Processamento Digital de Imagens SRTM para o Mapeamento da Amplitude Altimétrica

Bruna Dias de Aguiar Peloso[1], Márcio de Morisson Valeriano[2]

[1, 2]Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av dos Astronautas, 1.758 Jd. Granja - CEP: 12227-010
São José dos Campos – SP
[1]bruna@dsr.inpe.br; [2]valerian@dsr.inpe.br

Abstract. This study aims at the automatic extraction of relative relief from Digital Elevation Models (DEM) with common tools of Geographical Information Systems (GIS). The concept of relative relief lies on the perception of two surfaces: a base level and a top level, which can be defined as the maximum and minimum altitude quotas that are found in a search range. These elements indicates the relative relief to be determined based on the altimetric dispersion observed with the application of pixel windows on DEM. Then, neighborhood operators can be combined with overlay operators to estimate relative relief trough image digital processing techniques. Neighborhood operations displace elevation values that surround the central pixel of the pixel window, forming a layer assemblage which contains in each point, every values of the neighborhood, allowing an overlay operation. Toward maximum altitude quotas calculation, the layers generated on the previous phase are compared two by two and the biggest values are selected, forming a unique layer with the maximum values. The same kind of proceeding is applied to minimum altitude quotas calculation, where smallest values are selected, forming a unique layer with the minimum values. Afterwards, maximum and minimum layers are subtracted, resulting in the relative relief. Four sizes of pixels windows were tested: 3x3, 5x5, 9x9 and 15x15.The relative relief found with 3x3 pixels windows had high correlation with the slope (local information). Other pixels windows had regional information, as proposed.

Key words: relative relief, DEM, regional information

Resumo. Este estudo tem como objetivo o desenvolvimento de metodologia para a extração automática de amplitude altimétrica a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDE) com ferramentas comuns dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O conceito de amplitude altimétrica implica na percepção de duas superfícies: um nível de base e um nível de topo, que podem ser definidos, respectivamente, como a cota mínima e máxima das altitudes encontradas dentro de um raio de busca. A presença de tais elementos indica que a amplitude possa ser determinada a partir da dispersão altimétrica observada em janelas móveis aplicadas sobre os MDE. Assim, operadores de vizinhança podem ser combinados com operadores de sobreposição para desempenhar sua estimativa através de técnicas de processamento digital de imagens. As operações de vizinhança deslocam os valores de elevação circunvizinhos ao pixel sob análise (pixel central da janela móvel), gerando conjunto de planos que contém, em cada ponto, todos os valores de sua vizinhança, o que permite que estes sejam então operados entre si por sobreposição. Para o cálculo das cotas máximas, os planos gerados na etapa anterior são comparados dois a dois para a seleção dos maiores valores, produzindo um único plano com as altitudes de topo. O mesmo tipo de procedimento é aplicado para o cálculo das cotas mínimas, onde os menores valores são selecionados, gerando um único plano com os valores mínimos. Posteriormente, é feita a subtração entre os planos de valores máximos e mínimos, resultando no relevo relativo. Foram testadas janelas móveis de 3x3, 5x5, 9x9 e 15x15 pixels. O relevo relativo encontrado para a janela de 3X3 pixels mostrou alta correlação com a declividade (informação local). As outras janelas móveis apresentaram informação regional, como proposto.

Palavras-chave: amplitude relativa, MDE, informação regional.

1.Introdução

O processamento digital de dados topográficos é feito tipicamente com Sistemas de Informação Geográfica (SIG), programas capazes de operar Modelos Digitais de Elevação (MDE). Os MDE são arquivos que contêm cotas altimétricas estruturados em raster, isto é, em células (pixels) dispostas em linhas e colunas, georreferenciadas, da mesma forma que imagens de satélite (Burrough, 1987). A análise digital do relevo é amplamente favorecida pelo desenvolvimento de métodos automáticos de extração das variáveis topográficas.

