

Redes de Drenagem Distributária e Formas Depositionais no Megaleque do Taquari, Pantanal Mato-Grossense: Uma Análise Baseada no Processamento de Dados SRTM

Hiran Zani¹
Mario Luis Assine²
Aguinaldo Silva¹
Fabrício Aníbal Corradini¹

¹Universidade Estadual Paulista – UNESP
Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE – Campus Rio Claro
Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente
hiran@zani.com.br

² Universidade Estadual Paulista – UNESP
Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE – Campus Rio Claro
Departamento de Geologia Aplicada

Resumo

Megaleques são sistemas fluviais distributários com extensão superficial da ordem de 10^3 a 10^5 km². Tais sistemas compõem a maior parte do trato deposicional do Pantanal Mato-grossense. Dentre eles se destaca o megaleque do Taquari, com área aproximada de 49.000km² e superfície caracterizada pela presença de complexa rede de canais e paleocanais distributários e de formas deposicionais com geometria lobada. Análise baseada no processamento de dados SRTM foi realizada com o objetivo de mapear as redes de drenagem distributária e as formas deposicionais. Com base em modelos digitais de elevação, dez paleo-redes de drenagem distributária foram reconhecidas na superfície do megaleque do Taquari, todas elas constituindo formas deposicionais de geometria lobada altimetricamente mais altas que seu entorno. A identificação destes elementos deposicionais é passo inicial para a reconstituição de eventos de construção e abandono de lobos, bem como para a previsão de futuras mudanças no curso do rio Taquari.

Palavras-Chave: Pantanal, megaleque fluvial, SRTM, MDE, drenagem distributária, formas deposicionais

Abstract

Megafans are large fluvial distributary systems with areal extent varying from 10^3 to 10^5 km². Fluvial megafans are the main depositional system in the Brazilian Pantanal basin, being the Taquari megafan the most remarkable of them covering an area of approximately 49.000 km². Distributary drainage networks and depositional lobes are major geomorphic features on the Taquari megafan surface. In this study, digital elevation models (DEM) based on remote sensing were used to identify and to map these geofoms. As a result, ten depositional lobes were recognized on the fan surface, all of them distributary drainage networks topographically higher than the surrounding areas. The recognition of these drainage and depositional features is the first step to reconstruct the paleogeographic evolution and to forecast future river channel changes.

Keywords: Pantanal wetland, fluvial megafan, SRTM, DEM, distributary drainage, depositional forms

1. Introdução

Leques aluviais são depósitos sedimentares dominados por fluxos gravitacionais ou processos fluviais que, quando observados em planta, apresentam forma cônica (Bull, 1977). Ocorrem freqüentemente associados a escarpas existentes no limite entre relevos altos e terrenos planos adjacentes (Rachocki, 1981) e apresentam extensão que variam de dezenas de metros a poucos quilômetros (Hooke, 1967).

Condições excepcionais, como alto suprimento sedimentar de origem fluvial e a existência de grande espaço de acomodação criado, podem resultar na formação de megaleques (Leeder, 1999; Horton & DeCelles, 2001). Estes sistemas fluviais distributários ocorrem predominantemente em bacias sedimentares de *foreland* e têm extensão superficial da ordem de 10^3 a 10^5 km² (Gohain & Parkash, 1990; Gupta, 1997; Stanistreet & McCarthy, 1993; DeCelles & Cavazza, 1999).

Embora não seja propriamente uma bacia do tipo *foreland*, a bacia sedimentar do Pantanal possui um trato deposicional composto por vários megaleques fluviais (Fig. 1), dentre os quais o megaleque do Taquari constitui a feição geomórfica mais notável da planície, com cerca de 49.000km² (Braun, 1977; Assine & Soares, 2004).

Redes de canais e paleocanais distributários caracterizam a morfologia superficial do megaleque. A identificação e o mapeamento destes elementos espaciais é um dos meios para o reconhecimento dos processos deposicionais que atuaram em sua morfogênese (e.g. Assine, 2003). Os processos responsáveis pela formação dos megaleques estão ativos desde o Pleistoceno tardio (Ab`Saber, 1988) e sua compreensão é fundamental para a reconstituição da evolução geomorfológica regional e antevisão de tendências futuras de mudanças na paisagem.

