

Modelagem da dissecação por geoprocessamento para delineamento de manchas de solo

Viviana Aguilar Muñoz^{1,2}
Márcio de Morisson Valeriano¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{viaguila, valerian}@dsr.inpe.br

² Bolsista da CAPES/CNPq – IEL Nacional - Brasil

Abstract. Non-local geomorphometry is a rare subject of Geographical Information System (GIS) studies and resource developments. Among the non-local topographic variables, dissection is a well-known topographic parameter that expresses the maturity of the terrain throughout the geomorphological development. In GIS, it can be achieved through the analysis of the regional height dispersion found in Digital Elevation Model (DEM) data. This research proposes a method for the calculus and mapping of dissection, which is conceptually related to terrain analysis techniques. The steps of the developed procedure comprise the gathering of regional elevation records to a point, the numerical analysis of their distribution, and further classification (un-supervised techniques) and filtering. All steps were applied on both original (~90m) and refined (~30m) SRTM data of the study site, a 1:100.000 quad at São Carlos (SP, Brazil). Results were compared with the input DEM, besides a previously developed height map and data from published soil map. Dissection calculated from SRTM-90m was best for the partition of the landscape into meaningful regional segments. Classification furnished best class distinction when applied on terrain segments, instead of applied directly on continuous results. Dissection, elevation and height were shown to be statistically independent and complementary variables in the description of relief. When tested as potential inputs for soil mapping, the numerical and the classified form of dissection description were indistinctly useful.

Palavras-chave: SRTM, terrain analysis, geomorphometry, dissection, soils, algorithm, análise do terreno, geomorfologia, dissecação, solos, algoritmo

1. Introdução

Em estudos dos sistemas terrestres, a chamada *análise do terreno (terrain analysis)* é uma abordagem consagrada para a medição e o tratamento de informações do relevo. Representa uma forma de mapeamento baseada principalmente na topografia e no substrato associado a esta. A análise do terreno compreende a descrição da superfície com métodos paramétricos (Dent e Young, 1981), que por sua vez procuram inferir tipos de terreno e suas condições pelo mapeamento de seus atributos topográficos quantitativos. Em fases de elaboração e síntese da análise, os atributos paramétricos são incluídos na classificação do terreno sob abordagem qualitativa (Mabbutt, 1968). Estas abordagens de estudo do território constituem aplicações clássicas da Geomorfometria ou, conforme denominação mais recente, da *análise digital do terreno (digital terrain analysis - Hengl et al., 2003)*.

Em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) as formas da superfície são frequentemente representadas por campos contínuos, o mais comum deles é a grade ou matriz de altitudes conhecida como Modelo Digital de Elevação (MDE) (Burrough e McDonnell, 1998). Uma das fontes de dados de altitude mais amplamente difundidas nos últimos anos é o MDE da *Shuttle Radar Topographic Mission*, ou MDE-SRTM (Rodriguez et al., 2005).

Entre os atributos básicos calculados por processamento digital do MDE temos, além da própria altitude, a curvatura vertical e horizontal, a declividade e o aspecto. Estes podem ser determinados pela derivação da superfície ou medida das variações da altitude (z) em relação à variação da posição (x, y) e são conhecidos como *atributos primários*, pela sua função, ou *variáveis geomorfológicas locais*, pela sua natureza. Outros atributos primários podem ser de natureza não-local, uma vez que podem estar relacionados à dispersão da altitude, à estrutura da drenagem, ou a outros aspectos que requeiram a integração de elementos

distribuídos no espaço, ou numa região. Atributos secundários ou índices do relevo relacionam dois ou mais atributos primários, por exemplo, o índice topográfico de umidade e o índice de erosão (Wilson e Gallant, 2000).

Variáveis primárias como a altura, a predominância, a amplitude e a dissecação topográfica (Mark, 1975) são menos exploradas no ambiente de SIG por sua natureza não-local e, portanto, mais complexa. Porém não são menos importantes na caracterização do relevo. Estes atributos permitem a estratificação do terreno em regiões e seu cálculo está baseado na análise da dispersão altimétrica. A dissecação é uma variável topográfica essencial na interpretação dos processos erosivos da superfície terrestre. Em termos topográficos, a dissecação pode ser definida como a distância vertical entre os pontos da superfície topográfica e sua projeção numa superfície de referência arbitrária, conformada pelos pontos de altitudes máximas dentro de uma área de medição unitária. O grau de dissecação depende do estágio de maturidade do relevo no ciclo geomorfológico.