Entre as variáveis topográficas encontram-se as variáveis de expressão local, que são passíveis de obtenção através de operações de vizinhança (popularmente, filtros), geralmente oferecidas entre os recursos comuns de SIG, a exemplo da declividade e da orientação de vertentes. Por outro lado, variáveis de expressão regional (densidade de drenagem, amplitude altimétrica, distância de interflúvio, por exemplo) são pouco exploradas em análises digitais, a despeito de sua reconhecida importância no conhecimento do meio físico. Por lidarem com conexões entre diferentes elementos distribuídos no espaço geográfico, a obtenção de variáveis regionais requer técnicas de processamentos digitais mais complexas do que as variáveis locais.

A amplitude (referida também pelas expressões *relevo*, simplesmente, *relevo relativo* ou *relevo interno*) do terreno é definida como a diferença entre os pontos mais altos e os mais baixos da área, ou região, sob análise (Pike, 1988; Meijerink, 1988). É uma medida da elevação, porém relativa ao menor nível do relevo na região em estudo e não relativa ao nível do mar (Guerra, 1993). Ao mesmo tempo, a amplitude considera a elevação máxima dentro da mesma unidade de relevo, em vez de computar a elevação local (ponto-a-ponto). Nesse caso, quando se observam elevações locais em relação ao mínimo regional, temos a variável definida por *altura*. Na Figura 1, apresenta-se um relevo em que os compartimentos *a*, *b*, *c* e *d* apresentam mudanças na amplitude independentes de sua elevação. As regiões *a* e *c* apresentam amplitudes relativamente maiores do que as regiões *b* e *d*. À direita da região *d*, as variações de elevação ocorrem dentro de uma amplitude relativamente constante.

Dentre as variáveis com influência regional, é a mais simples conceitualmente, além de estar implícita em uma série de outras variáveis. É resultante tanto do grau de intensidade dos processos erosivos que atuam sobre uma determinada área, quanto do grau de resistência do substrato (material do terreno).

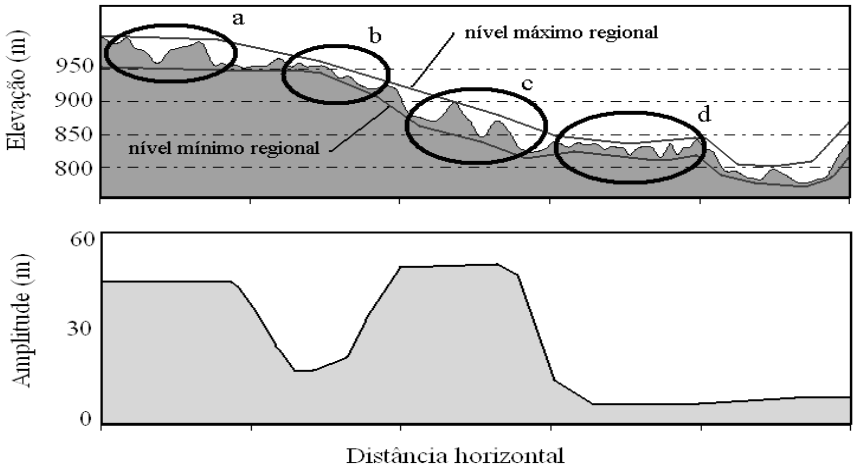


Figura 1 - Amplitude do terreno e suas variações independentes da elevação absoluta.

O conceito de amplitude implica na percepção de duas superfícies: um nível de base e um nível de topos (ou, quando há aplainamento, nível de patamar ou planalto), que podem ser definidos, respectivamente, como a cota mínima e máxima encontrada dentro de um raio de busca. A presença de tais elementos indica que a amplitude pode ser determinada a partir da dispersão altimétrica observada em janelas móveis aplicadas sobre os MDE. Assim, operadores de vizinhança podem ser combinados com operadores de sobreposição para desempenhar sua estimativa em SIG. Propõe-se desenvolver um processo automático de mapeamento de amplitude, através da organização destas operações, em encadeamento tal que sua estimativa possa ser feita por SIG sobre MDE.