Este trabalho tem como escopo reconhecer e caracterizar as redes de canais e paleocanais distributárias existentes no megaleque do Taquari, assim como identificar as principais formas que delineiam os lobos deposicionais.

2. Sedimentação em leques aluviais

A dinâmica sedimentar em megaleques fluviais apresenta muitas semelhanças, em termos de evolução, com a dos leques aluviais dominados por fluxos de gravidade (e.g.; Schumm, 1977; Leeder, 1999; Horton & DeCelles, 2001; Assine, 2003). A análise dos trabalhos publicados sobre o tema revela a existência de modelo qualitativo de grande

aplicação, tanto para leques dominados por fluxos de gravidade quanto para leques dominados por rios, baseados na existência de lobos deposicionais, ativos e abandonados (Denny, 1967; Bull, 1977; Schumm, 1977; Rachocki, 1981). Lobos deposicionais são formas alongadas que expressam padrão de sedimentação produzido por rede de drenagem distributária, numa dinâmica sedimentar de construção e abandono de lobos (Fig. 2).

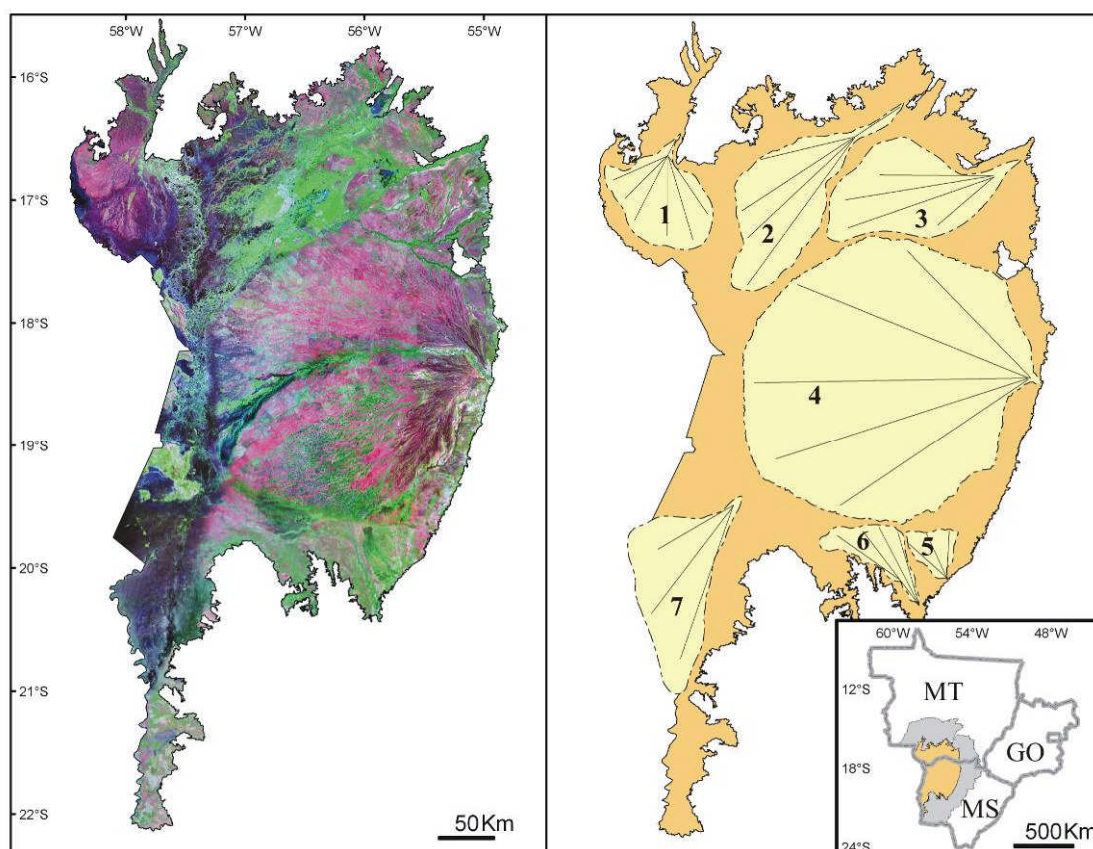


Fig. 1 – Megaleques do Pantanal. 1 – Corixo Grande; 2 – Cuiabá; 3 – São Lourenço; 4 – Taquari; 5 – Taboco; 6 – Aquidauana e 7 – Nabileque.

