

Análise de superfícies de tendência com dados SRTM: estudo de caso na bacia sedimentar do Pantanal

Hiran Zani ¹
Mario Luis Assine ²

¹Universidade Estadual Paulista – UNESP
AV. 24-A, 1515 - 13506-900 – Rio Claro – SP, Brasil
hيرانزاني@gmail.com

²Universidade Estadual Paulista – UNESP
AV. 24-A, 1515 - 13506-900 – Rio Claro – SP, Brasil
assine@rc.unesp.br

Abstract. Macro-scale trends in relief can mask important geomorphics forms that exist at smaller scales. Notionally, trend-surface analysis techniques are designed to remove the global component of spatial data in order to better understand local features. Modern sedimentary basins provide a unique opportunity to test trend surface analysis, as they typically contain large sedimentary units that hide local relief. Recognition of these local features is critical for understanding landscape evolution in the basin. This paper describes the application of the trend surface concept to the Pantanal of central-west Brazil using altimetry data from a remote sensing source. SRTM-DEM elevation data were processed to obtain a detrended surface along the Taquari megafan. A mask was applied to the SRTM-DEM to avoid high relief and non-sedimentary terrains within the region. Following masking and ASCII conversion, trends were obtained on the dataset by applying polynomial regression equations. Goodness-of-fit evaluations and comparing the generated trends with SRTM-DEM contours reveal that second-order surfaces were most accurate. Simple subtraction of these second order trends from altitude reveals local relief forms along the Taquari. A field campaign lead to ground truth the results concluded that the lowest points in local relief represent potential spaces for future sedimentation, as these areas are regular flooded during the rainy season. Conversely, areas identified in trends as high relief are rarely flooded, and such sites are interpreted as the product of continuous sedimentation. The results suggest that local topography plays an important role in surface-water distribution on the Taquari megafan.

Palavras-chave: trend-surfaces, Pantanal wetland, fluvial megafan, digital elevation model, superfícies de tendência, Pantanal Mato-grossense, megaleque fluvial, modelo digital de elevação.

1. Introdução

A análise de superfícies de tendência é um dos assuntos mais debatidos dentro da geologia matemática (Jones et al., 1986). Este procedimento visa à identificação do arranjo global de dados espaciais para melhor visualização das flutuações locais (Davis, 1986; Mather, 1991). Aplicações deste conceito são encontradas em geologia do petróleo (Davis, 1986), geomorfologia (Grohmann, 2005), geografia física (Mather, 1991) e sensoriamento remoto (Eppler e Full, 1992).

Ambientes de sedimentação, com baixas amplitudes altimétricas distribuídas em grandes áreas, possuem formas que são mascaradas pela tendência regional do relevo. Neste tipo de terreno, a identificação do arranjo global da topografia pode evidenciar áreas potenciais para sedimentação (estão abaixo do componente global, alturas negativas), e áreas que receberam maior aporte sedimentar (estão acima do componente global, alturas positivas).

A bacia do Pantanal é composta por grandes elementos deposicionais, megaleques fluviais, que possuem baixas amplitudes altimétricas e atingem áreas de até 50.000 km² (Assine e Soares, 2004), sendo o megaleque do Taquari notável exemplo deste tipo de feição (Figura 1).

Sistemas de megaleques apresentam um componente topográfico global relativamente simples, caracterizado por suaves isolinhas altimétricas concêntricas que irradiam das altitudes mais elevadas (e.g. Gohain e Parkash, 1990; Gumbricht et al., 2001). A identificação desta tendência geral da topografia e sua subtração de um modelo digital de elevação (MDE) revela flutuações locais do relevo (resíduos altimétricos), fundamentais para compreensão dos processos genéticos de superfície. Dados de sensoriamento remoto são imprescindíveis nesta escala de análise. Informações oriundas do componente SAR banda-C da missão SRTM (van Zyl, 2001), supriram parcialmente a carência de dados altimétricos de regiões como o Pantanal.