2. Materiais e Métodos

Os dados altimétricos provieram da missão SRTM (Rabus *et al.,* 2002), capturados através da interface do centro de distribuição de dados da USGS (*United States Geological Service*), no site http://www.usgs.gov/. Estes passaram por pré-processamento para o preenchimento de falhas e convertidos em ASCII (estrutura em colunas x,y,z) e em seguida processados no programa SURFER (Golden Software Inc., 1993) para reconstituição da imagem original sem falhas (Valeriano, 2004). Em seguida, os MDE foram processados com o uso do aplicativo *Idrisi* (Eastman, 1995), armazenando-se os passos de processamento na linguagem de programação do mesmo (*Idrisi Macro Language*).

Para este trabalho foi selecionada a área correspondente à Folha SH-22-X-C no sistema cartográfico oficial brasileiro (Figura 2 e 3, Tabela 1), onde se localizam os municípios de Sombrio e Araraguá, no extremo sudeste de Santa Catarina; Caxias do Sul, São

Bento, Vacaria, parte de Novo Hamburgo, no estremo nordeste do Rio Grande do Sul. Na área escolhida existe um cânion, definido por Guerra (1993) como "vale profundo e encaixado [...], com encostas abruptas, formando penhascos", e algumas lagoas (como a Lagoa do Sombrio), resquícios de uma paleolaguna que foi progressivamente assoreada (Dantas et al, 2005).

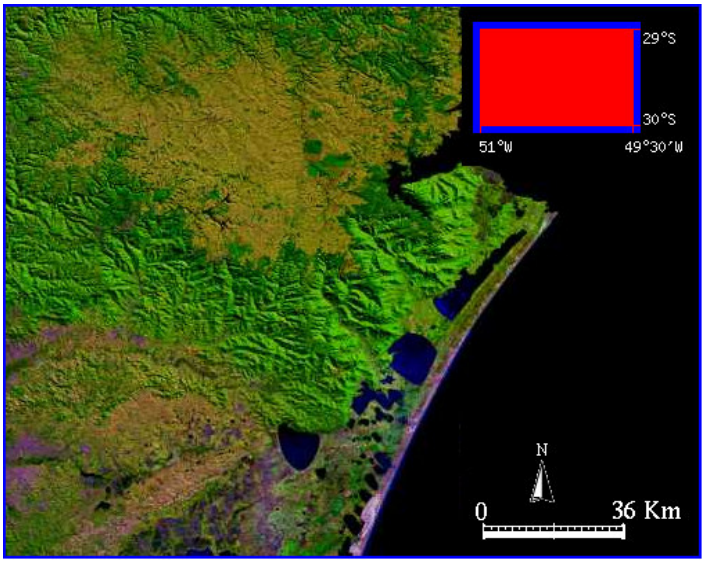
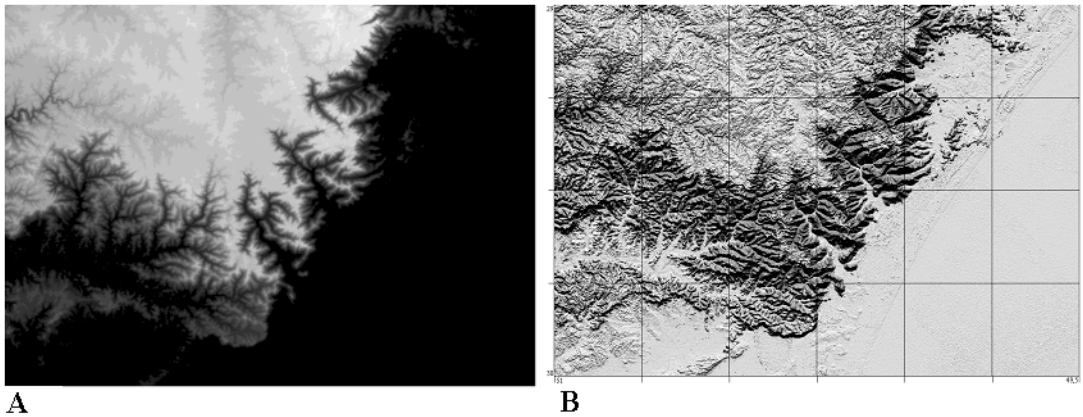


Figura 2 - Área de Estudo. Composição colorida R(5)G(4)B(3) de imagem Landsat.