O principal objetivo deste trabalho foi o cálculo da dissecação topográfica por geoprocessamento de dados SRTM em ambiente de SIG, com propósitos de modelagem do relevo para aplicações em estudos do meio físico, sobretudo o mapeamento de solos. Dois objetivos complementares permitiram a avaliação do mapeamento da dissecação na área de estudo: (i) A comparação desta junto às variáveis altitude e altura; e (ii) A exploração de possíveis aplicações da variável dissecação em estudos do solo.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

O teste da metodologia para o cálculo da dissecação topográfica foi aplicado na folha SF.23-Y-A-I do sistema cartográfico brasileiro, enquadrada entre os paralelos 22°S e 22°30'S e os meridianos 48°W e 47°30'W. Corresponde à quadrícula São Carlos, interior do Estado de São Paulo, como se ilustra na Figura 1.

Destacam-se nesta região os serrotes de Santa Bárbara e Itaguaçu; as serras de São Carlos, Monte Sinai, Atalaia, Cachoeira, São Pedro, Itaqueri, Dos Padres e a Serra grande; os rios Jacaré-Guaçu, Ribeirão do Feijão, Ribeirão do Lobo, Ribeirão Itaqueri, Corumbataí e Passa Cinco; e a Represa do Lobo (IBGE, 1969; IBGE, 1971).

Predomina material basáltico e arenitos de idade mesozóica e paleozóica, siltitos e argilitos do paleozóico, intrusões quaternárias de areias, argilas e arenitos da Formação Rio Claro, aluviões do quaternário, granitos e gnaisses de idade cambriana e pré-cambriana (Brasil, 1983). Os solos são principalmente Latossolos, solos Podzólicos, Areias Quartzosas, Terra Roxa Estruturada, solos Litólicos, Aluviais, Cambissolos e Gleissolos (Prado et al., 1981).

A região pertence ao sudeste do Brasil, classificada como subquente - úmida, tipo tropical, com um a dois meses secos (Nimer, 1979). A temperatura média histórica anual oscila entre 18,1°C e 20°C e a precipitação média histórica anual oscila entre 1751 mm e 2000 mm (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

A vegetação natural está representada em savanas (cerrado), com vegetação arbórea densa, aberta e gramíneo-lenhosa; floresta estacional semi-decidual, com floresta de montanha e vegetação secundária sem palmeiras; e no contato entre estes dois domínios acham-se pequenas áreas de tensão ecológica. A agricultura ocupa áreas dos três domínios florestais e está representada principalmente em pastagens e culturas cíclicas – permanentes de cana, café, eucalipto e pinheiro (Brasil, 1983; IBGE, 1969; IBGE, 1971).

