

Processamento de Dados SRTM30 para Extração de Geformas Depositionais em Macroescala: Aplicação em Bacias Sedimentares Sul-Americanas

Hiran Zani¹
Mario Luis Assine²

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
assine@rc.unesp.br

Abstract

Large geofoms are hardly seen in modern depositional systems due to low-gradient slopes and great extent of architectural elements. However, their recognition is a fundamental step to characterize the macroscale environments. A method based on spatial analysis of SRTM30 elevation data is proposed here to extract information on depositional geofoms. SRTM data were processed to show local relative relief. The process involved the transformation of the global datum WGS-84 to specific cubic polynomial surfaces. Tests were performed in four South American sedimentary basins, all of them sites of modern megafan sedimentation. The processed digital elevation model (DEM) allowed the recognition of fluvial distributary depositional systems. The method has revealed to be very useful in macroscale geofom analysis and it can be also potentially applied to discriminate smaller depositional forms.

Keywords: SRTM, remote sensing, megafan, megageomorphology, megafan, geoprocessing.

Resumo

Grandes geofomas são dificilmente observadas em sistemas deposicionais modernos devido às baixas declividades e grandes extensões dos elementos arquiteturais. Seu reconhecimento, no entanto, é fundamental para a caracterização dos sistemas em macroescala. Com o objetivo de extrair tais informações de dados de sensoriamento remoto, é proposto neste trabalho um método de análise espacial baseado no processamento de dados SRTM30, no qual os dados de altitude são transformados em altura relativa, com modificação do *datum* global para superfícies cúbicas. Para testar o método, foram analisadas quatro bacias sedimentares sul-americanas, com tratos dominados pela presença de megaleques fluviais. O processamento permitiu reconhecer sistemas deposicionais não discriminados em modelos digitais de elevação construídos com dados de SRTM30. O método revelou-se muito útil na análise de geofomas em macroescala, com grande potencial para aplicação na discriminação de formas de menores dimensões, como, por exemplo, no reconhecimento de canais e paleocanais distributários.

Palavras-Chave: SRTM, sensoriamento remoto, megageomorfologia, megaleque fluvial, geoprocessamento.

1. Introdução

Segundo Gardner & Scoging (1983), grande parte dos trabalhos em geomorfologia eram comumente centrados em estudos de cunho local, envolvendo curtos espaços temporais. Baker (1988) também destacou que muito do conhecimento geomorfológico produzido até então não era inserido no contexto regional. No entanto, paradigmas decorrentes da Teoria da Tectônica Global e a utilização de novas ferramentas analíticas (e.g. dados orbitais, geocronologia e computadores pessoais) impulsionaram estudos em escalas continentais, no que se passou a denominar megageomorfologia (Gardner & Scoging, 1983; Baker, 1986; Summerfield, 1991).

Assim como nas formas observadas e mensuradas em campo, formas identificadas em macroescala também podem revelar processos genéticos. Sistemas distributários, como megaleques e deltas, são produtos diretos de processos fluviais e a importância de seu reconhecimento independe da escala abordada.

Diversos pesquisadores demonstraram que a América do Sul apresenta condições ambientais ideais para o desenvolvimento de grandes geoformas deposicionais, como megaleques fluviais (Iriando, 1993; Horton & DeCelles, 2001; Assine, 2003; Leier et al., 2005; Wilkinson et al., 2006). Uma das principais motivações para sua investigação consiste na possibilidade de identificar mudanças ambientais recentes (Harvey, 2002; Assine & Soares, 2004; Fontana et al., no prelo).

Este trabalho tem por objetivo a aplicação de dados altimétricos SRTM30 e processamentos computacionais para a confecção de modelos digitais de elevação (MDE) que destaquem geoformas sedimentares em 4 diferentes áreas da América do Sul (Fig. 1).