Tabela 1 - Especificações geométricas da imagem

Folha	$x_{mín}$ (°)	$y_{mín}$ (°)	$x_{máx}$ (°)	$y_{máx}$ (°)	Resolução (arc sec)	Colunas	Linhas
SH-22-X-C	-51.0	-30	-49.5	-29	3	1800	1200



A **B**

Figura 3- Dados SRTM da Folha SH-22-X-C. Dados altimétricos codificados em níveis de cinza (A) e representação em relevo sombreado (B).

O mapeamento da amplitude relativa foi desenvolvido com base em operações de vizinhança (a) e de sobreposição (b), essencialmente. Em cada ponto do MDE, os processos aplicados podem ser resumidos em: deslocamento das altitudes regionais para o ponto sob análise (a), determinação dos máximos e mínimos regionais (b) e posterior subtração dos mesmos (b). Os passos estabelecidos foram organizados em programas de lote (macro) para o desenvolvimento, os testes e a operacionalização da metodologia em condições padronizadas. Foram testadas quatro dimensões de janelas móveis: 3x3, 5x5, 9x9 e 15x15.

Para áreas de análise correspondentes a 3x3 e 5x5 pixels, os deslocamentos foram feitos numa única seqüência de aplicação de janelas móveis. Na primeira etapa foram feitas operações de vizinhança para deslocar os valores de elevação circunvizinhos ao pixel sob análise (pixel central da janela móvel) (Figura 4 A). Ao final destas operações, foram gerados 8 planos para o operador 3x3 e 24 para o 5x5, contendo, cada um, o valor de um dos pixels vizinhos que foram abrangidos pela janela aplicada. Assim, cada conjunto de planos contém, em cada ponto, todos os valores de sua vizinhança (3x3 ou 5x5), o que permite que estes sejam então operados entre si por sobreposição. A estratégia para esta metodologia se baseia, portanto, na aplicação de operações locais (sobreposição) após o deslocamento da vizinhança para o pixel central. Uma vez que os operadores de sobreposição dispõem de recursos mais flexíveis do que os operadores de vizinhança, o deslocamento prévio permite que problemas de vizinhança sejam solucionados com recursos mais simples.

O cálculo das cotas máximas foi feito com os planos gerados pela etapa anterior, comparando-os dois a dois e selecionando os maiores valores, produzindo um único plano com os valores máximos. Tal método se apóia na propriedade associativa das inequações (Se A é “maior do que” B e B “maior do que” C, então A é “maior do que” C). O mesmo tipo de procedimento foi aplicado para o cálculo das cotas mínimas, onde os menores valores foram selecionados, gerando um único plano com os valores mínimos. Depois, os planos de cota máxima e mínima encontradas para cada tipo de janela foram subtraídos, resultando na amplitude do terreno. (Figura 4 B).