Neste ambiente de baixas declividades, a continuidade de processos de agradação e progradação sedimentar resulta em formas que apresentam cotas altimétricas superiores às das áreas adjacentes (Assine, 2005; Volker et al., 2007). Portanto, os principais elementos geomórficos que compõem um leque, como lobos deposicionais e complexos de canais distributários e seus diques marginais, devem apresentar expressões altimétricas características. Assim, modelos digitais de elevação (MDE) constituem excelente ferramenta para o mapeamento destas formas deposicionais e para o reconhecimento de relações morfológicas, tais como superposição e truncamento dos elementos identificados.

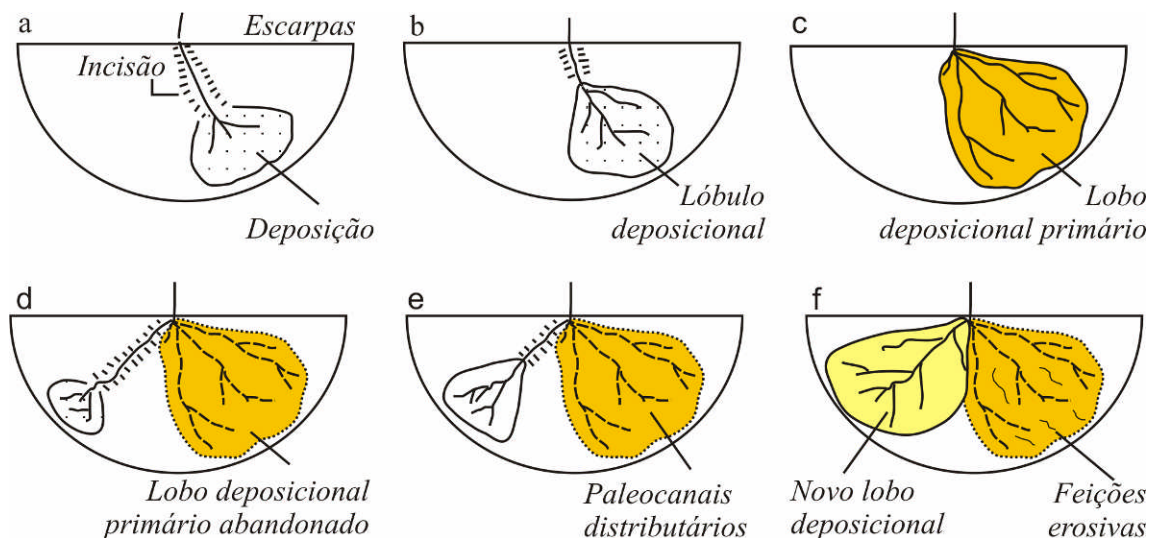


Fig. 2 – Modelo de sedimentação de leques aluviais. (a) Incisão e entrincheiramento da zona proximal e início da deposição na zona distal; (b) preenchimento sedimentar do canal à montante e progradação sedimentar para jusante; (c) preenchimento do canal e aumento da rede distributária; (d) abandono do lobo primário com incisão à montante do novo canal e deposição na zona distal; (e) (f) progradação sedimentar, aumento da rede distributária e formação de um novo lobo deposicional.

3. Material e métodos

Os métodos utilizados neste trabalho foram exclusivamente baseados no tratamento e análise espacial de dados orbitais da missão SRTM. Vários pesquisadores aplicaram com sucesso este tipo de informação altimétrica em estudos geomorfológicos (e.g. Verstraeten, 2006; Valeriano & Abdon, 2007, Reinhard et al., 2008). Características e especificidades técnicas da missão, fundamentais para a boa interpretação dos dados, encontram-se detalhadamente discutidas em trabalhos como os de Zyl (2001) e Far et al. (2007).

