

## ANÁLISE DIGITAL DO PADRÃO DE COERÊNCIA DA ORIENTAÇÃO DE VERTENTES EM TERRENOS PLANOS

Márcio de Morisson Valeriano<sup>1</sup>; Dilce de Fátima Rossetti<sup>1</sup>  
valerian@dsr.inpe.br;rossetti@dsr.inpe.br

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; Bolsistas CNPq.

Rua dos Astronautas 1758-CP 515, 12245-970 São José dos Campos, SP

*Palavras-chave:* Modelo digital de elevação (MDE), Orientação de vertentes, Pós-Barreiras.

### 1. INTRODUÇÃO

A difusão de Modelos Digitais de Elevação (MDE) de ampla cobertura e acesso livre tem estimulado sua aplicação em diversas áreas ligadas ao mapeamento geomorfológico. Entre estas, o detalhamento geométrico e o refinamento de informações de mapas existentes têm sido facilitados pela resolução atual dos dados disponíveis. A aplicação destes dados passa por sua derivação em descritores com significados distintos para interpretação ou análises numéricas, ou geomorfometria. Em função dos objetivos e das condições de cada estudo, derivações básicas do MDE, declividade, orientação de vertentes e curvaturas, são consideradas de várias formas na análise do relevo. Os valores locais de tais dados permitem a observação imediata da distribuição espacial de feições do relevo. Eventualmente, algumas feições não se caracterizam pelos valores destas variáveis em si, ao menos direta e localmente, porém mostram-se distintas em seus padrões de distribuição espacial. Neste caso, técnicas de interpretação visual, em que se empreendem complexas relações de topologia, são consagradas na análise geográfica e reconhecidas como adequadas. Por outro lado, a abordagem numérica é uma necessidade recorrente na análise de extensas coleções de dados, tipicamente executadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Em MDE obtidos por sensoriamento remoto, as extensas áreas de baixa declividade típicas de depósitos sedimentares apresentam singularidades do terreno representadas por pequenas feições, somadas a numerosos objetos não-topográficos a que referimos como efeito dossel. A variação destas perturbações confere um padrão de rugosidade à superfície do MDE, que se reflete no cálculo das derivações locais, como declividade e orientação de vertentes. A observação e análise destas variáveis são prejudicadas em tais condições: a distribuição da declividade, invariavelmente leptocúrtica (viés para baixo), obriga a uma maior discriminação dos valores nesta faixa, o que ressalta os artefatos e quebra a contigüidade destas áreas; e a orientação de vertentes calculada é sensível a qualquer perturbação da superfície do MDE.

Em estudo conduzido na Bacia Paraíba (Rossetti *et al.*, 2011), a caracterização morfológica e estratigráfica de depósitos sedimentares do Quaternário tardio referidos como sedimentos Pós-Barreiras, permitiu a distinção de duas unidades distintas, relativas aos períodos entre  $74,8 \pm 9,3$  e  $30,8 \pm 6,9$  ka (PB1) e entre  $8,8 \pm 0,9$  e  $1,8 \pm 0,2$  ka (PB2). Considerando os dados geomorfométricos associados a estas unidades, a distinção estatística não foi possível devido à sobreposição das distribuições numéricas das variáveis. No entanto, as diferenças de padrão de distribuição espacial mostraram-se evidentes em exames visuais, com notável contraste observado no padrão de orientação de vertentes (Figura 1).