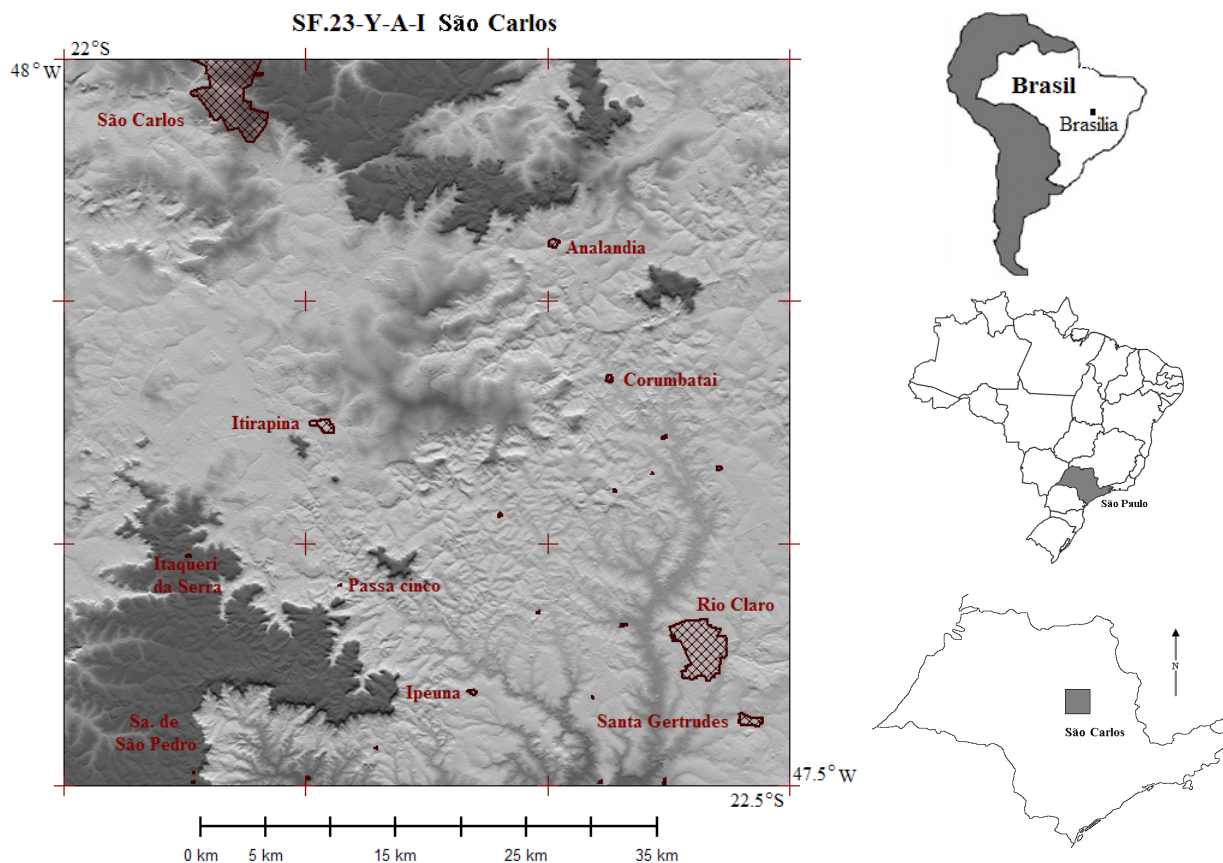


Figura 1. Localização da área de estudo.

2.2 Dados

Os dados de altitude para o cálculo da dissecação topográfica provieram da versão corrigida do MDE interferométrico SRTM, disponível para o Brasil na resolução 3 arco-segundos (~90m) no formato *.hgt, que pode ser acessada livremente no portal do projeto (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>) ou diretamente no diretório público da NASA (<ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/>) (Rodriguez et al., 2005).

2.3 Equipamentos

Para manipulação de dados numéricos na geração de superfícies foram utilizadas as versões 6.0 e 8.0 de SURFER (Golden Software Inc., 1995 e 2003). As operações para extração da dissecação foram organizadas na linguagem de programação interna do SIG Idrisi 2.0 –Idrisi Macro Language (IML)- (Eastman, 1995). Operações de segmentação e classificação dos dados numéricos foram desenvolvidas em SPRING 4.3 (INPE, 2007) e ENVI, versão 4.3 (ITT Industries, 2006). Testes de geoprocessamento e saídas gráficas foram gerados em Idrisi 32 (Clark Labs, 2000) e Global Mapper versão 9.0 (Global Mapper Software LLC, 2007).

2.4 Processamentos

Foi extraída do MDE uma área ligeiramente maior à folha de São Carlos (50 pixels em cada uma das bordas laterais) com o propósito de contornar a perda de dados e o ruído, decorrentes de operações de vizinhança, nas margens do MDE. Sobre este MDE foram aplicadas operações de pré-processamento para preenchimento de falhas, em que os dados foram estruturados em formato ASCII (x,y,z). Em seguida, o MDE foi reconstruído sem falhas e re-amostrado de 90m para 30m segundo metodologia de Valeriano (2004). Os

processamentos posteriores de extração e classificação da dissecação topográfica foram padronizados para aplicação independente nas duas resoluções do MDE.