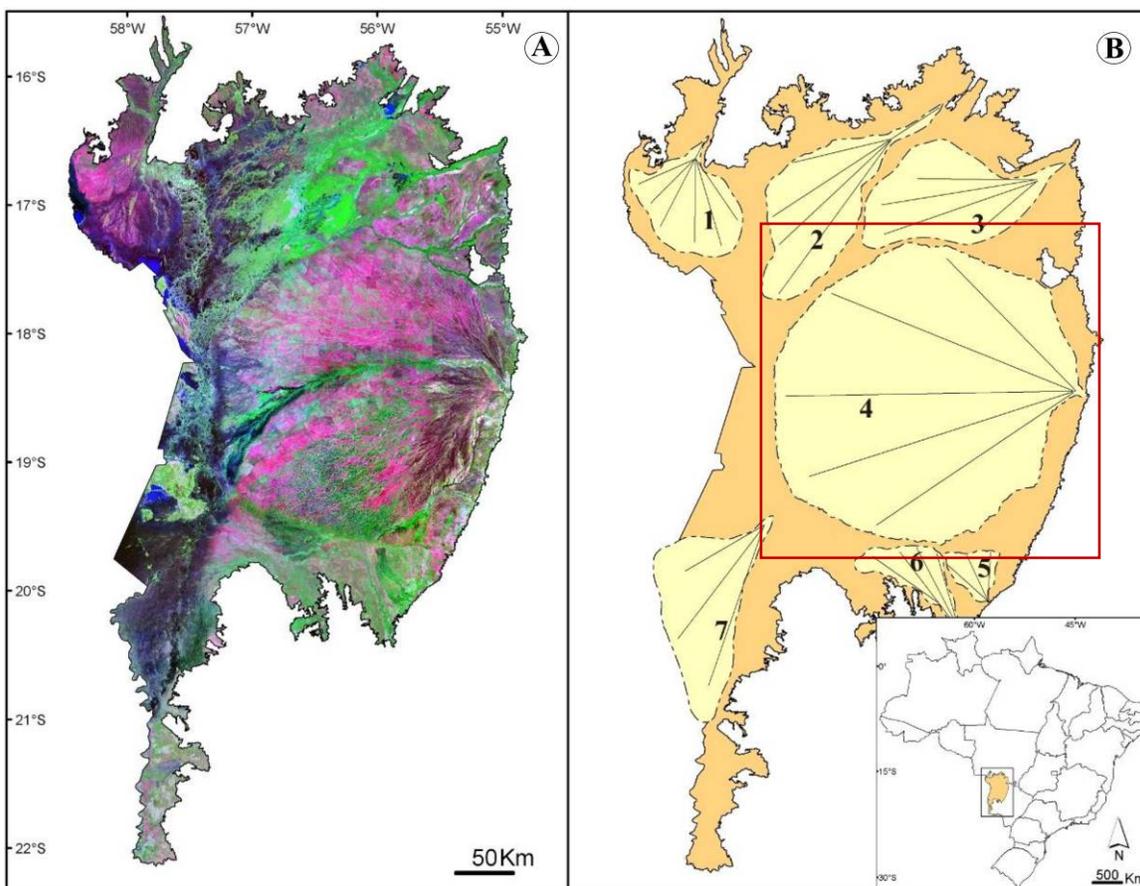


Figura 1. Limites do Pantanal brasileiro. A) Recorte do mosaico Landsat 4/5 Geocover 1990, R7G4B2; B) Megaleques fluviais que compõe seu trato deposicional, com destaque para a área estudada, megaleque do Taquari (4).

Neste trabalho, o conceito de superfícies de tendência é aplicado à análise da topografia da planície de sedimentação do Pantanal Mato-Grossense, fazendo uso do MDE-SRTM e tendo como estudo de caso o megaleque do Taquari.

2. Material e métodos

A aplicação do conceito de superfícies de tendência foi realizada exclusivamente em dados altimétricos da missão SRTM. Vários pesquisadores aplicaram com sucesso este tipo de informação altimétrica em estudos de geologia (e.g. Verstraeten, 2006; Rossetti e Valeriano, 2007). Características e especificidades técnicas da missão, fundamentais para a boa

interpretação dos dados, encontram-se detalhadamente discutidas em trabalhos como os de van Zyl (2001) e Far et al. (2007).

