

# NOTAS-PRÉVIAS

## SUAVIZAÇÃO DA DECLIVIDADE EM FUNÇÃO DA RESOLUÇÃO DA IMAGEM EM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA<sup>1</sup>

Antonio Carlos Cavalli<sup>2</sup> & Márcio de Morisson Valeriano<sup>2</sup>

### RESUMO

No presente estudo, encontra-se uma metodologia trabalhada para diminuir a suavização da declividade causada pela variação no tamanho dos pixels utilizados na interpolação de Modelos Digitais de Elevação (MDE) em Sistemas de Informações Geográficas. Para salientar os aspectos de alta variabilidade das classes de declividade da região escolheu-se, como área de estudo, uma parcela da bacia do Rio Piracicaba, ao norte do município de São Pedro, SP, com parte da cuesta basáltica. Mapas de declividade com pixels de 100, 125, 200 e 250 m foram gerados e, sobre eles, foram superpostos transectos que forneceram os dados para a análise de correlação, cujo método permitiu a constatação da variabilidade entre os mapas e apresentou alternativas para evitar o efeito suavizador da declividade e a conseqüente perda de precisão dos dados.

**Palavras-chave:** declividade, imagem, sistema de informação geográfica, bacia hidrográfica, precisão

### SLOPE SOFTENING DUE TO IMAGERY RESOLUTION IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

### ABSTRACT

This paper presents a methodology to minimize the slope softening effect caused by pixel variations in the Digital Elevation Model (DEM) interpolation used in Geographic Information Systems. The studied area is part of Rio Piracicaba (São Paulo State, Brazil) watershed, located in a very steep site in order to point out the high variability slope aspects of the region. Slope maps with 100, 125, 200 and 250 m pixels were produced. Transects were overlaid on them to provide data for correlation analysis. The method confirmed the high variability among the slope maps. Furthermore, alternatives to avoid the slope softening effect and data precision losses were established.

**Key words:** slope, imagery, geographic information system, watershed, accuracy

---

Recebido em 10/01/2000, Protocolo 003/00

<sup>1</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada no Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista -UNESP, Rio Claro, SP

<sup>2</sup> Pesquisador Científico, Doutor em Geociências, Instituto Agronômico de Campinas - IAC. CP 28. CEP 13001-970, Campinas, SP. Fone: (0xx19) 231 5422. E-mail: acavalli@barao.iac.br e valerian@barao.iac.br

## INTRODUÇÃO

Os levantamentos e estimativas atuais apontam para uma perda crescente no potencial de utilização dos recursos hídricos e de solos devidos, em grande parte, à erosão hídrica (pela chuva) de solos agrícolas. As metodologias de zoneamento ecológico ou agroclimático e de classificação de terras pelo Sistema de Capacidade de Uso (Lepsch et al., 1991) e pela Avaliação da Aptidão Agrícola (Ramalho Filho & Beek, 1994) trazem implicitamente o compromisso com a conservação do solo como recurso natural; esses métodos empregam a integração de dados de natureza variada, através da combinação de critérios quantitativos e qualitativos.

A declividade do terreno é uma variável não só de modelos analíticos como, também, das técnicas de segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial. No contexto da erosão, a declividade determina a quantidade e a velocidade de fluxo d'água pelo escoamento superficial. Pode-se dizer que todos esses métodos envolvendo a avaliação do risco de erosão, baseados em modelagem numérica ou em decisões lógicas, lidam com a variável declividade e, para os métodos envolvendo a aplicação da EUPS (Equação Universal de Perda de Solo) e modelos similares, aplica-se também o comprimento de rampa, como variável topográfica. Grande parte desses procedimentos inclui a classificação da área em faixas de declividade (ou de comprimento de rampa) para posterior integração com outros planos de informação.

Os dados topográficos e outros dados de superfície contínua, são inseridos através de digitalização de mapas ou da digitação de arquivos com coordenadas (Watson, 1992). A grande massa de dados tratados em SIG faz com que a digitalização seja o procedimento mais adequado e amplamente usado nos trabalhos atuais; a partir de então, a posição de qualquer feição terrestre estará indicada com o simples posicionamento deste ponto sobre o plano cartográfico.