Para viabilizar a comparação dos valores da altitude nas direções cardinais num ambiente SIG, o valor da altitude de cada pixel da vizinhança foi deslocado para o pixel central de uma janela móvel quadrada de dimensões entre 3×3 e 27×27 pixels (*a.m.u.*). Cada deslocamento gerou uma nova imagem (ou plano de informação) com os valores de altitude de sua posição relativa. As imagens obtidas para cada dimensão de janela foram sobrepostas e comparadas entre si através de uma lógica de inequações para extração dos valores máximos da altitude, então armazenados num único e novo plano de informação. O Modelo Digital de Dissecação (MDD) ou dissecação topográfica na forma numérica (d_n) se obteve da subtração das altitudes absolutas daquelas da superfície de valores máximos.

O pós-processamento do MDD incluiu a aplicação de um filtro tipo média de tamanho 3×3 para suavização dos resultados sem detrimento do histograma. Após esta filtragem foram testados três métodos de fatiamento: (i) Classificação não supervisionada a partir de dados segmentados pela técnica de crescimento de regiões; (ii) Classificação não supervisionada *isodata*; e (iii) Classificação manual do histograma agrupando os valores numa escala logarítmica. Os parâmetros utilizados e o correspondente número de classes (c_l) são mostrados na Tabela 1. Para melhorar o agrupamento e separação de classes nos produtos finais foram aplicados filtros tipo moda de tamanhos 3×3 (sobre os produtos de 90m) e 7×7 (sobre os produtos de 30m). Por fim, o excesso de 50 pixels foi cortado das bordas de todos os planos de informação, para extração da janela correspondente à folha São Carlos.

Tabela 1. Parâmetros de fatiamento da dissecação topográfica

Imagem numérica		Classificação		
		<i>Segmentação</i>	<i>Isodata</i>	<i>Histograma</i>
d_n	30m	Similaridade = 10 $9 < \text{Área} < 30$ $6 < C_l < 8$	$4 < C_l < 6 \Rightarrow 5 C_l$ $5 < C_l < 7 \Rightarrow 6 C_l$	$C_l 1: 0 \text{ a } 10$ $C_l 2: 10 \text{ a } 30$ $C_l 3: 30 \text{ a } 70$
	90m	$7 < \text{Similaridade} < 10$ $7 < \text{Área} < 18$ $7 < C_l < 10$	$6 < C_l < 8 \Rightarrow 7 C_l$ $7 < C_l < 9 \Rightarrow 8 C_l$	$C_l 4: 70 \text{ a } 150$ $C_l 5: 150 \text{ a } 500$

3. Resultados e Discussão

3.1 Avaliações do Mapeamento da Dissecação Topográfica

A escala de valores numéricos das variáveis topográficas extraídas de um MDE depende do tamanho da janela utilizada no seu cálculo e da resolução do modelo. Assim, variáveis topográficas na escala local são extraídas pela derivação altimétrica a partir de janelas moveis de tamanhos pequenos. Já as variáveis topográficas na escala regional são extraídas da dispersão altimétrica a partir de janelas móveis de tamanhos maiores.

Na extração das altitudes máximas e da dissecação topográfica, a resolução das imagens resultantes permaneceu constante em relação à dos dados originais. No entanto, o nível de detalhamento ou escala dos valores numéricos mudou conforme a *a.m.u.* Uma janela móvel de 27×27 pixels representa uma *a.m.u.* de $656,1 \text{ km}^2$ ($810\text{m} \times 810\text{m}$) na resolução 30m e de $5904,9 \text{ km}^2$ ($2430\text{m} \times 2430\text{m}$) na resolução 90m. As diferenças no detalhamento das duas resoluções se podem observar na Figura 2.