2. Material e métodos

A metodologia utilizada neste trabalho foi exclusivamente baseada nos dados altimétricos SRTM30. Este MDE global é uma fusão das informações coletadas pela missão SRTM com os dados GTOPO30 e possui 900m de resolução de *pixel* na latitude equatorial. Informações técnicas sobre o produto SRTM30 e detalhes sobre a missão SRTM foram descritos por Far et al. (2007).

O procedimento inicial para a identificação das geoformas em macroescala consistiu no delineamento das bacias sedimentares através do fatiamento das altitudes. Para cada área foi definido um limiar altimétrico e construído um polígono, com o objetivo de

limitar a influência no processamento de relevos mais altos adjacentes. Foram calculadas superfícies de tendência para cada área, com a aplicação de uma equação polinomial cúbica:

$$Z_{TRD} = a_{00} + a_{10}x + a_{11}y + a_{20}x^2 + a_{21}xy + a_{22}y^2 + a_{30}x^3 + a_{31}x^2 + a_{32}y^2 + a_{33}y^3 \text{ (Eq. 1)}$$

Estas foram subtraídas da grade original de dados SRTM30 (Z_{SRTM}) para a obtenção dos valores altimétricos relativos (Z_{RES}), conforme a Eq. 2:

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

Posteriormente, para a confecção do plano de informação final, aplicou-se o algoritmo da Curvatura Mínima na interpolação dos resultados da Eq. 2. Os MDE's gerados foram inseridos em um ambiente SIG para a visualização e interpretação dos resultados. Finalmente, foram efetuadas análises estatísticas descritivas para a construção de gráficos e reconhecimento das distribuições das frequências nos modelos.

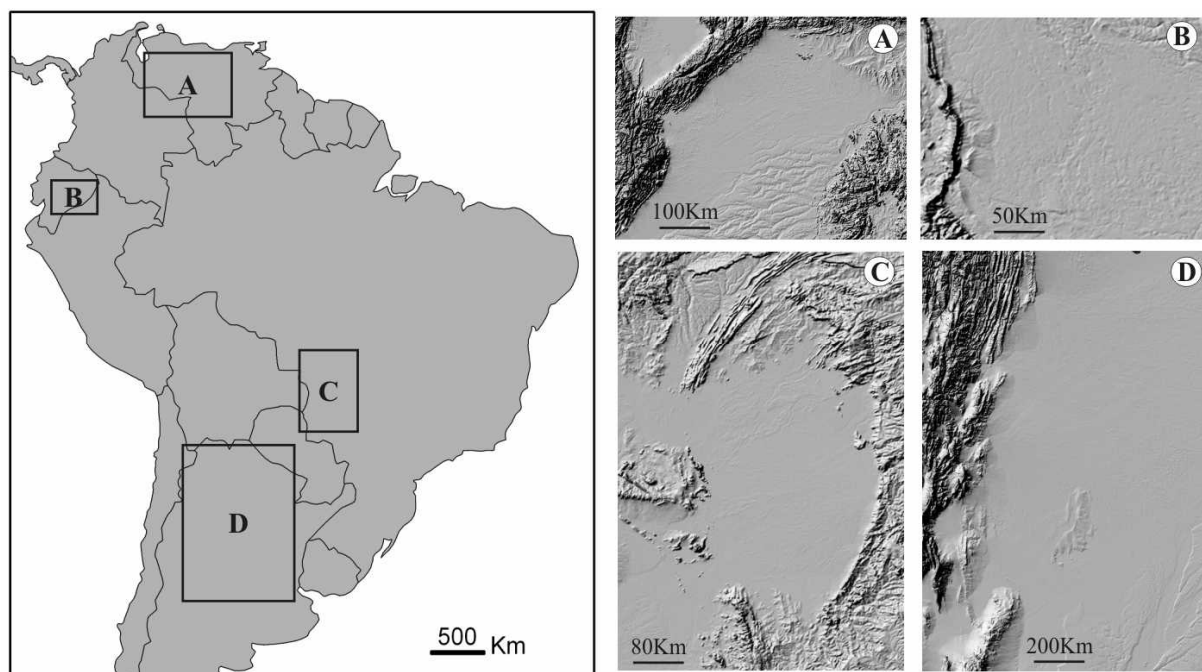


Fig. 1 – Localização das bacias analisadas. A – Bacia de Llanos, Venezuela; B – Bacia de Pastaza, Equador; C – Bacia do Pantanal, Brasil; D – Bacia do Chaco, Argentina.