O procedimento inicial para o reconhecimento das diferenças altimétricas locais, que caracterizam os elementos geomórficos do megaleque, consistiu no cálculo de superfícies de tendência através de um algoritmo de regressão polinomial genérico:

$$Z = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^i b_{x^i y^j} x^i y^j \quad (\text{Eq. 1})$$

onde: k é o grau escolhido para o polinômio; i e j são variáveis de interação associadas à k , nas quais $i=0..k$ e $j=0..i$.

Testes estatísticos paramétricos foram realizados para identificar a razão das variâncias entre as superfícies de tendências computadas com os dados originais SRTM, ou

seja, para verificar quantitativamente qual é a ordem da Eq. 1 que possui representatividade mínima dos dados SRTM para o megaleque do Taquari.

A superfície de tendência calculada pela Eq. 1 (Z_{TRD}) e selecionada a partir do teste paramétrico foi subtraída da grade original de dados SRTM (Z_{SRTM}), resultando valores altimétricos relativos (Z_{RES}):

$$Z_{RES} = Z_{TRD} - Z_{SRTM} \text{ (Eq. 2)}$$

Para a confecção do plano de informação final aplicou-se o algoritmo da curvatura mínima na interpolação dos resultados da Eq. 2. O MDE gerado foi inserido em um banco de dados geográficos (SIG) para a visualização e interpretação dos resultados. Finalmente, foram efetuadas análises estatísticas descritivas para a construção de gráficos e reconhecimento das distribuições / frequências dos modelos.

4. Resultados e discussão

Superfícies de tendência de graus 1 a 4 foram obtidas a partir da aplicação da Eq. 1 em dados SRTM (Fig. 3). Os testes paramétricos de variância apontaram a superfície cúbica como grau mínimo para a representatividade da tendência topográfica do megaleque (Tab. 1).

Tab. 1 – Resultado do teste de variância (Fisher), com 95% de intervalo de confiança.

Grau da superfície	Ajuste dos dados (r)	Valor F observado *	Hipótese aceita **
1°	0.82	1.091	Ha
2°	0.95	1.049	Ha
3°	0.97	0.996	H0
4°	0.97	0.992	H0

* Valor crítico de F: 1.018.

** H0: os valores de tendência computados possuem baixa variância em relação aos dados originais

Ha: os valores de tendência computados diferem dos dados originais

As superfícies de tendência representam em diferentes graus de complexidade o arranjo global da topografia do megaleque do Taquari. A partir da superfície de 2° grau, observa-se que isolinhas altimétricas semicirculares irradiam das altitudes mais elevadas. Este tipo de configuração topográfica é característico de sistemas deposicionais como leques aluviais (Bull, 1977), megaleques fluviais (Geddes, 1960), deltas (Schumm, 1977) e até mesmo leques submarinos (Booth et al., 2003).

Com base em testes paramétricos, a superfície cúbica da Fig. 3 é a que apresentou a complexidade espacial mínima para representar a topografia do megaleque. Por isso, foi subtraída da grade altimétrica original (Eq. 2), resultando em MDE com maior contraste e menor variabilidade altimétrica em relação aos dados SRTM originais (Fig. 4), o que constituiu a base para a identificação das formas deposicionais. O processamento realizado alterou o *datum* global, geóide WGS84, para uma superfície cúbica calculada pela Eq. 1.

O MDE processado foi fatiado em três classes de altura: A) -16 a -1m para as superfícies abaixo da tendência do megaleque; B) 0 a 2m para as superfícies concordantes com a tendência e C) 3 a 32m para as superfícies com alturas superiores à tendência geral (Fig. 5-A). Foram identificadas dez formas deposicionais com geometria lobada, sendo cinco localizadas no cone de sedimentação atual do Taquari e cinco abandonadas (Fig. 5-B).