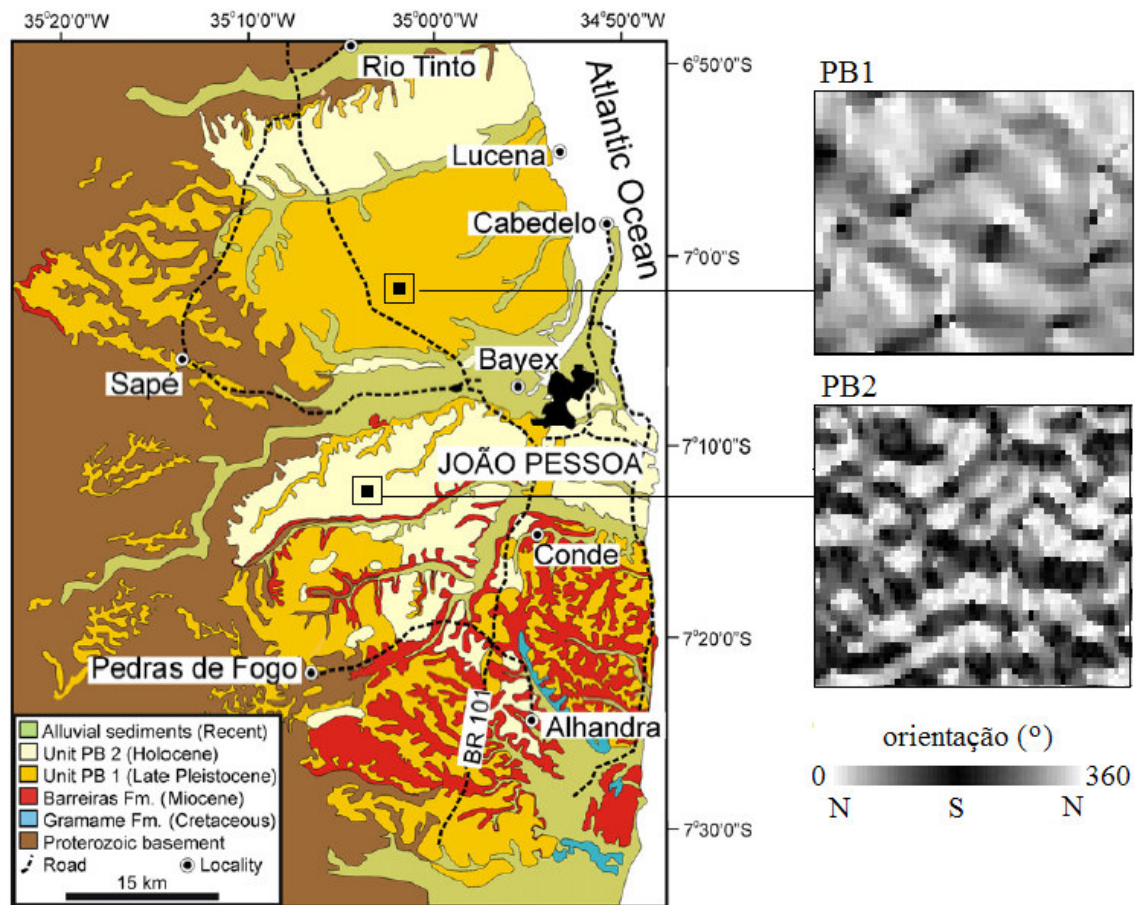


Figura 1 – Mapa geológico da área de estudo com detalhe do padrão de orientação de vertentes das unidades PB1 e PB2. Mapa adaptado de Rossetti *et al.* (2011).

Como forma de parametrizar tais padrões em um descritor numérico, pode-se relacioná-los ao grau de coerência das direções considerando-se uma determinada circunvizinhança. Este conceito, que propomos chamar *coerência*, tratado como *organização* em estudo anterior (Gorini, 2008), pode ser implementado em cálculo análogo ao desenvolvido para rugosidade a partir de MDE (Grohman *et al.*, 2011), com a supressão da componente vertical, dada pela declividade. Assim, as orientações vizinhas são analisadas independentemente de um módulo proporcional à declividade, o que resulta assim em um descritor mais adequado às características do MDE em terrenos planos. Este trabalho apresenta o desenvolvimento da análise de MDE para o cálculo da coerência da orientação de vertentes.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram usados dados de orientação de vertentes disponíveis no banco de dados geomorfométricos Topodata (Valeriano, 2008), produzido a partir do MDE adquirido pela *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) por radar interferométrico na banda C (Rabus *et al.*, 2003). Os dados SRTM foram disponibilizados por cortesia do *United States Geological*