3. Resultados e discussão

As quatro regiões sedimentares analisadas neste trabalho demonstraram diferentes distribuições dos valores altimétricos. A Fig. 2 representa dados de altitude derivados do SRTM30, posterior ao delineamento das bacias e exclusão das áreas altas adjacentes. Observa-se que as bacias do Chaco (Argentina) e Llanos (Venezuela) possuem as maiores variabilidades altimétricas e, conseqüentemente, grandes amplitudes de relevo. Já as bacias do Pantanal (Brasil) e de Pastaza (Equador) apresentam altitudes com menor variabilidade e um ambiente com menor declividade.

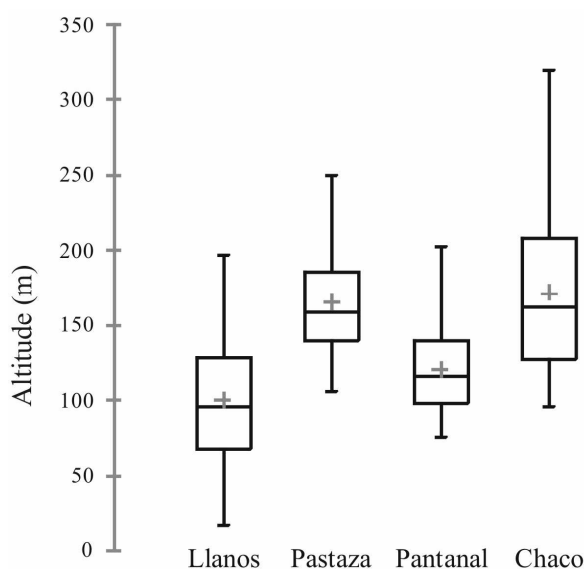


Fig. 2 – Distribuição dos valores altimétricos das bacias analisadas.

A aplicação da Eq. 1 individualmente nos MDE's SRTM30 resultou em 4 superfícies de tendência do relevo (Fig. 3). Estas figuras representam a expressão topográfica regional das áreas em análise e forneceram indícios sobre a localização das geoformas.

Todas as bacias sedimentares analisadas apresentaram morfologia superficial dominada por megaleques fluviais, caracterizados por isolinhas altimétricas semicirculares, que irradiam das altitudes mais elevadas, concêntricamente dispostas em relação aos pontos de entrada dos rios na bacia (Fig. 4 – SRTM30 original). Esta configuração topográfica é típica de sistemas de leques subaéreos em qualquer escala, desde pequenos leques dominados por fluxos de gravidade (Bull, 1977) a megaleques fluviais com centenas de quilômetros de extensão (Geddes, 1960). O mesmo padrão pode ser observado em outros sistemas deposicionais distributários, como deltas (Schumm, 1977) e leques submarinos (Booth et al., 2003).

Os planos de informação apresentados na Fig. 3 foram subtraídos da grade altimétrica original (Eq. 2), resultando num novo conjunto de dados (Fig. 4). Este processamento modificou os dados de altitude para altura relativa das formas, com modificação do *datum* global, geóide WGS84 (padrão SRTM30), para superfícies cúbicas individuais calculadas pela Eq. 1. O procedimento aplicado aumentou a frequência topográfica e facilitou a identificação das geoformas existentes (Fig. 4 – SRTM30 processado).