Verificou-se que as características dos padrões de canal dos lobos antigos diferem daqueles situados no lobo distributário atual. As formas antigas também se mostraram consideravelmente de maior dimensão em área que as atuais. Conforme demonstrou Harvey (2002), leques aluviais registram em sua superfície modificações ocorridas nos sistemas fluviais. Alterações hidráulicas nos rios estão, por sua vez, associadas a mudanças climáticas (e.g. Carignano, 1999; Sohn et al., 2007).

No ambiente deposicional do megaleque, a posição altimétrica superior dos lobos deposicionais sugere que estas feições sedimentares estão sobrepostas a formas mais antigas. Assim, buscando uma ordem cronológica relativa, as formas mapeadas através do MDE processado podem ser consideradas elementos geomórficos mais recentes na Bacia do Pantanal. Relações superficiais de truncamento entre os lobos, como pode ser observado na porção norte da Fig. 5-A, também podem auxiliar na hierarquização temporal dos processos (e.g., Denny, 1967; Assine, 2003).

Valeriano et al. (2007) argumentou que em áreas de baixas amplitudes altimétricas, como no Pantanal, a vegetação pode criar formas artificiais de relevo nos MDE's derivados dos dados SRTM. No entanto, como observou Casco et al. (2005) a vegetação é um bom indicador de formas fluviais e pode, por outro lado, auxiliar na identificação de elementos geomórficos. Já as feições lineares que se encontram na zona nordeste do MDE processado (Fig. 5A) não expressam elementos fisiográficos ou geomorfológicos. Estas linhas paralelas com ganho altimétrico, orientadas 45°NE, constituem um artefato intrínseco da banda C/SRTM (Bhang et al., 2007).

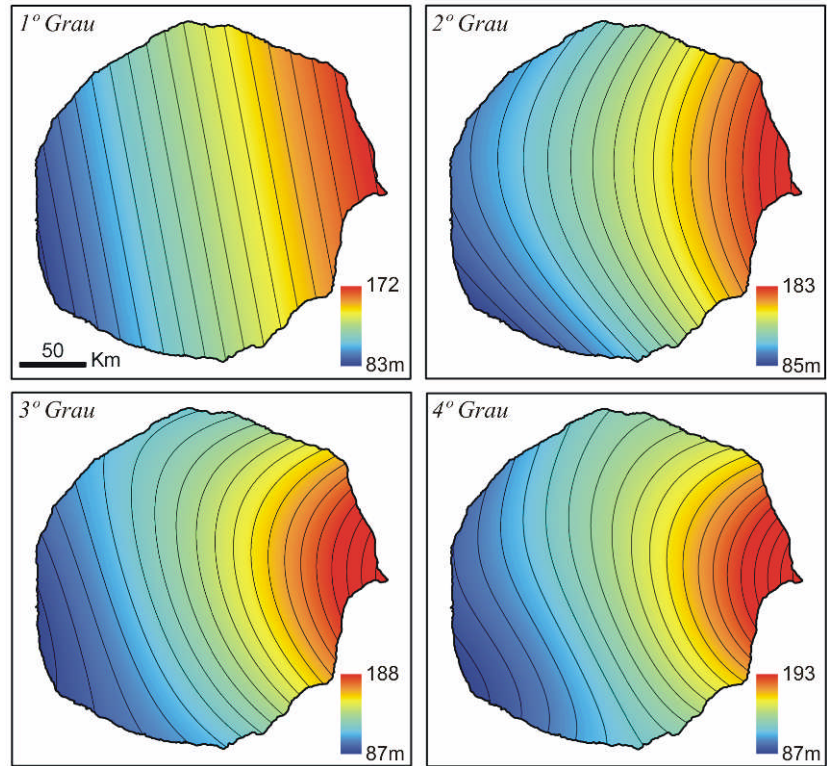


Fig. 3 – Superfícies de tendência geradas para o megaleque do Taquari.