As superfícies de tendência são obtidas através de regressão multivariada com os valores de altitude (Z) em função das coordenadas geográficas (X e Y), conforme demonstra a Equação 1:

$$Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} X^i Y^j \quad (1)$$

onde: N é o grau do polinômio; i e j variáveis de interação associadas a N , e d coeficiente de regressão.

Quanto mais elevado o grau da Equação 1, mais complexa será a superfície resultante e melhor o ajuste da interpolação em relação aos dados originais. Testes estatísticos de hipóteses, baseados na análise da variância (ANOVA), podem fornecer suporte na escolha da superfície mais representativa. No entanto, deve-se favorecer o uso de equações de baixo grau, pois dificilmente processos geológicos podem ser representados por tendências oriundas de equações polinomiais de alto grau (Swan e Sandilands, 1995). No presente estudo de caso têm-se o conhecimento prévio da topografia geral de um megaleque, com componente global do relevo relativamente simples (e.g. Gohain e Parkash, 1990; Gumbrecht et al., 2001). Portanto, as tendências mais representativas geradas para o megaleque do Taquari, deverão ser provenientes de equações de baixa ordem.

As etapas do processamento se iniciaram com a aquisição dos dados SRTM 90m no repositório da NASA <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov>. Os dados foram importados no software ENVI 4.5 e efetuada automaticamente a correção de valores anômalos. Devido à sensibilidade da Equação 1 a valores extremos, e como o interesse deste trabalho é analisar somente terrenos originados de processos sedimentares, foi construída uma máscara para limitar a influência de terrenos altos adjacentes ao megaleque. A área de interesse foi recortada e exportada em formato ASCII para a realização dos cálculos no SURFER 8. Testes com superfícies de vários graus foram realizados, e a escolha da superfície mais representativa foi baseada na proximidade dos contornos com as formas gerais de megaleques e análise do ganho no ajuste (R^2) com graus mais elevados. Posteriormente, as flutuações locais de relevo (resíduos altimétricos) foram obtidas através de simples subtração da superfície de tendência gerada com o MDE-SRTM, e os valores resultantes interpolados pelo método da mínima curvatura. Os passos descritos estão ilustrados na Figura 2.

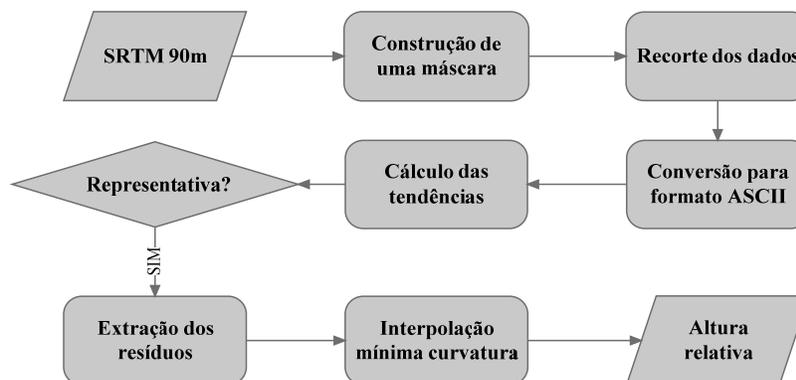


Figura 2. Etapas realizadas para a análise das superfícies de tendência no megaleque do Taquari e para a transformação dos valores altimétricos do MDE-SRTM em dados de altura relativa.

Após o processamento dos dados, o MDE gerado foi inserido no SIG ArcGIS para a visualização e interpretação dos resultados. Finalmente, foram efetuadas análises estatísticas descritivas para a construção de gráficos e reconhecimento das distribuições e das frequências dos modelos. Uma campanha de campo de cinco dias e sobrevôo na área foram realizados para a validação dos resultados.

3. Resultados e discussão

Superfícies de tendência de graus 1 a 4 foram obtidas a partir da aplicação da Equação 1 em dados SRTM (Figura 3). Não foi possível a interpolação de superfícies mais complexas, devido a restrições computacionais, no entanto, estatísticas de ajuste da Equação 1 puderam ser obtidas até o grau 9.