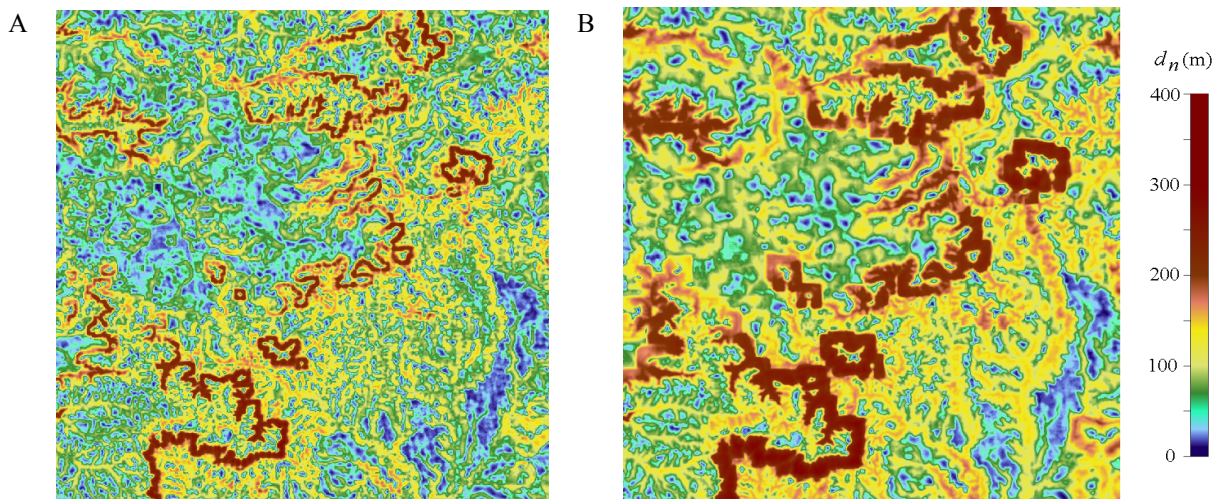


Figura 2. MDD extraído a partir de dados de altitude SRTM em (A:) 30m e (B:) 90m.

3.2 Avaliações do Fatiamento da Dissecação Topográfica

O número mínimo (cinco) e máximo (oito) de classes para o fatiamento das imagens numéricas foi estabelecido a partir da precisão cartográfica dos dados SRTM (entre 1: 50 000 e 1: 250 000), distancia entre curvas de nível para esta precisão (entre 25m e 100m) e intervalo de valores numéricos ($d_{n,max} - d_{n,min}$) dos modelos MDD-30m (300m) e MDD-90m (400m).

As melhores classificações foram obtidas a partir de dados segmentados. A técnica de classificação *isodata* forneceu bons resultados para os fatiamentos em cinco e seis classes. O resultado das classificações é apresentado na Figura 3. Na primeira linha se ilustram as imagens das quatro classificações (esquerda à direita: cinco, seis, sete e oito classes) a partir do MDD-30m e nas da segunda linha as correspondentes ao MDD-90m. Em ambos os casos se observa aumento na ‘pureza’ de polígonos na medida em que diminui a resolução do modelo e aumenta o número de classes. No entanto a seleção final do MDD e da classificação só pode ser determinada pelas características particulares da área de estudo e o propósito da aplicação dos resultados.

