial Sedimentology*. **Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 5**, p. 531-542, 1978.

- Gumbricht, T.; McCarthy, T.S.; Merry, C.L. The topography of the Okavango Delta, Botswana, and its tectonic and sedimentological implications. **South African Journal of Geology**, v. 104, p. 243-264, 2001.
- Hartley, A.J.; Weissmann, G.S.; Nichols, G.J.; Scuderi, L.A.; Olson, M.; Buehler, H.; Banteah, R. Large distributive fluvial systems: characteristics, distribution, and controls on development. **Journal of Sedimentary Research**, v. 80, p. 167-183, 2010.
- Horton, B.K.; DeCelles, P.G. Modern and ancient fluvial megafans in the foreland basin system of the central Andes, southern Bolivia: implications for drainage network evolution in fold-thrust belts. **Basin Research**, v. 13, p. 43-63, 2001.
- Leier, A.L.; DeCelles, P.G.; Pelletier, J.D. Mountains, monsoons and megafans. **Geology**, v. 33, p. 289-292, 2005.
- Nichols, G.; Fisher, J.A. Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits. **Sedimentary Geology**, v. 195, p. 75-90, 2007.
- Rossetti, D.F.; Bertani, T.C.; Zani, H.; Cremon, E.H.; Hayakawa, E.H. Late Quaternary sedimentary dynamics in Western Amazonia: Implications for the origin of open vegetation/forest contrasts. **Geomorphology**, v. 177, p. 74-92, 2012a.
- Rossetti, D.F.; Zani, H.; Cohen, M. C.L.; Cremon, É.H. A Late Pleistocene-Holocene wetland megafan in the Brazilian Amazonia. **Sedimentary Geology** v. 281, p. 50-68, 2012b.
- Shimada, M.; Isoguchi, O.; Tadono, T.; Isono, K. PALSAR Radiometric and Geometric Calibration. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 47, p. 3915-3932, 2009.
- Stanistreet, I.; McCarthy, T. The Okavango Fan and the classification of subaerial fan systems. **Sedimentary Geology**, v. 85, p. 115-133, 1993.
- Valeriano, M.M.; Kuplich, T.M.; Storino, M.; Amaral, B.D.; Mendes, J.N.; Lima, D.J. Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with shuttle radar topographic mission-90 m data. **Computers & Geosciences**, v. 32, p. 169-1181, 2006.
- Weissmann, G.S.; Hartley, A.J.; Nichols, G.J.; Scuderi, L.A.; Olson, M.; Buehler, H.; Banteah, R. Fluvial form in modern continental sedimentary basins: Distributive fluvial systems. **Geology**, v. 38, p. 39-42, 2010.
- Zani, H.; Rossetti, D.F. Multitemporal Landsat data applied for deciphering a megafan in northern Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, p. 6060-6075, 2012.