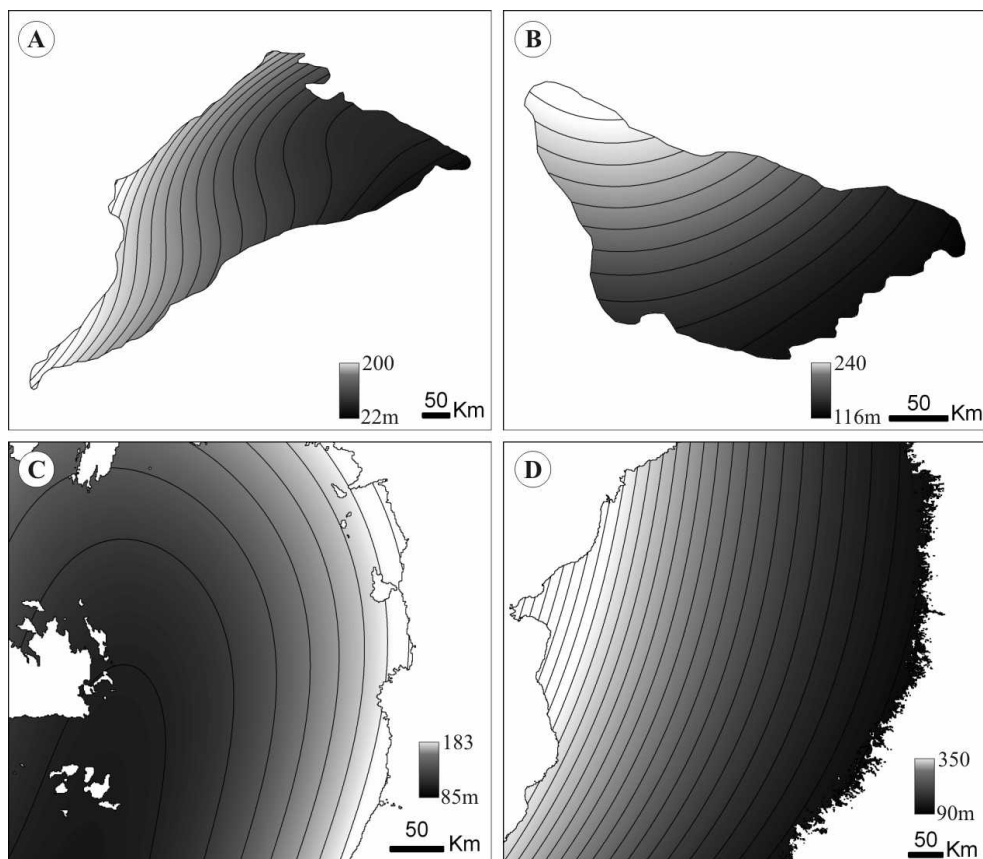


Fig. 3 – Superfícies de tendência topográfica (A - D conforme Fig. 1).

Em dois megaleques situados nas bacias de Llanos e de Pastaza foram identificadas evidências de incisão fluvial (Fig. 5A-B). Para Berc et al. (2005), as incisões no megaleque de Pastaza se iniciaram no Holoceno, induzidas pela orogênese andina. Por sua vez, Martinez (2006) também apontou influência estrutural dos Andes na evolução da bacia de Llanos. Tectônica sinsedimentar é causa freqüente de incisões fluviais em bacias sedimentares, como é o caso de leques existentes no vale da Morte, Califórnia (Hsu & Pelletier, 2003), mas deve-se ressaltar que podem também ser consequência de quedas do nível de base devido a mudanças climáticas (Miall, 1996).

Nas Bacias do Pantanal e do Chaco foram identificados os maiores exemplos de megaleques fluviais nas áreas estudadas (Fig. 5C-D), destacando-se os megaleques do Taquari no Pantanal (49.000 km²) e Pilcomayo no Chaco (183.132 km²). Da análise dos dados publicados por Leier et al. (2005), constata-se que estes dois sistemas estão entre os maiores megaleques já identificados. Para a formação de sistemas deposicionais de tais dimensões são necessárias as seguintes condições: geração de espaço de acomodação (Posamentier & Vail, 1988), suprimento sedimentar disponível e rios com capacidade para seu transporte (Leeder, 1999).