Os dados originais mapeados são isoípsas (curvas de nível) e pontos cotados. Para a geração de superfícies contínuas a partir de linhas e pontos, deve-se empregar técnicas apropriadas (Watson, 1992) de interpolação sobre os dados originais. A representação analítica de superfícies contínuas implica também na adoção de uma medida de espaçamento, correspondente à resolução de grade desejável. Os métodos de interpolação, incluindo suas condições funcionais, e os parâmetros geométricos (resolução, posicionamento etc.) apropriados, devem ser selecionados na interpolação dos dados, da qual muitos detalhes acarretam importantes modificações nos resultados. Considerando-se que todos os dados de SIG baseados na estruturação em grade são amostras (Atkinson, 1996) seu armazenamento requer um planejamento da sistemática desta amostragem, de modo a se atenderem às condições para sua utilização.

O processamento automático dos dados de topografia (em SIG) para a geração do plano de informação (PI) declividade é feito através de máscaras ou janelas móveis, explorando-se a função de derivação na vizinhança de cada célula (Valenzuela, 1991) para toda a área de interesse. Funções de vizinhança são a base também para a determinação da orientação de vertentes, igualmente disponíveis nas opções de tratamento dos SIG modernos. Os programas atuais permitem uma série de opções

para o cálculo da declividade, podendo-se estabelecer, inclusive, uma formulação de cálculo próprio, elaborado pelo usuário (Eastman, 1997). Embora trabalhassem em classes, Moretti et al. (1989) testaram diferentes funções de vizinhança visando ao cálculo da declividade, utilizando várias operações existentes nas plataformas SIG atuais, passíveis de geração de superfícies contínuas. Nesse estudo foram também observados os efeitos da resolução espacial sobre os resultados, pelos quais é recomendável muito cuidado na elaboração do MNT de altimetria (ou outro) a ser processado em SIG.

Weir (1991) menciona a necessidade de se conhecer os conceitos de precisão e exatidão, em que precisão é uma figura de mérito nominal do sistema de medição ou registro aplicado à obtenção do dado; as medidas de resolução espacial são tipicamente figuras de precisão dos sistemas sensores e de tratamento de dados, enquanto a exatidão é um conceito estatístico que define a verossimilhança ou a probabilidade de um conjunto de dados estar dentro de certo intervalo, em torno do valor real. Medidas comuns de exatidão são o erro médio quadrático e o desvio-padrão de uma média estimada. A exatidão de classificações (exemplo do uso da terra) é expressa na probabilidade de acerto e a confusão entre estes dois conceitos resulta no mau uso das potencialidades dos SIG. O autor (op.cit.) considera, ainda, que se pode ter uma ilusão de boa exatidão quando, por exemplo, se digitaliza uma folha topográfica 1:50000 na resolução de grade de 1 m no terreno. A qualidade geométrica do mapa, neste caso, é ilusória, pois descende de um nível de exatidão de dados inferior às potencialidades do sistema de digitalização, com erros grandes quando se explora a resolução espacial assim atingida.

Os dados primários espaciais são inseridos após estarem na forma de mapas que, por sua vez, são sujeitos a apresentar vários tipos de erro posicionais e de atributos. A exatidão ou o erro na altura de um ponto escolhido no mapa depende dos cuidados com que se interpolam as cotas altimétricas entre as duas curvas de nível adjacentes; depende, também, estreitamente, da escala do mapeamento, do intervalo entre curvas e da exatidão do levantamento e da elaboração do mapa. Algumas funções de tolerância a esses erros fornecem, a desenhistas e usuários de mapas, uma percepção da exatidão esperada dos melhores levantamentos cartográficos atuais, em diferentes países.

Apesar dos erros serem inevitáveis, procedimentos cuidadosos podem mantê-los em níveis aceitáveis; de qualquer maneira, quando isto não é possível, o erro deve ser conhecido e levado em conta na interpretação dos resultados.

As imagens *raster*, formadas por uma matriz de células (pixels) são tanto mais precisas quanto menores forem as dimensões dessas células; todavia, quanto menor a célula, maior a sua quantidade e, em consequência, maior o arquivo a ser processado. Como há limites de tamanho impostos pela própria configuração dos sistemas, o processamento de arquivos muito grandes fica prejudicado.