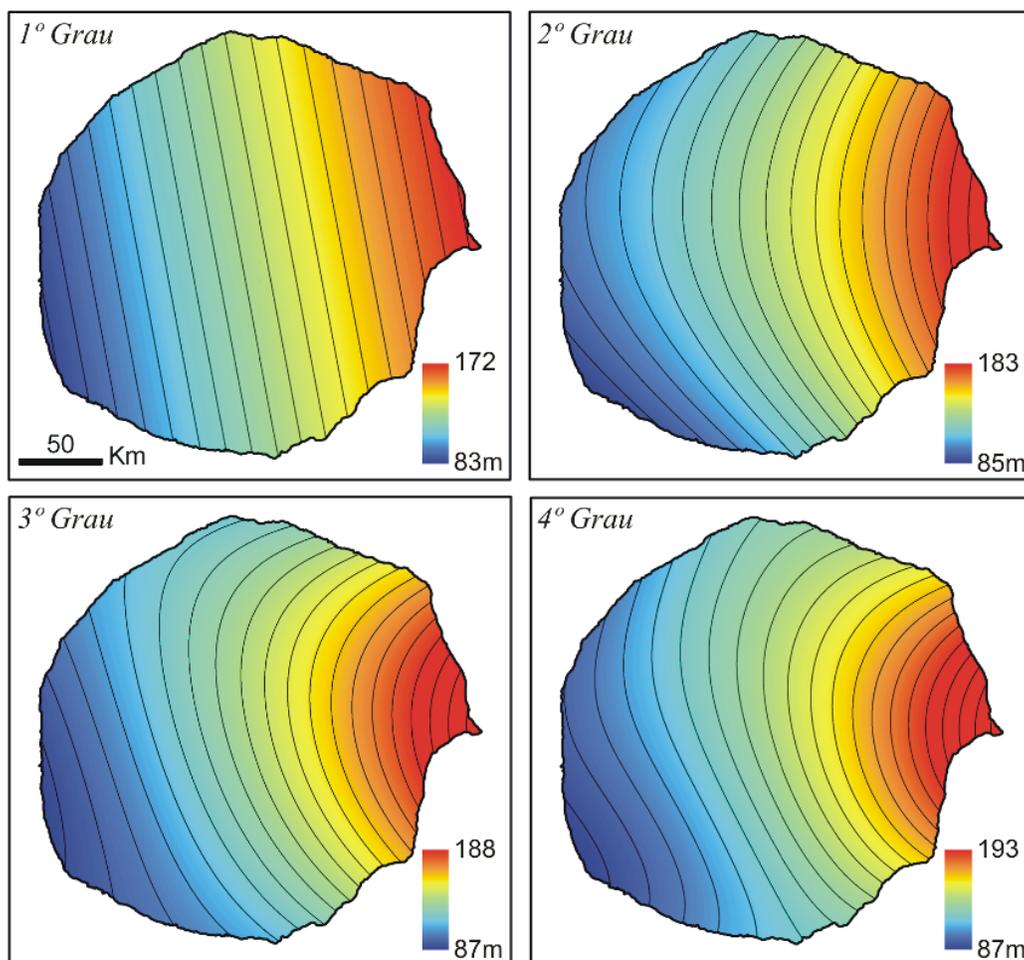


Figura 3. Superfícies de tendência geradas para o megaleque do Taquari.

A visualização das superfícies resultantes, assim como a análise dos dados de ajuste (R^2), indicam que um polinômio do segundo grau representa de maneira satisfatória o componente global da topografia do megaleque do Taquari (Figura 4). Embora a Figura 4-A apresente um ganho no ajuste, de uma superfície do segundo para o quarto grau, este é pouco representativo estatisticamente. Também deve-se considerar que superfícies de baixo grau são mais adequadas para a representação de fenômenos geológicos de grandes dimensões (Jones et al., 1986).