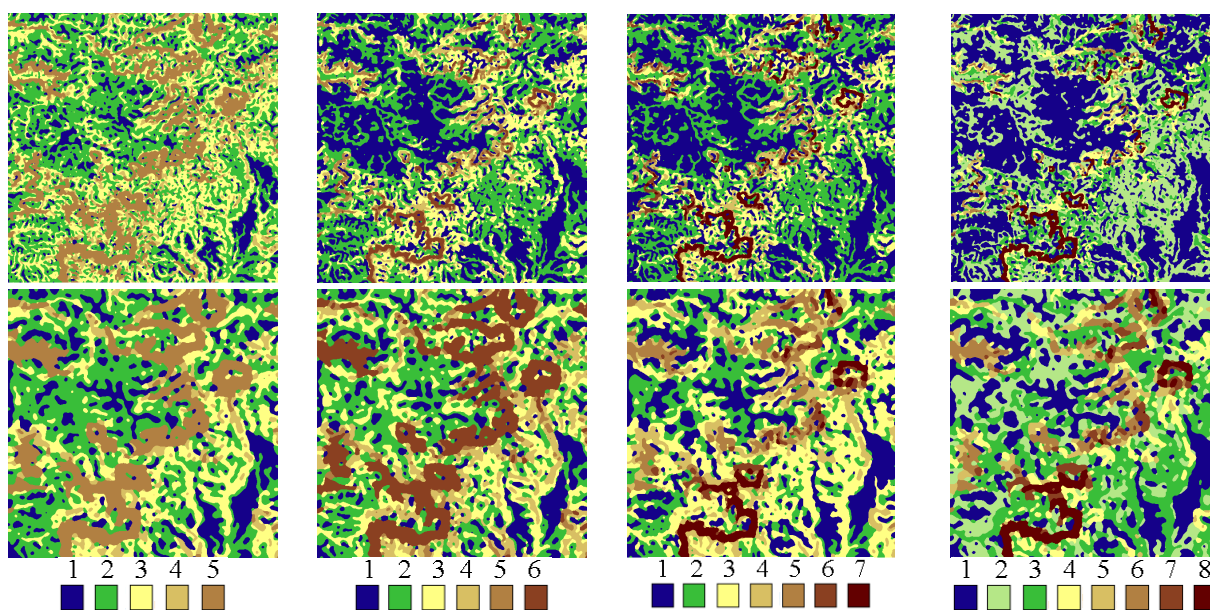


Figura 3. Fatiamentos da dissecação topográfica.

3.3 Avaliações da Dissecação Junto à Altitude e a Altura

A altura topográfica (a_n) (Muñoz et al., 2008) e a dissecação (d_n) poderiam ser consideradas opostas. Na Figura 4(A) observa-se que, para uma *a.m.u.* fixa e um mesmo modelo de altitudes (z_n), a principal diferença entre os valores de a_n , d_n e z_n decorre do plano tomado como referência (cota zero) na estimativa da superfície topográfica. Os baixos índices de correlação e de determinação mostrados na Figura 4(B) indicam independência estatística entre as três variáveis. Isto significa que elas poderiam ser utilizadas de forma individual e/ou complementar na caracterização do relevo ou na extração de outras informações do meio físico.

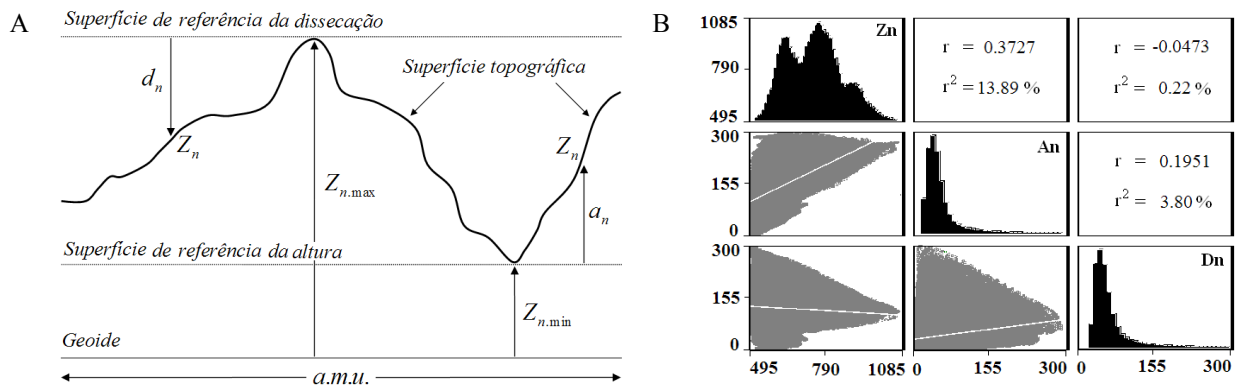


Figura 4. (A) Conceito de altura (a_n), dissecação (d_n) e altitude (z_n); (B) Matriz de correlação.