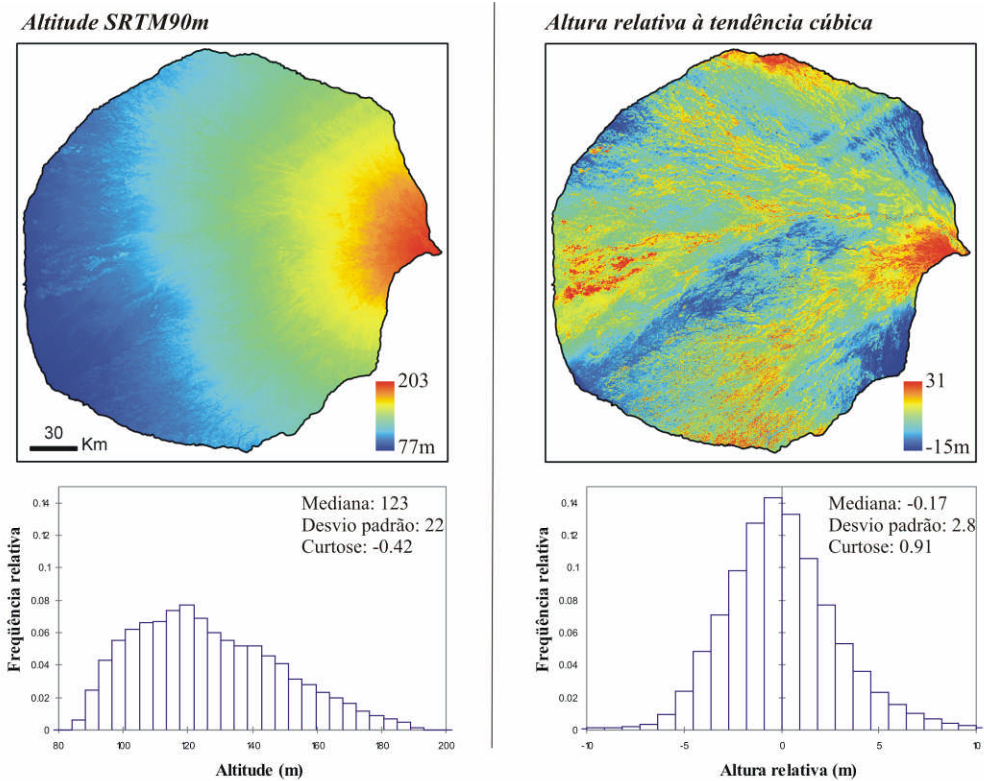


Fig. 4 – Na parte superior: comparação entre os MDE's gerados. Na parte inferior: histograma de MDE derivado da superfície cúbica possui maior frequência relativa.