Survey (USGS), no endereço, <http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html>, em resolução de 3", ou cerca de 90m, com datum e elipsóide de referência WGS84 e valores de elevação em metros inteiros. Os dados do Topodata ([www.dsr.inpe.br/topodata](http://www.dsr.inpe.br/topodata)) foram derivados a partir de um MDE obtido por refinamento dos dados SRTM, da resolução original de 3 arco-segundos (~90m), para 1 arco-segundo (~30m) por krigagem (Valeriano e Rossetti, 2011). As variáveis geomorfométricas locais foram obtidas a partir deste MDE com operações de vizinhança, que perfazem análises da altimetria em torno de cada ponto analisado, em cálculos processados através de janelas móveis, específicos a cada variável de interesse. O detalhamento dos processos de derivação geomorfométrica do Topodata encontra-se em relatório acessível no mesmo endereço (Valeriano e Albuquerque, 2010).

Os dados foram processados com o uso do aplicativo Idrisi (Eastman, 1995), armazenando-se os passos de processamento (Figura 2d) na linguagem de programação do mesmo (*Idrisi Macro Language*). Essencialmente, o processamento aplicado corresponde ao cálculo da resultante dos vetores de orientação ( $\varphi$ ) numa área de análise em torno de cada célula (*pixel*) do MDE. Os vetores unitários (módulo igual a 1,0) da orientação são decompostos nos eixos  $x$  e  $y$  ( $\sin$  e  $\cos$  de  $\varphi$ , respectivamente) e integrados no raio determinado pela janela móvel usada (Figura 2c). O vetor resultante é reconstruído a partir das componentes médias, integradas na janela móvel, da orientação de vertentes. Se as orientações numa área estiverem organizadas em um padrão coerente (Figura 2a), a resultante tenderá a expressar a direção predominante e seu módulo deve se aproximar do módulo dos vetores individuais, ou 1,0. Em áreas de orientações difusas (Figura 2b), as componentes tendem a se contrapor, o que reduz o módulo da resultante calculada. A principal variante deste processo está relacionada à escala de análise, que se corresponde diretamente à área pela qual as direções são integradas. Tal aspecto se materializa na escolha do tamanho das janelas móveis (*filtros*) a serem aplicadas neste processamento. Portanto, foram testadas janelas de dimensões 3x3, 5x5, 7x7, 9x9 e 11x11 (Figura 2c) para integração dos vetores no cálculo da coerência.

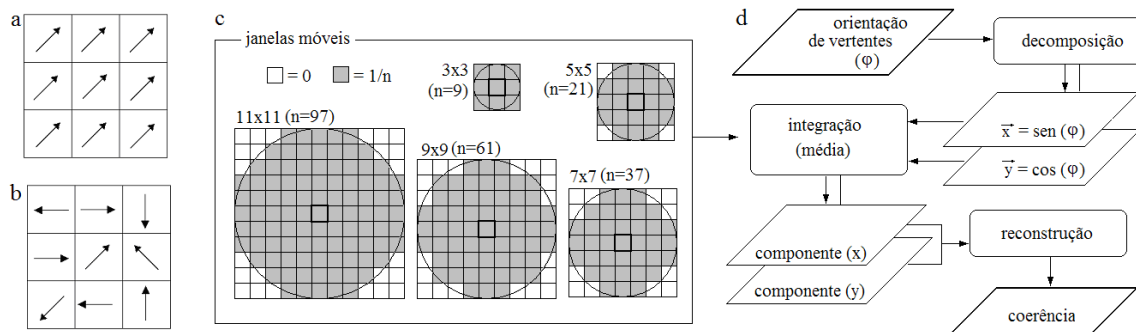


Figura 2 – Disposição dos vetores numa janela de análise de dimensão 3x3 em um terreno com (a) padrão coerente e (b) padrão difuso; (c) janelas móveis usadas na integração dos vetores e (d) fluxo geral do processamento do cálculo da coerência.