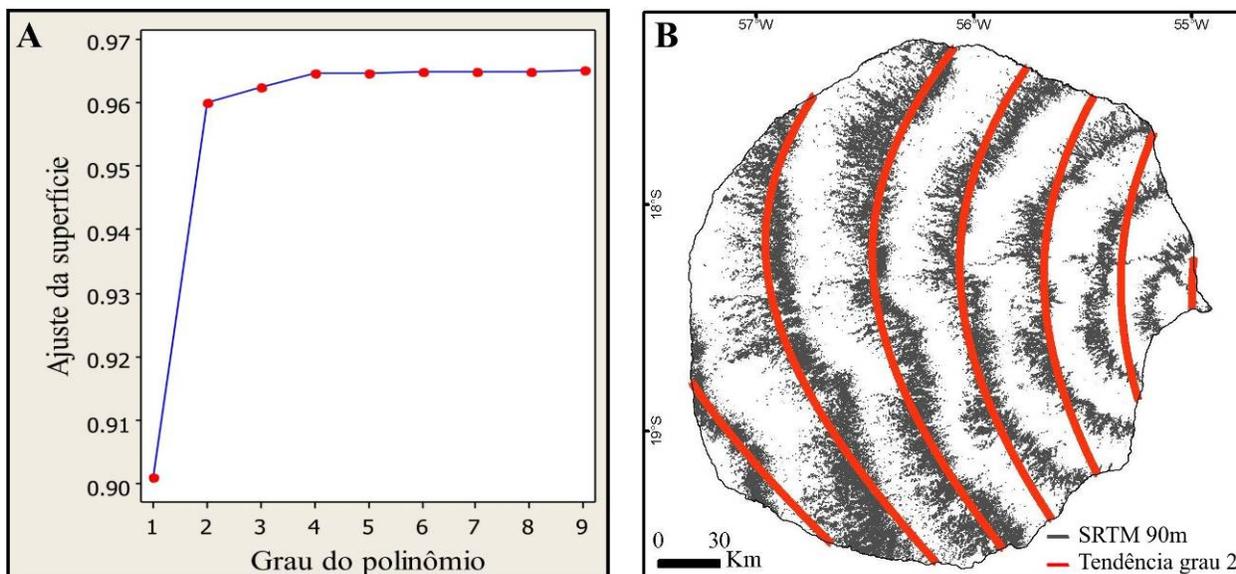


Figura 4. A) Ajuste das superfícies (R^2) em função do grau do polinômio utilizado; B) Contornos da superfície de tendência de grau 2 e contornos extraídos do MDE-SRTM, ambos com equidistância de 15m.

O resultado de um polinômio de grau 2 aplicado nas altitudes do megaleque apresentou configuração típica de sistemas de leques subaéreos, de variadas dimensões, desde pequenos leques dominados por fluxos de gravidade (Bull, 1977) a megaleques fluviais com centenas de quilômetros de extensão (Gohain e Parkash, 1990). O mesmo padrão pode ser observado em outros sistemas deposicionais distributários, como deltas (Schumm, 1977) e leques tubidíticos em plataformas continentais (Booth, 2003).

Extração da superfície de tendência quadrada do MDE-SRTM revelou as flutuações locais do relevo no megaleque do Taquari (Figura 5). Este plano de informação é constituído de valores altimétricos descontados da componente topográfica global, exibindo assim valores de altura relativos a esta nova superfície calculada pela Equação 1. A análise das distribuições e estatísticas descritivas destes planos de informação sugerem que houve um acréscimo na frequência dos dados após o processamento e que estes se aproximaram de uma distribuição normal. A comparação visual entre ambos evidencia aumento no contraste dos valores, após sua subtração com a superfície de tendência.

O processamento de remoção do componente global dos dados altimétricos ressaltou consideravelmente elementos geomórficos que compõe o megaleque do Taquari. Segundo Agterberg (1974), dados que discordam da superfície de tendência são considerados anomalias locais (resíduos), sendo negativos os valores que estão abaixo e positivos os valores que a superam. Em um ambiente dominado por processos de sedimentação, resíduos negativos indicam áreas potenciais para deposição; resíduos positivos sugerem formas deposicionais, produtos de processos sedimentares em locais específicos.

Esta hipótese pôde ser parcialmente verificada em campo. Áreas que com variações de relevo positivas apresentam geometria lobada, forma característica de processos sedimentares. Estes locais são pouco atingidos pelas enchentes sazonais e, não coincidentemente, alguns abrigam sedes de fazendas. Áreas com prevalência de resíduos negativos, por outro lado, são as mais atingidas pelas enchentes. Imagens de satélite e observações feitas no sobrevôo sugerem que estes locais mantêm-se alagados por mais tempo que seu entorno. Portanto, a topografia

local evidenciada pela análise da tendência revela-se um método potencial para reconhecer e mapear áreas com diferentes susceptibilidades à inundação na superfície do megaleque. .