Quando se trabalha com áreas de porte médio a grande, como é o caso de bacias hidrográficas, uma das soluções utilizadas com freqüência é a subdivisão da área em parcelas com tamanhos compatíveis com a capacidade operacional do sistema; outra solução é a conciliação da resolução dos dados, com o objetivo do trabalho e a escala final de apresentação. Em

sistemas como o IDRISI® (Eastman, 1997) com limitações de módulos de processamento, a adequação da resolução das imagens (tamanho da grade) é fundamental.

Este trabalho traz uma contribuição ao estudo da variação da declividade com mudanças na resolução das imagens e sua implicação, quando obtida para compor os parâmetros do Fator Topográfico LS (declividade e comprimento de vertente) visando à determinação da EUPS na bacia do Rio Piracicaba., segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990).

## MATERIAL E MÉTODOS

O processamento de um único Modelo Digital de Elevação (MDE) derivado dos arquivos de isoípsas com equidistância de 20 m, mostrou-se inviável na bacia do Rio Piracicaba, em função do tamanho do arquivo digital; a solução foi procurar-se tamanhos e resoluções aceitáveis para a capacidade operacional dos programas utilizados, mas os resultados preliminares obtidos evidenciaram que as mudanças na resolução das imagens causavam variações na declividade, que poderiam implicar em imprecisões no resultado final, razão por que se procedeu a um teste para verificar as implicações dessas mudanças nos dados obtidos, tendo em vista que o MDE deveria ser utilizado para compor os parâmetros do Fator Topográfico (Declividade e Comprimento de Rampa) para a determinação da EUPS. A área de estudo representa uma parcela da bacia do Rio Piracicaba, ao norte do município de São Pedro, SP, entre as coordenadas 22°25' a 22°31' S e 47°48' a 47°56' WGr, contendo parte da cuesta basáltica, para salientar os aspectos de alta variabilidade nas classes de declividade da região.

Sobre mapa digital contendo isoípsas provindas das Folhas Topográficas do FIBGE, em escala 1:50.000, com equidistância de 20 m, foram gerados MDE's da área (Figura 1) usando-se o programa SURFER® Versão 6.01, com grades de 100, 125, 200 e 250 m. As imagens geradas foram importadas pelo IDRISI®, onde também foram criados os mapas de declividade em porcentagem.

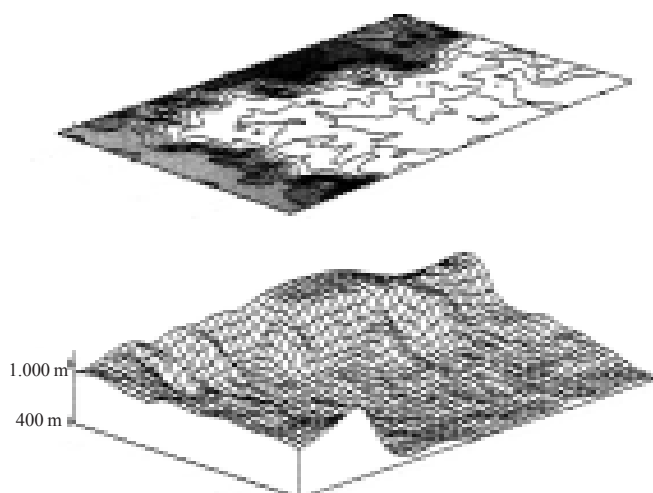


Figura 1. Modelo Digital de Elevação (MDE) da cuesta basáltica de São Pedro

Um transecto contendo 45 pontos foi traçado na área, através do qual foram coletados os valores de declividade para as grades de 100, 125, 200 e 250 m.

Esta coleta foi feita com base na coordenada desses pontos, registrando-se os valores correspondentes à célula mais próxima da imagem de declividade; deste modo, foi possível a comparação entre os valores de grades de resolução diferentes. Para a análise de correlação do teste de variabilidade de declividade em função da escala (tamanho) dos pixels, os valores dos transectos foram plotados e analisados via programas estatísticos GRAPHER® e MINITAB®, tomando-se como dado de referência os valores encontrados para a grade de 100 m, Figura 2.