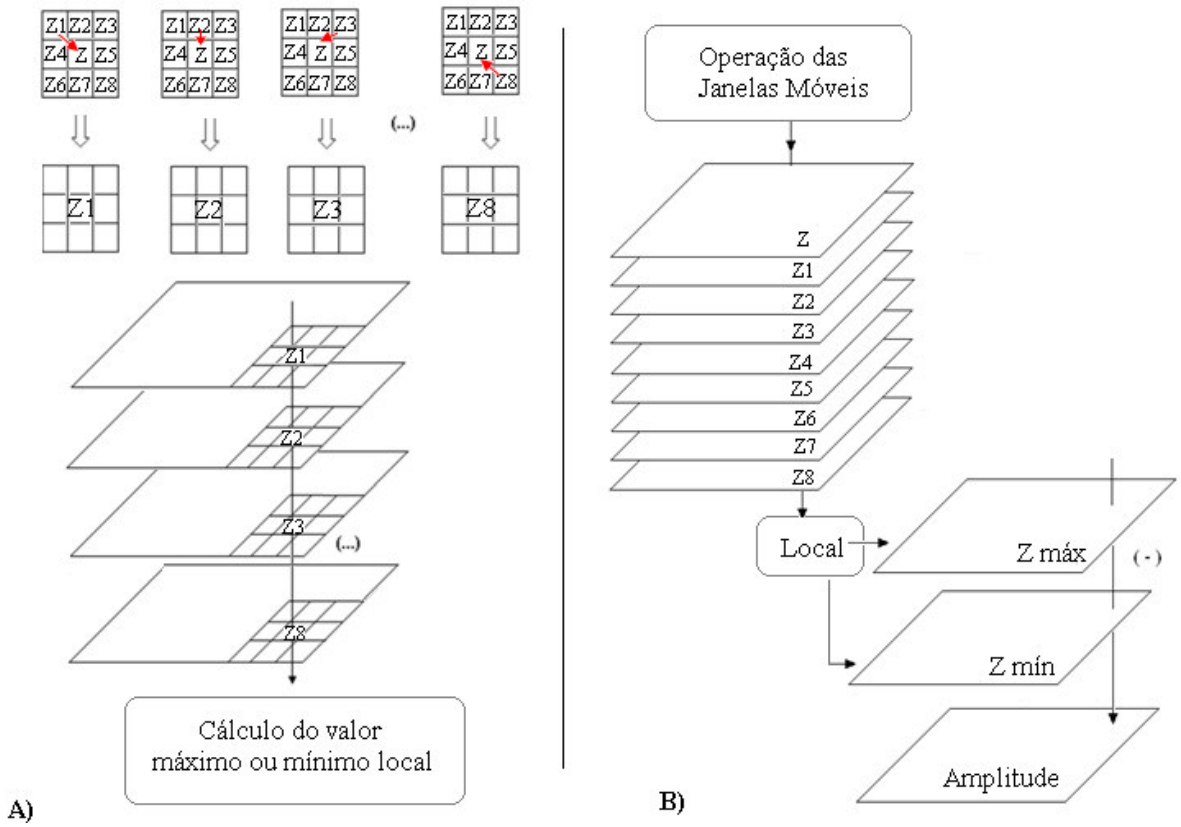


Figura 4 – Cálculo da amplitude altimétrica em SIG: deslocamento com janelas móveis (A); operações de sobreposição (B). Exemplo a partir de planos gerados por janela 3x3.

Janelas Móveis Múltiplas: 9x9 e 15x15

Para ampliar a área (ou região) de análise à abrangência de 9x9 e 15x15 pixels, os deslocamentos foram feitos em aplicações sucessivas de janelas, correspondentes a uma única aplicação sob dimensões múltiplas das dimensões adotadas em janelas simples. Dessa forma, os resultados obtidos para janelas 3x3 e 5x5 puderam ser operados sob janelas de 9x9 e 15x15 pixels sem que sejam necessárias, respectivamente, 80 e 224 aplicações de deslocamentos. Esta simplificação foi possível devido à propriedade associativa da operação de máximos e mínimos: o maior de uma população composta será o maior entre os máximos de cada população. Em vez de aplicarmos 80 operações de deslocamento, podemos fazer apenas 8, para máximos (com 3x3) e em seguida aplicar mais 8 (com 9x9), desde que nestas sejam selecionados os centros de cada conjunto 3x3 dos primeiros resultados.

Para o cálculo dos planos de máximo e mínimo, foram utilizados os planos finais de máximo e mínimo gerados para a janela móvel 3x3, de forma a simplificar a construção e

operacionalização dos mesmos. Os deslocamentos sobre os planos máximos e mínimos encontrados para as janelas 3x3 e 5x5 geraram 8 planos para o operador 9x9 e 24 planos para o operador 15x15, os quais foram comparados dois a dois para a extração da cota máxima e cota mínima do terreno para cada dimensão de janela móvel. Depois, a cota máxima e mínima de cada tipo de janela foi subtraída, gerando a amplitude do terreno.