O comportamento tri-modal do histograma de freqüências da z_n indica distribuição estratificada desta variável na área de estudo, com ligeiro predomínio de altitudes baixas e medias, determinado pela distribuição territorial destes estratos. Notem-se as diferenças entre o histograma da z_n e aqueles das outras duas variáveis. Quando referidas ao nível médio do mar, as cotas mínimas e máximas locais podem estar agrupadas em torno de uma mesma faixa de altitudes. A reconstrução da superfície de referencia a partir dos mínimos ou dos máximos locais permite a separação destas altitudes. Infere-se daqui que a diminuição dos valores máximos nos histogramas da a_n e da d_n , em relação ao das altitudes, são conseqüência da melhor discriminação destes valores locais dada pela supressão das variações impostas pelos estratos altimétricos. Ao mesmo tempo, o aumento da freqüência dos valores mínimos pode sugerir a prevalência, na soma dos diferentes estratos, de terrenos baixo-predominantes (Muñoz e Valeriano, 2008). Porém tal distribuição se deve ao fato de a altura e a dissecação expressarem, em módulo, a ocorrência de singularidades altimétricas em meio a uma estrutura mais abrangente de estratos e, portanto, deve ser considerado regra para estas variáveis.

Devido ao fato de a_n e d_n serem variáveis topográficas opostas, as freqüências dos valores é a mesma para uma mesma área de estudo. Isto explica a semelhança entre os dois histogramas. Nestes se evidencia que na área de estudo os valores altos são mais raros, ou menos freqüentes, do que valores baixos e que predominam os valores médios. A sensação visual do relevo invertido entre estas duas variáveis se deve a que os máximos valores de dissecação são os mínimos da altura e vice versa.

Entre as possíveis aplicações do mapeamento de variáveis topográficas em estudos do meio físico está o mapeamento de solos. Na Figura 5 se observa como a mancha do Latossolo Vermelho Amarelo Arenoso (LV-2+LV-3), extraída da carta de solos da área de estudo (Prado et al., 1981), é facilmente reconhecível nos modelos digitais obtidos a partir dos valores numéricos das três variáveis: Modelo Digital de Elevação (MDE), Modelo Digital de Altura (MDA) e Modelo Digital de Dissecação (MDD).

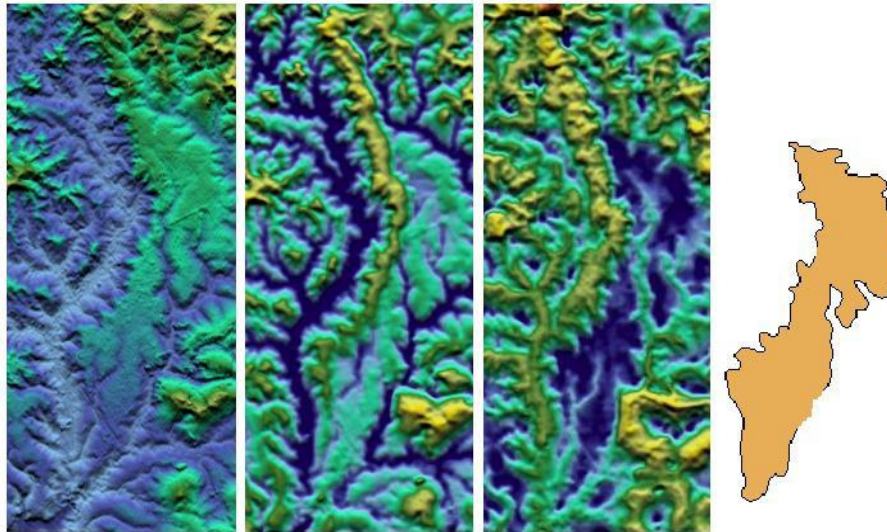


Figura 5. Esquerda à direita: MDE, MDA, MDD, LV-2+LV-3.

Esta feição do Latossolo também pode ser reconhecível nos mapas das classificações da dissecação (MDD-90m), como se observa na Figura 6. Nesta figura o fatiamento do MDD em sete classes parece indicar melhor esta mancha de solo na área de estudo. No entanto o trabalho de campo, a inclusão de outros parâmetros do relevo e as análises estatísticas são ainda necessários na seleção do modelo apropriado para propósitos de mapeamento de solos.