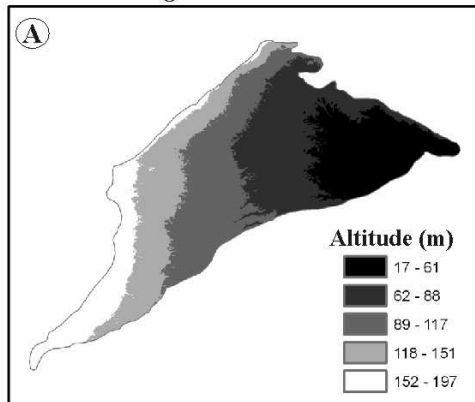
Elementos morfológicos comuns nas macro-geoformas identificadas são intrincadas redes de canais e paleocanais distributários, que se destacam na paisagem por serem topograficamente mais altos que as planícies de inundação adjacentes. As redes distributárias definem megaleques aluviais com centenas de quilômetros de extensão, que se justapõem lateralmente com a presença de depressões alongadas nas áreas de contato. Estas características são típicas deste tipo de sistema deposicional, tendo sido já documentadas por diversos pesquisadores (e.g. Geddes, 1960; Gohain & Parkash, 1990; Gupt, 1997; Horton & DeCelles, 2001; Assine & Soares, 2004; Fontana et al., no prelo).

4. Conclusão

Os resultados alcançados demonstraram que o processamento de cálculos de superfícies de tendência para a obtenção das alturas relativas ressaltou consideravelmente geoformas de grande dimensão espacial. Estes elementos dificilmente são visualizados em um MDE comum e também possuem dimensões que inviabilizam sua observação em campo. Portanto, dados provenientes de sensoriamento remoto são ferramentas imprescindíveis nesta escala de análise.

Embora não tenham sido discutidas neste trabalho, geoformas de menor extensão espacial, existentes na superfície dos megaleques (e.g. complexos de canal/diques marginais, baixios interdistributários e vales incisos), foram igualmente discriminadas pelos MDE's processados, mostrando que o método utilizado também pode ser aplicado na identificação de geoformas em mesoescala. Isto o torna ferramenta potencial para a discriminação de elementos morfológicos deposicionais em sistemas modernos caracterizados por topografia de baixo contraste altimétrico.