Os resultados brutos mostraram-se merecedores de operações de pós-processamento. Após a geração dos planos de amplitude para cada tipo de janela, foram testados dois tipos de filtros para a suavização dos resultados numéricos: com operador de média e com operador de mediana. Foram testados filtros de média com dimensões 3x3, 5x5, 7x7, 5x5 sobre resultados de amplitude sob janelas de dimensões 3x3 e filtros 7x7 sobre resultados de amplitude sob janelas de dimensões 5x5, além dos filtros de mediana 3x3 e 5x5.

A coerência dos resultados para a geração de amplitudes foi analisada através da comparação entre a distribuição das altitudes dos dados originais e aquelas geradas pela imagem da amplitude. Para isto, foi feito um fatiamento para os 5 planos de amplitude encontrados, segundo o apresentado por Dent & Young (1981) (Tabela 2). Após a realização do fatiamento, definiu-se uma paleta de cores específica para tal fatiamento em que variações de menos de 10m aparecem como brancas e variações com mais de 300m aparecem pretas, evidenciando os platôs (terrenos planos) e as encostas (declives).

Tabela 2 - Classificação das faixas de amplitude segundo Dent &Young (1981)

Relevo Relativo (m)	**Tipo de relevo**
Menor que 10m	Relevo deposicional
10 – 30m	Planícies de relevo baixo
30 – 100m	Planícies de relevo moderado
100m – 300m	Morros
Maior que 300 m	Montanhas

3. Resultados e Discussão

As amplitudes do terreno, fatiadas em cinco classes, encontradas para cada uma das janelas móveis calculadas estão apresentadas na Figura 5.