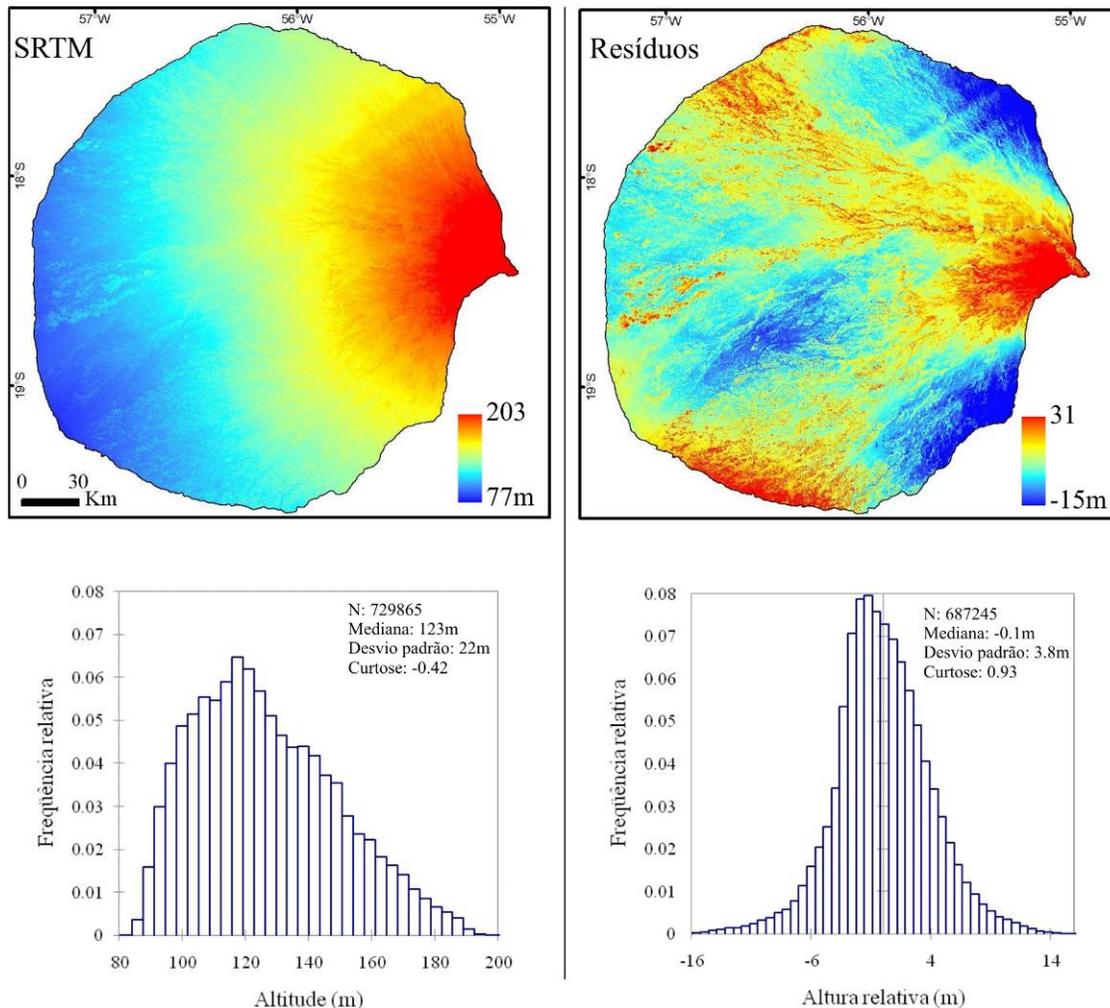


Figura 5. MDE-SRTM e de resíduos com seus respectivos histogramas. O histograma dos dados relativos à superfície de tendência de grau 2 apresenta maior frequência relativa e menor distribuição dos valores que o histograma do MDE-SRTM.