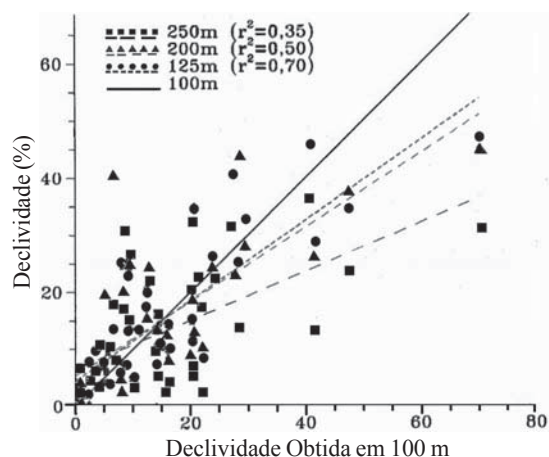


Figura 2. Análise de correlação de transectos com base na declividade obtida em 100 m

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A declividade mostrou-se muito sensível à variação de tamanho do pixel (resolução) apresentando valores menores quando a resolução é menor; assim, uma comparação entre a declividade em porcentagem, feita em duas áreas, mostrou os valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Variação da amplitude de declividade nas imagens e nos transectos

Células (m)	Declividade (%)	Coef. Deter. ( $r^2$ )
100	0,2 a 70,1	-
125	0,7 a 46,9	0,70
200	0,0 a 45,2	0,50
250	1,4 a 31,8	0,35

Na análise de correlação, observou-se que o coeficiente ( $r^2$ ) diminui com o aumento das células amostrais (Tabela 1), e que os coeficientes lineares são progressivamente inferiores a 1,0, indicando o correspondente efeito suavizador do aumento da célula de amostragem. O resultado desse efeito é uma modificação nos valores do grau de declividade em que os vales se apresentam elevados e os picos achatados, mascarando as variações extremas do relevo.

Visando-se minimizar tais efeitos e compatibilizar a precisão dos dados com o adensamento da grade amostral, fez-se uma comparação entre a declividade, em porcentagem, de dois modos:

a) Geração de MDE no SURFER®, com células de 125 e 250 m e obtenção da declividade em porcentagem;

b) Geração do MDE no SURFER®, com células de 125 m, exportação para o IDRISI® e contração, via módulo CONTRACT, para 250 m e obtenção da declividade em porcentagem.

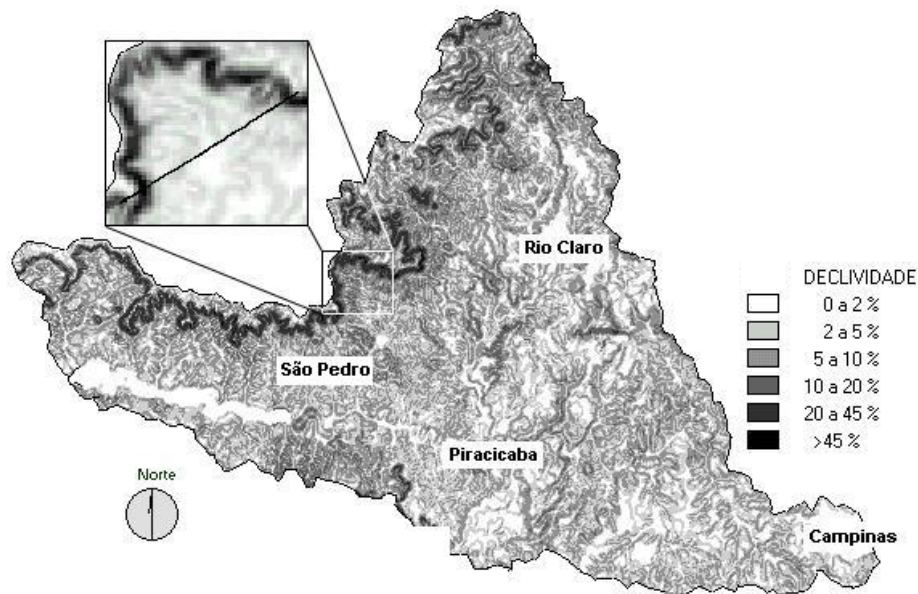


Figura 3. Classes de declividade na bacia do Rio Piracicaba. No detalhe, transecto sobre a área da cuesta de São Pedro

Aplicado a duas áreas distintas, com topografias diferentes, Tabela 2, o segundo método (com contração) apresenta amplitudes percentuais muito próximas daquelas obtidas com maior resolução (células de 125 m).