### 3. RESULTADOS

Os resultados de coerência mostraram-se estruturados, confirmando feições que foram reconhecidas por outras métricas e revelando outras que, obliteradas pela complexidade dos padrões, tiveram sua observação beneficiada. A integração de dados geomorfométricos em



análises mais abrangentes traz, entre outros efeitos, a vantagem de ressaltar padrões mais generalizados, em proporção direta às dimensões das janelas móveis utilizadas. Os resultados das janelas móveis de dimensões 3x3 e 5x5 trouxeram pouca vantagem à observação destes padrões, devido ao detalhamento ainda preservado, permanecendo estes resultados ainda variados dentro de estratos, constituindo-se assim em outro padrão, apenas mais generalizado. A partir de janelas de dimensão 7x7 ou maiores, os resultados mostraram-se mais interessantes, à medida que os valores de coerência mostraram-se estruturados em estratos modais correspondentes às feições observadas no terreno, com diferenças maiores entre estratos, em relação à variação dentro dos mesmos (Figura 3). O aumento das janelas a partir de 7x7 apenas promoveu a generalização, com prejuízo dos contrastes.

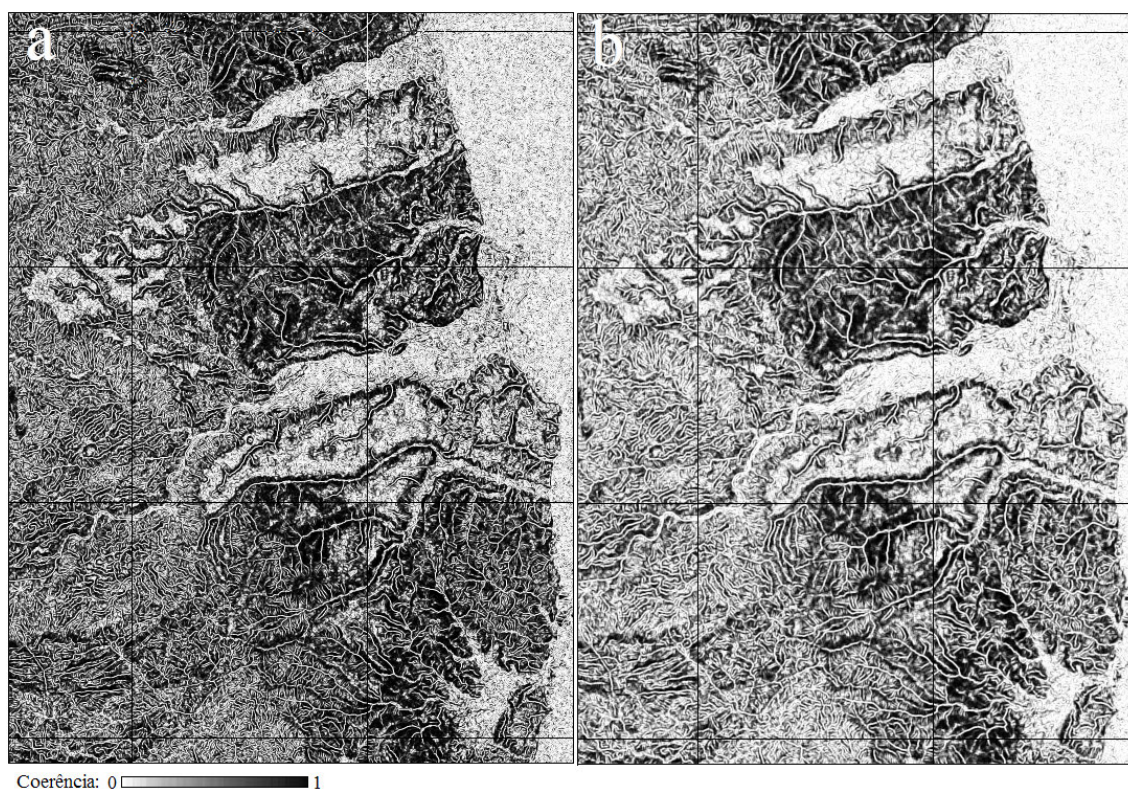


Figura 3 – Resultados de coerência para janelas móveis de dimensões 7x7 (a) e 11x11 (b). Observar correspondências com o mapa geológico apresentado na Figura 1.