Os resíduos de maiores amplitudes interpolados encontram-se nos limites da máscara que representa o megaleque e usada no recorte dos dados. Não foram identificadas evidências em campo que justifiquem estas anomalias; possivelmente constituem uma falha do método aplicado, conhecida como efeito de borda (Davis, 1986; Swan e Sandilands, 1995). Estes autores sugerem a utilização de dados além da fronteira de interesse, a fim de evitar tais artefatos. No entanto, conforme exposto anteriormente, os terrenos adjacentes estão inseridos em contexto geológico completamente diferente do megaleque do Taquari. As características destes relevos também não se enquadram na hipótese deste trabalho. Artefatos intrínsecos à banda C/SRTM também foram evidenciados pelo método utilizado. Feições lineares com ganho altimétrico, orientadas 45°NE, na zona nordeste do MDE de resíduos (Figura 5), não expressam elementos da paisagem (e.g. Bhang et al., 2007).

4. Conclusões

A tendência topográfica global do megaleque do Taquari pode ser descrita satisfatoriamente através de uma equação polinomial do 2º grau. Esta equação pode representar também o componente global dos demais megaleques do Pantanal e, até mesmo, a superfície de outros tipos de sistemas distributários. A remoção do componente global da altimetria do megaleque revelou formas locais que dificilmente seriam observadas no MDE-SRTM. Observações de campo demonstraram que esta topografia local influencia na distribuição das águas na superfície do megaleque. Por fim, os resultados alcançados permitiram verificar que flutuações locais do relevo podem revelar áreas de sedimentação recente e sítios potenciais para deposição

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), e ao CNPq pela concessão de bolsa PQ a Mario L. Assine (308724/2006-2).

Referências

- Assine, M. L.; Soares, P. C. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. **Quaternary International**, v. 114, n. 1, p. 23-34, 2004.
- Agterberg, F. P. **Geomathematics**. Amsterdam: Elsevier, 1974. 596p.
- Bhang, K. J.; Schwartz, F. W.; Braun, A. Verification of the Vertical Error in C-Band SRTM DEM Using ICESat and Landsat-7, Otter Tail County, MN. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 45, n. 1, p. 36-44, 2007.
- Booth, J. 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**, v. 20, n. 6-8, p. 563-586, 2003.
- Bull, W. B. The alluvial-fan environment. **Progress in Physical Geography**, v. 1, n. 2, p. 222-270, 1977.
- Eppler, D. T.; Full, W. E. Polynomial trend surface analysis applied to AVHRR images to improve definition of arctic leads. **Remote Sensing of Environment**, v. 40, n. 4, p. 197-218, 1992.
- Davis, J. C. **Statistics and data analysis in geology**. New York: Wiley, 1986. 646p.
- Farr, T. G.; et al. The Shuttle Radar Topography Mission. **Reviews of Geophysics**, v. 45, n. 0, p. 0-0, 2007.
- Gohain, K.; Parkash, B. Morphology of the Kosi megafan. In: Rachocki, A. H. & Church, M. (Org.). **Alluvial fans: a Field approach**. Chichester: Wiley, 1990. cap. 3, p. 151-178.
- Grohmann, C. H. Trend-surface analysis of morphometry parameters: a case study in southeastern Brazil. **Computers & Geosciences**, v. 31, n. 8, p. 1007-1014, 2005.
- Gumbrecht, 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, n. 3, p. 243-264, 2001.
- Jones, T. A.; Hamilton, D. E.; Johnson, C. R. **Contouring geologic surfaces with the computer**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986. 314p.
- Mather, P. M. **Computer applications in geography**. New York: Wiley, 1991. 257p.

Rossetti, D.; Valeriano, M. Evolution of the lowest amazon basin modeled from the integration of geological and SRTM topographic data. **Catena**, v. 70, n. 2, p. 253-265, 2007.

Schumm, S. A. **The Fluvial System**. New York: Wiley, 1977. 338p.

Swan, A. R. H.; Sandilands, M. **Introduction to geological data analysis**. Oxford: Blackwell, 1995. 446p.

van Zyl, J. J. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): a breakthrough in remote sensing of topography. **Acta Astronautica**, v. 48, n. 0, p. 559-565, 2001.

Verstraeten, G. Regional scale modelling of hillslope sediment delivery with SRTM elevation data. **Geomorphology**, v. 81, n. 1-2, p. 128-140, 2006.