SRTM30 Original



SRTM30 Processado

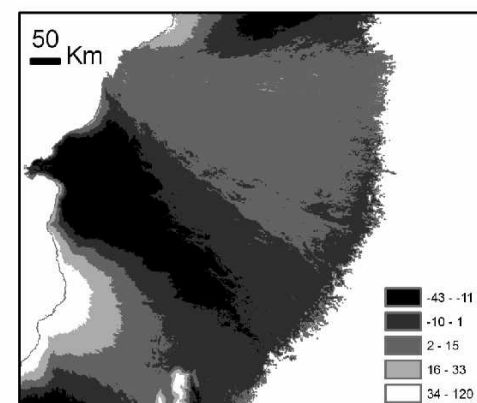
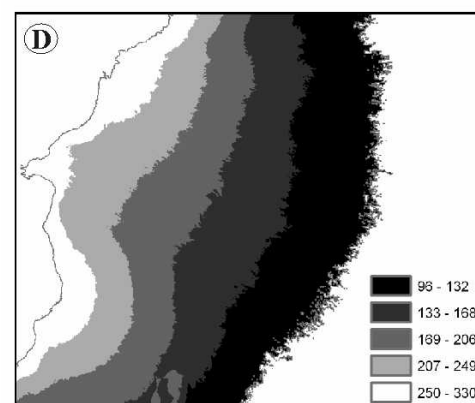
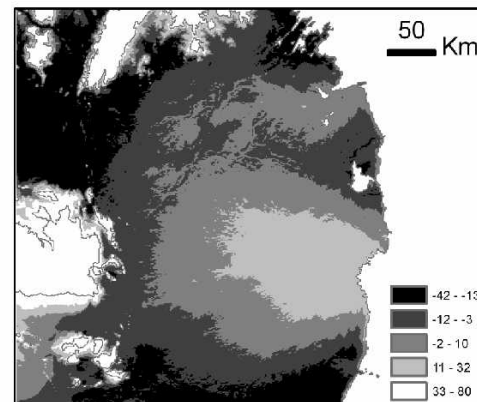
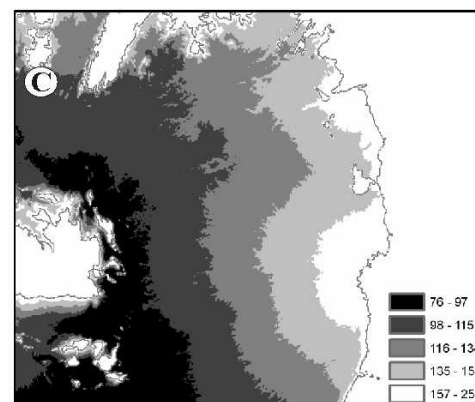
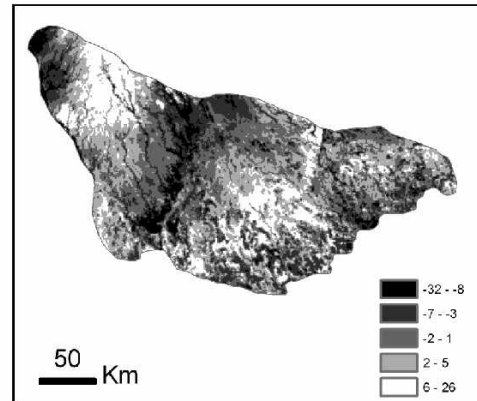
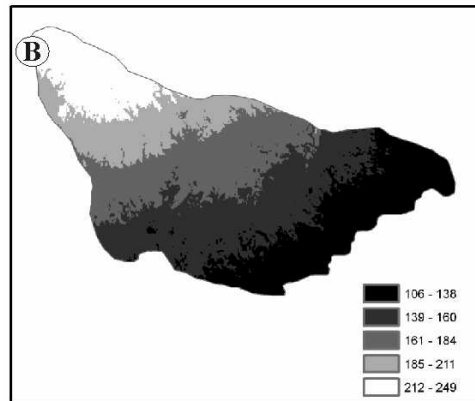
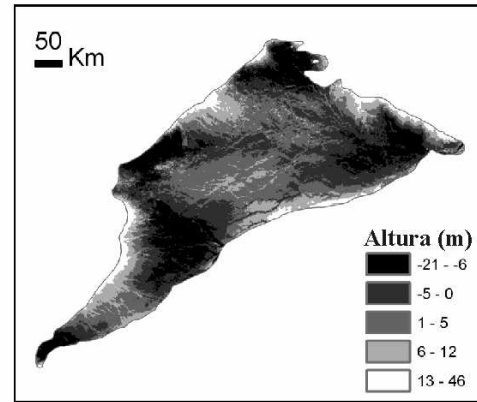
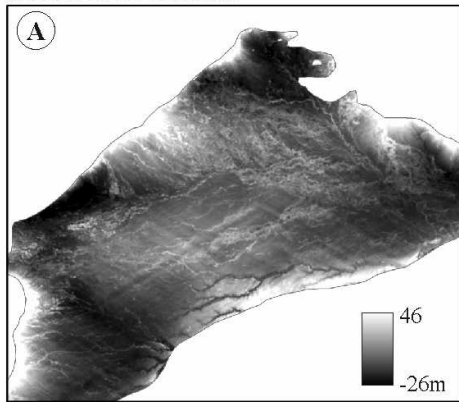


Fig. 4 – MDE's das quatro bacias. Geformas deposicionais são mais evidentes no SRTM30 processado, cuja escala está apresentada em intervalos de classe (A- D conforme Fig. 1).