Os valores de coerência dos sedimentos Pós-Barreiras apresentaram distribuição bimodal, com os menores valores para a unidade PB2 (semelhantemente aos sedimentos aluviais recentes dos vales dos rios Tinto e Paraíba), em notável contraste com os resultados de PB1, que foram os maiores por toda a área analisada. Estas observações estão de acordo com o modelo de evolução desta paisagem (Rossetti *et al.*, 2011), segundo o qual eventos tectônicos e episódios de transgressão/regressão marinha teriam modificado a superfície dos depósitos PB1 desde sua formação no Pleistoceno tardio, com deformações das quais ficaram livres os depósitos PB2, formados durante o Holoceno. Tais deformações correspondem, entre outros efeitos, a basculamentos e dobras na superfície originalmente plana dos sedimentos Pós-Barreiras, o que promoveu sua coerência através da estruturação de vertentes planares. Em

contraposição, a preservação da superfície plana e retilínea dos depósitos arenosos de PB2 resulta em um padrão difuso da orientação, sem estruturação de vertentes e, portanto, com baixos valores de coerência. As áreas de exposição do embasamento, com vertentes definidas, porém mais curtas, apresentaram coerência intermediária aos níveis observados nas unidades sedimentares da formação Pós-Barreiras quando analisados com janelas móveis de tamanho 7x7 ou maiores. Sob janelas progressivamente menores, a área do embasamento mostra-se gradualmente mais coerente, devido à relação da coerência com a escala de análise.

#### 4. CONCLUSÕES

O cálculo da coerência com base em recursos de SIG operados sobre MDE mostrou-se uma técnica viável e prática para parametrizar o padrão de distribuição espacial da orientação de vertentes. Os resultados mostraram-se estruturados em feições do terreno de maneira a facilitar sua discriminação de acordo com este padrão. A coerência dos terrenos planos da formação Pós-Barreiras mostrou-se sensível a variações decorrentes de eventos ocorridos na área de estudo no período entre a formação das unidades sedimentares PB1 e PB2.

#### REFERÊNCIAS

- Eastman, J. R., 1995. *Idrisi for Windows: User's Guide*. Clark University, Worcester, 440pp.
- Gorini, M. A. V., 2008. *Classificação fisiográfica do fundo dos oceanos: uma abordagem geomorfológica multi-escala*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Fluminense.
- Grohmann, C. H. ; Smith, M. J. ; & Riccomini, C., 2011. Multiscale Analysis of Topographic Surface Roughness in the Midland Valley, Scotland. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 49, pp. 1200-1213.
- Rabus, B., Eineder, M., Roth, R., & Bamler, R., 2003. The Shuttle Radar Topography Mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, vol. 57, pp. 241-262.
- Rossetti, D. F. ; Bezerra, F. H. R. ; Góes, A. M. ; Valeriano, M. M. ; Andrades Filho, C. O. ; Mittani, J. C. R. ; Tatumi, S. H. ; & Brito-Neves, B. B., 2011. Late Quaternary sedimentation in the Paraíba Basin, Northeastern Brazil: Landform, sea level and tectonics in Eastern South America passive margin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 300, pp. 191-204.
- Valeriano, M. M., & Albuquerque, P. C. G., 2010. *Topodata: processamento dos dados SRTM*. São José dos Campos: INPE, 79 p. (sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.10.18.42-RPQ).
- Valeriano, M. M., & Rossetti, D. F., 2011. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Applied Geography* (in press). D.O.I. 10.1016/j.apgeog.2011.05.004.
- Valeriano, M. M., 2008. *Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais*. São José dos Campos: INPE, 72 p. (INPE-15318-RPE/818).