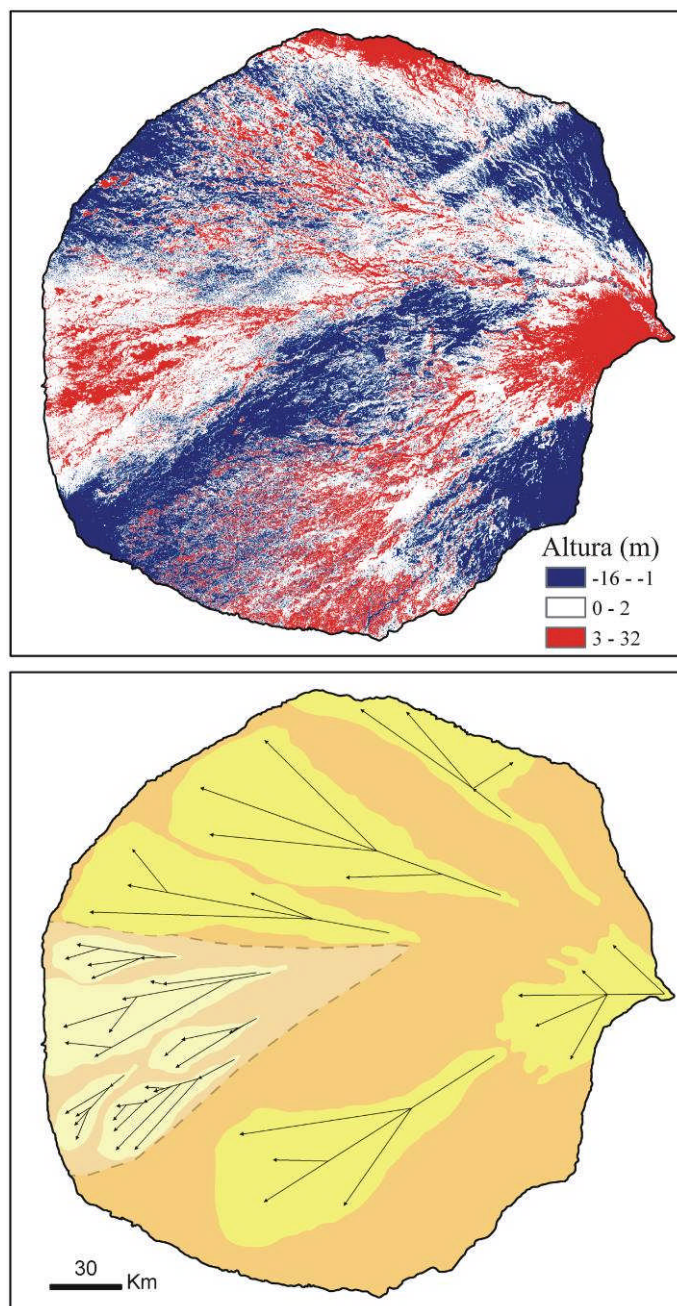


Fig 5 – Formas deposicionais identificadas. A) MDE fatiado em 3 classes de altura; B) lobos deposicionais recentes (amarelo claro) e lobos abandonados (amarelo escuro)

5. Conclusões

Diante do exposto, conclui-se que a superfície do megalake do Taquari é caracterizada pela presença de lobos deposicionais. Estes elementos deposicionais, morfologicamente mais altos que seu entorno, apresentam densas redes de drenagem

distributária e podem ser considerados como sendo as feições mais recentes desta porção da Bacia do Pantanal.

O modelo de evolução por meio da construção e abandono de lobos deposicionais também pode ser aplicado ao megaleque do Taquari. No entanto, a configuração espacial das formas identificadas sugere uma dinâmica mais complexa e menos linear, onde formas deposicionais de diferentes idades se sobrepõem, resultando numa intrincada malha de redes superpostas de canais e paleocanais distributários de diferentes idades, numa configuração mais complexa que a sucessão proposta anteriormente por Assine (2003) e Zani et al. (2006).

Agradecimentos

Os autores externam seus agradecimentos à FAPESP pela concessão de bolsa de mestrado a Hiran Zani (06/02381-8) e pelo apoio às pesquisas no Pantanal Mato-Grossense (processo 07/55987-3), ao CNPq pela concessão de bolsa PQ a Mario L. Assine (308724/2006-2) e bolsa de doutorado a Aguinaldo Silva e à CAPES pela concessão de bolsa de doutorado a Fabrício Aníbal Corradini.

Referências bibliográficas

Ab'Saber, A.N. (1988) O Pantanal Matogrossense e a teoria dos refúgios. *Revista Brasileira de Geografia*, 2:9-57.

Assine, M.L. (2003) Sedimentação na bacia do pantanal mato-grossense, centro oeste do Brasil. Tese de Livre Docência. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 105p.

Assine, M. L. (2005) River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal Wetland, Brazil. *Geomorphology*, 70: 357-371.

Assine, M.L. & Soares, P.C. (2004) Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. *Quaternary International*, 114(1):23-34.

Assine, M.L.; Padovani, C.R.; Zacharias, A.A.; Angulo, R.J.; Souza, M.C. (2005) Compartimentação geomorfológica, processos de avulsão fluvial e mudanças de curso do rio Taquari, Pantanal Mato-Grossense. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6:97-108.

Bhang, K. J.; Schwartz, F. W.; Braun, A. (2007) Verification of the vertical error in C-band SRTM DEM using ICESat and Landsat-7, Otter Tail County, MN. *IEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45:36-44.