SRTM30 Processado



Interpretação

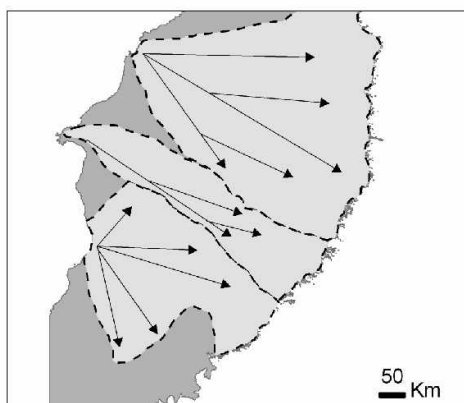
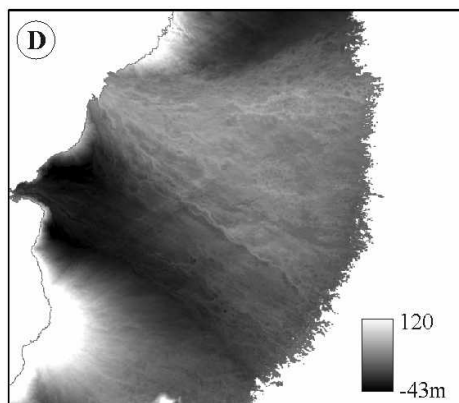
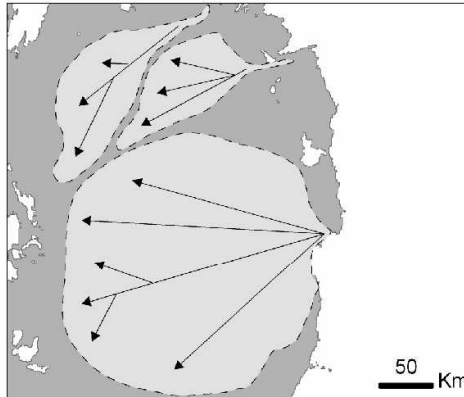
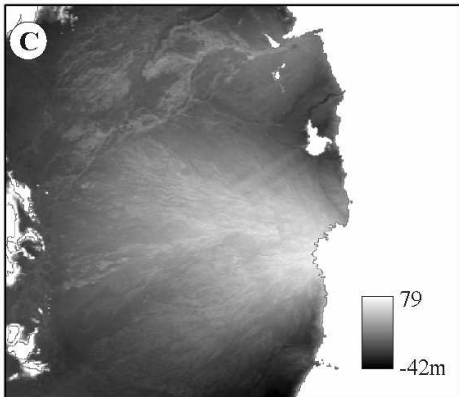
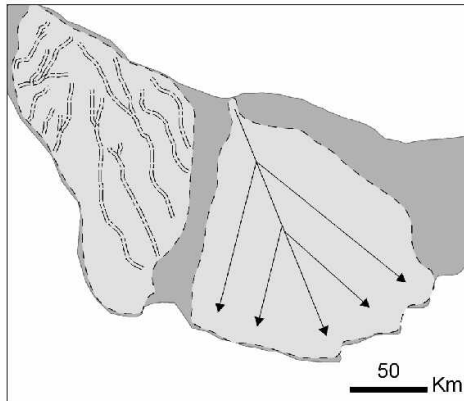
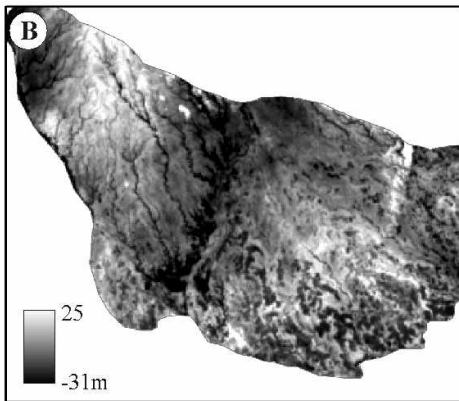
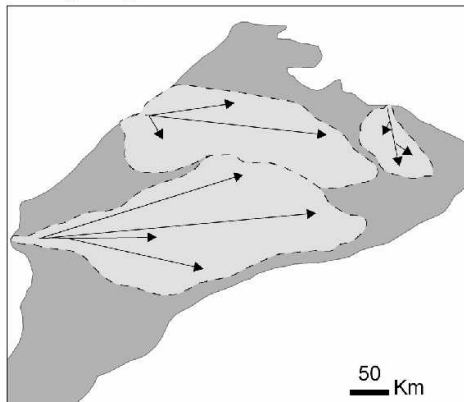