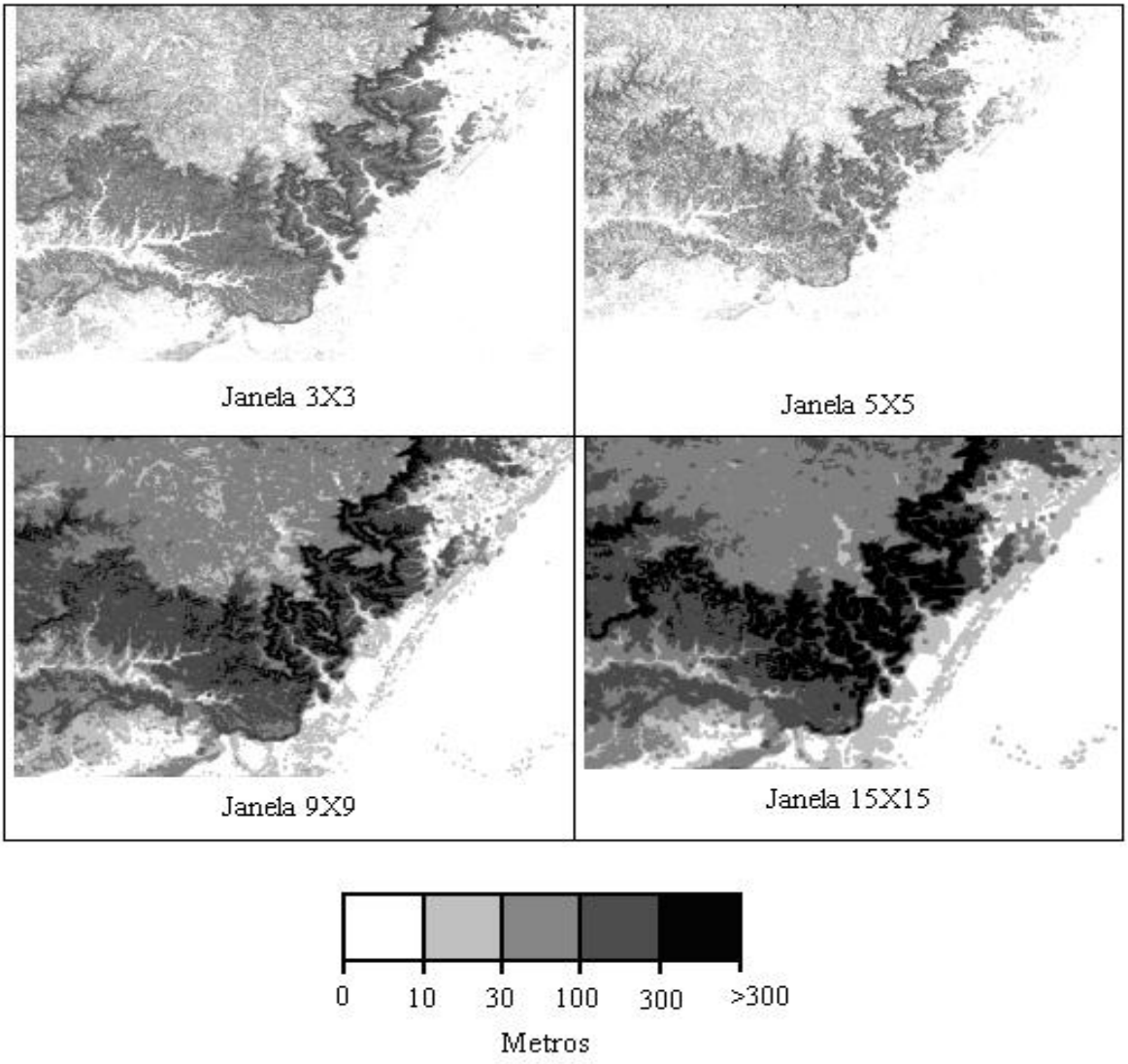


Figura 5 – Mapas de amplitude obtidos para as cinco dimensões de janelas móveis.

Através da análise da correlação entre a amplitude obtida e a declividade (Figura 6), pode-se perceber que para o operador de vizinhança 3x3 estas variáveis se mostram bastante correlacionadas, em concordância com observações de Doornkamp & King (1971). Estes autores esclarecem que esta correlação ocorre quando as áreas integradas têm dimensões menores do o tamanho adequado para o relevo em estudo. A correlação com a declividade denota, portanto, o caráter local da análise, o que não se enquadra nos propósitos deste trabalho. A partir do operador 5x5, no entanto, a correlação decai bastante e já não é mais considerada significativa. As análises feitas pelos operadores de vizinhança a partir desta dimensão de filtro passam a ser regionais.

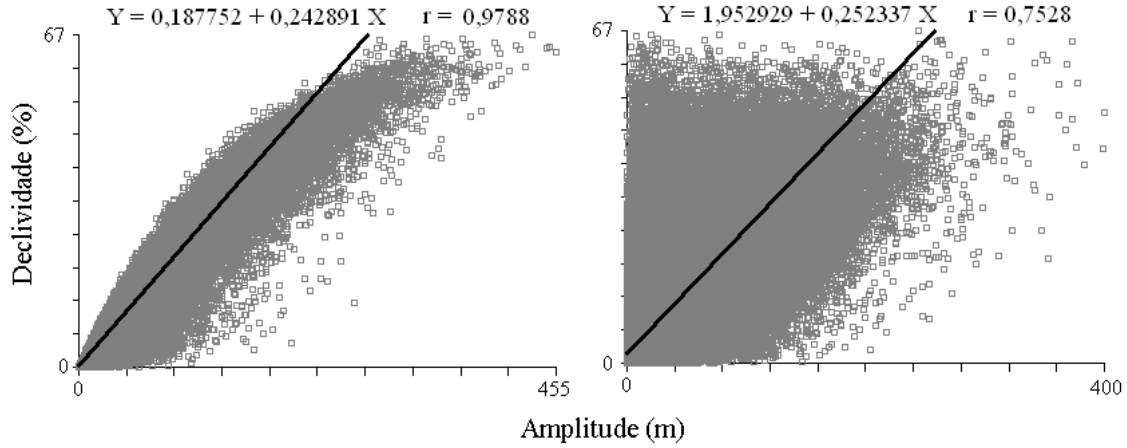


Figura 6 - Correlação entre amplitude e declividade para janela móvel 3x3 (esq) e 5x5 (dir).