Booth, J.R.; et al. (2003) Paleo-bathymetric controls on the stratigraphic architecture and reservoir development of confined fans in the Auger Basin: central Gulf of Mexico slope. *Marine and Petroleum Geology*, 20:563-586.

Braun, E.W.G. (1977) Cone aluvial do Taquari, unidade geomórfica marcante na planície quaternária do Pantanal. *Revista Brasileira de Geografia*, 39:164-180.

Bull, W.B. (1977). The alluvial-fan environment. *Progress in Physical Geography*. Londres, 1:222-270.

Carignano, C.A. (1999) Late Pleistocene to recent climate change in Córdoba Province, Argentina: Geomorphological evidence. *Quaternary International*, 57/58:117-134.

Casco, S.L.; Chiozzi, N.I.; Neif, J.J. (2005) La vegetación como indicador de la geomorfología fluvial. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6:123-136.

DeCelles, P.G. & Cavazza, W. (1999) A comparison of fluvial megafans in the Cordilleran (Upper Cretaceous) and modern Himalayan foreland basin systems. *Geological Society American Bulletin*, 111:1315-1334.

Denny, C.S. (1967) Fans and pediments. *American Journal of Science*, 265: 81-105.

Farr, T.G; et al. (2007) The Shuttle Radar Topography Mission. *Review in Geophysics*. Nova Iorque, 45(2):21-35.

Geddes, A. (1960) The alluvial fan morphology of the Indo-Gangetic Plains. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 28:253-267.

Gohain, K. & Parkash, B. (1990) Morphology of the Kosi megafan. In: A.H. Rachocki and M. Church (Eds.) *Alluvial Fans – A field Approach*. Wiley. pp151-178.

Gupta, S. (1997) Himalayan drainage patterns and the origin of fluvial megafans in the Ganges foreland basin. *Geology*, 25:11-14.

Harvey, A.M. (2002) The role of base-level change in the dissection of alluvial fans: case studies from southeast Spain and Nevada. *Geomorphology*, 45:67-87.

Hooke, R.L. (1967) Processes on arid-region alluvial fans. *Geology*, 75:438-460.

Horton, B.K. & DeCelles, P.G. (2001) 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*, 13:43-61.

Leeder, M. (1999) *Sedimentology and Sedimentary Basins: From Turbulence to Tectonics*. Blackwell. 529p.

Rachocki, A. (1981) *Alluvial fans: an attempt at an empirical approach*. Wiley. 161p.

Reinhard, C.; Wünnemann, B.; Krivonogov, S.K.(2008). Geomorphological evidence for the Late Holocene evolution and the Holocene lake level maximum of the Aral Sea. *Geomorphology*, 93:302-315.

Schumm, S.A. (1977) *The Fluvial System*. Wiley. 338p.

Sohn, M.F.; Mahan, S.A.; Knott, J.R.; Bowman, D.D. (2007) Luminescence ages for alluvial-fan deposits in Southern Death Valley: Implications for climate-driven sedimentation along a tectonically active mountain front. *Quaternary International*, 166:49-60.

Stanistreet, I. G. & McCarthy, T. S. (1993) The Okavango Fan and the classification of subaerial fan systems. *Sedimentary Geology*, 85:115 - 133.

Valeriano, M.M.; Abdon, M.M.A. (2007) Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. *Revista Brasileira de Cartografia*, 59:63-71.

Verstraeten, G. (2006) Regional scale modelling of hillslope sediment delivery with SRTM elevation data. *Geomorphology*, 81:128-140.

Volker, H.X.; Waskiewicz, T.A.; Ellis, M.A. (2007) A topographic fingerprint to distinguish alluvial fan formative processes. *Geomorphology*, 88:34-45.

Zani, H.; Assine, M. L.; Araújo, B. C.; Merino, E. R.; Silva, A.; Fancicani, E.. (2006) Lobos deposicionais na evolução do megaleque do rio Taquari, Pantanal Mato-Grossense. In: 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande - MS, INPE, p. 285-292.

Zyl, J.J. (2001) The shuttle radar topography mission (SRTM): a breakthrough in remote sensing of topography. *Acta Astronautica*, 48:5-12.