Tabela 2. Amplitude de variação percentual em MDE's gerados por diferentes grades amostrais

Área	125 m	250 m	250 m*
1	0 a 53%	0 a 39%	0 a 51%
2	0 a 45%	0 a 28%	0 a 42%

\* Contração de 125 m

A classificação convencional da declividade para fins de conservação do solo e aplicada neste estudo, apresenta valores de (1) 0-2%; (2) 2-5%; (3) 5-10%; (4) 10-20%; (5) 20-45% e (6) >45%. No caso da primeira área, a classe 6 (>45%) deixa de aparecer no MDE gerado diretamente por células de 250 m, mas continua no MDE contraído, mantendo praticamente a mesma precisão da grade de 125 m.

A Figura 3 mostra a área total da bacia do Rio Piracicaba, com declividade classificada em 6 classes. Pode-se observar que, sem a aplicação do método, grande parte da cuesta seria prejudicada e não apresentaria os valores mais altos (>45 %).

## CONCLUSÕES

1. O aumento da célula de amostragem reduz a amplitude de variação da declividade.

2. Os valores de picos são suavizados devido ao aumento da distância horizontal utilizada no cálculo, enquanto os valores mínimos são aumentados em virtude da inclusão de áreas declivosas adjacentes.

3. Há uma dispersão dos dados entre os resultados de declividade obtidos em resoluções diferentes, causada pela disposição das grades amostrais.

4. A diminuição do tamanho das células de amostragem melhora o resultado não só espacialmente (em x e y) como, também, numericamente (em z).

5. A contração do MDE, via IDRISI®, evita a excessiva suavização devida à diminuição do número de células da grade, mantendo a precisão dos dados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATKINSON, P.M. Optimal sampling strategies for raster-based geographical information systems. *Global Ecology and Biogeography Letters*, v.5, p.271-280. 1996.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. Piracicaba, SP: Livroceres, 1990, 368p.
- EASTMAN, J.R. *IDRISI for Windows, Version 2.0 – Update Manual*. Massachusetts, EUA: Clark University, 1997. 405p.
- IMHOFF, E. *Cartographic relief presentation*. New York: Walter de Gruyter Ed. 1982. 485p.
- LEPSCH, I.F.; BELINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPINDOLA, C.R. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso*. 4.a. aproximação, 2.a. Imp. Rev., Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.
- MORETTI, E.; KOFFLER, N.F.; TEIXEIRA, A.L.A. *Técnicas digitais para mapeamento de declividade e orientação de vertentes baseadas no uso de sistemas de informação geográfica*. *Boletim Geografia Teórica*, Rio Claro, v.19 n. 37/38, p.29-52, 1989.
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. *Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras*. 3.a. ed. Rev. - Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS. 65p. 1994.
- VALENZUELA, C.R. *Data analysis and models* In: BELWARD, A.S.; VALENZUELA, C.R. *Remote Sensing and geographical information systems for resource management in developing countries*. Euro Courses: Remote Sensing, Amsterdam, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, v. 1, 1991. Chapter 18, 335-348.
- WATSON, D.F. *Contouring. A guide to the analysis and display of spatial data*. Computer methods in the geosciences, New York, EUA: Elsevier Science, v. 10, 1992. 321p.
- WEIR, M.J.C. *Errors in geographic information systems* In: BELWARD, A. S.; VALENZUELA, C.R. *Remote sensing and geographical information systems for resource management in developing countries*. Euro Courses: Remote Sensing, Amsterdam, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, v.1, 1991. Chapter 19, 349-355.