Pode-se observar que quanto maior o operador de vizinhança menos detalhes são considerados nas amplitudes e menor a influência exercida pela declividade do terreno.

Houve também uma maior necessidade de filtragem nos resultados de operadores de vizinhança maiores, para a eliminação de ruídos, sobretudo depois de agrupados nas classes da Tabela 2. A marcha de pós-processamento que apresentou melhores resultados foi uma aplicação de filtro média 5x5 sobre os resultados numéricos, seguida da classificação e enfim a aplicação de filtro moda de dimensão 7x7 sobre as classes formadas.

É necessário ressaltar que apesar da viabilidade do processo ter sido verificada, uma real avaliação do desempenho só poderá ser feita mediante testes com resultados medidos no contexto de uma interpretação de unidades do relevo. Assim, pode ser que determinada dimensão de janela móvel seja mais adequada para uma unidade do que para outra. Além disto, neste trabalho as janelas foram montadas de maneira expedita, portanto quadradas, gerando feições ortogonais especialmente para as análises de maior abrangência. Embora uma maior elaboração das janelas possa ser recomendável para que tal efeito seja mitigado, os resultados do presente trabalho permitiram uma avaliação positiva do cálculo da amplitude altimétrica por SIG. A inexistência de trabalhos de geoprocessamento que lidem com a dispersão altimétrica, mais do que o caráter não-local de sua estimativa, caracteriza a iniciativa apresentada neste artigo como um desenvolvimento necessário.

4. Conclusões

- Foi possível desenvolver um processo de extração automática de amplitude de terreno em SIG com operações de vizinhança e de sobreposição;

- Os resultados expressaram diferenças regionais ao longo de relevos distintos;
- A janela móvel 3x3 não foi eficiente para estimar a amplitude de um terreno porque possui correlação muito alta com a declividade (informação local);
- A partir da janela 5x5, no entanto, os resultados das análises mostraram-se dissociados do caráter local, ou de vizinhança; e
- Recomenda-se a elaboração de testes com outras filtragens para a melhoria da visualização dos resultados obtidos.

5. Referências Bibliográficas

Burrough, P. A. (1987) Spatial aspects of ecological data. In JONGMAN, R. H., TER BRAAK, C. J. F., TONGEREN, O. F. R., (Eds.). Data analysis in community and landscape ecology. Pudoc Ed. Wagenigen, Netherlands. 1 ed: 213-251.

Dantas, M.E.; Goulart, D.R.; Jacques, P.D.; Almeida, I.S.; Krebs, A.S.J. (2005). Geomorfologia aplicada à gestão integrada de bacias de drenagem: bacia do rio Araranguá (SC), zona carbonífera sul-catarinense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Anais... João Pessoa, PB: ABRH, 2005. 74p. CD Rom.

Dent, D. & Young, A. (1981). Soil Survey and Land Evaluation. London, UK: George Allen & Unwin LTD. 278p.

Doornkamp, J. C & King, C. A. M. (1971). Numerical analysis in Geomorphology: An Introduction. London, UK: Edward Arnold LTD. 372p.

Eastman, J.R. (1995). Idrisi for windows - User's guide. Worcester, U.S.: Clark University. 440p.

Guerra, A. T. (1993). Dicionário Geológico Geomorfológico. Rio de Janeiro, RJ: IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 446p.

Imagem Landsat. Disponível em: <www.embrapa.br>. Acesso em: 22 de Setembro de 2007.

Meijerink, A. M. J. (1988). Data acquisition and data capture through terrain mapping units. ITC Journal. Wagenigen, Netherlands, 1988(1): 23-44.

Pike, R. (1988). The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. Mathematical Geology. Netherlands, 20(5):491-511.

Rabus B., Eineder M., Roth A. & Bamler, R. (2002). The shuttle radar topography mission- a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. Amsterdan, Netherlands, 57(4): 241-262.

Valeriano, M. M. (2004). Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE. São José dos Campos, SP, 72p.