Fig. 5 – Geformas deposicionais ficam ainda mais evidentes em MDE's processados e apresentados em escala contínua de tons de cinza, permitindo reconhecimento mais detalhado da rede de drenagem distributória (setas) e vales incisivos (linha dupla pontilhada).

Agradecimentos

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

Bibliografia

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

Baker, V.R. (1986) Introduction: regional landforms analysis in N.M. Short and R.W. Blair Jr (eds). *Geomorphology from Space: A Global Overview of Regional Landforms*, 1-27. Nasa. 486p.

Baker, V.R. (1988) Cataclysmic processes in geomorphological systems. *Zeitschrift fur Geomorphologie*. Berlin, 67:25-32.

Berc, S.B.; et al. (2005) Geomorphic evidence of active deformation and uplift in a modern continental wedge-top-foredeep transition: Example of the eastern Ecuadorian Andes. *Tectonophysics*. Amsterdam, 399:351-380.

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.

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

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

Fontana, A.; Mozzi, P.; Bondesan, A. (no prelo) Alluvial megafans in the Venetian-Friulian Plain (North-eastern Italy): Evidence of sedimentary and erosive phases during Late Pleistocene and Holocene. *Quaternary International*. Amsterdam.

Gardner, R. & Scoging, H. (1983) *Mega-Geomorphology*. Oxford. 240p.

Geddes, A. (1960) The alluvial fan morphology of the Indo-Gangetic Plains. *Transactions of the Institute of British Geographers*. Londres, 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*. Amsterdam, 45:67-87.
- 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*. Amsterdam, 13:43-61.
- Hsu, L.; Pelletier, J.D. (2004) Correlation and dating of Quaternary alluvial-fan surface using scarp diffusion. *Geomorphology*. Amsterdam, 60:319-335.
- Iriondo, M. (1993) Geomorphology and late Quaternary of the Chaco (South America). *Geomorphology*. Amsterdam, 7:289-303.
- Leeder, M. (1999) *Sedimentology and Sedimentary Basins: From Turbulence to Tectonics*. Blackwell. 529p.
- Leier, A.L.; DeCelles, P.G.; Pelletier, J.D. (2005) Mountains, monsoons, and megafans. *Geology*. Nova Iorque, 33:289-292.
- Martinez, J.A. (2006) Structural evolution of the Llanos foothills, Eastern Cordillera, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*. Amsterdam, 21:510-520.
- Miall, A.D. (1996) *The Geology of Fluvial Deposits*. Springer. 582p.
- Posamentier, H.W.; Vail, P.R. (1988). Eustatic control on clastic deposition: II. Sequence and systems tracts models. In: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A., Van Wagoner, J.C. (Eds.), *Sea Level Changes: An Integrated Approach*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 42:125-154.
- Schumm, S.A. (1977) *The Fluvial System*. Wiley. 338p.
- Summerfield, M.A. (1991) *Global Geomorphology*. Longman. 537p.
- Wilkinson, M.J.; Marshall, L.G.; Lundberg, J.G. (2006) River behavior on megafans and potential influences on diversification and distribution of aquatic organisms. *Journal of South American Earth Sciences*. Amsterdam, 21:151-172.