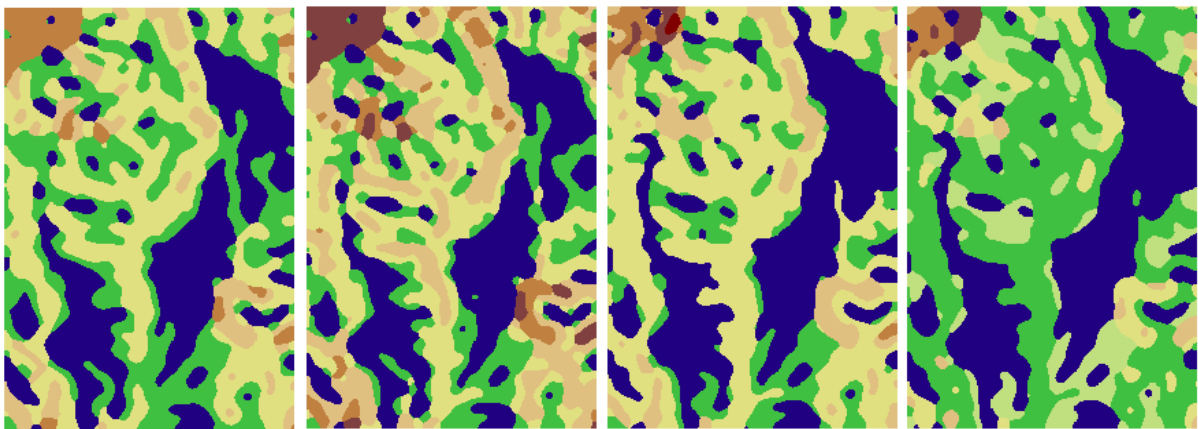


Figura 6. Detalhe das quatro classificações da d_n correspondente ao LV-2+LV-3.

4. Conclusões

O MDD-30m forneceu melhor detalhamento das feições topográficas do que o MDD-90m; no entanto, este último apresentou vantagens na discriminação de feições regionais do relevo. Os valores numéricos do MDD refletiram o grau de dissecação do relevo na área de estudo, mostrando maiores valores nas encostas e cursos d'água e menores valores nas áreas planas. Melhores separações entre classes do MDD foram obtidas pela aplicação da técnica de classificação a partir da segmentação por crescimento de regiões; não é adequado selecionar um MDD ou uma classificação dele fora do contexto do meio físico particular ou do propósito da aplicação; para uma seleção adequada é necessário fazer trabalho de campo e análises estatísticas complementares que auxiliem a interpretação dos resultados. A altitude, altura e dissecação são variáveis independentes que indicam parâmetros diferentes do relevo; a partir da combinação destas três variáveis pela aplicação de métodos estatísticos poderiam ser extraídos outros atributos do meio físico, como por exemplo, classes de solos.

Referências Bibliográficas

- Brasil, Ministério das Minas e Energia, Secretaria Geral, Divisão de Publicações. **RADAMBRASIL: Levantamento de recursos naturais**. Folhas SF.23-24 Rio de Janeiro-Vitória. V. 32. 1983. 780p.
- Burrough, P.A.; McDonnell R.A. **Principles of Geographical Information Systems**. New York: Oxford University Press, 1998. 333p.
- Dent, D.; Young, A. **Survey and Land Evaluation**. London: George Allen & Unwin (ed.). 278 p.
- Eastman, J. R. **Idrisi for Windows: User's Guide**. Worcester: Clark University, 1995. 440p.
- Hengl, T.; Gruber S.; Shrestha. D.P. **Digital Terrain Analysis in Ilwis: Lecture notes and user guide**. Enschede: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), 2003. 56p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cartas topográficas de São Carlos e Corumbataí: SF.23-Y-A-I-1, SF.23-Y-A-I-2, 1:50 000**. São Paulo: IBGE, 1971.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cartas topográficas de Itirapina e Rio Claro: SF.23-Y-A-I-3, SF.23-Y-A-I-4, 1:50 000**. São Paulo: IBGE, 1969.
- Mabbutt, J.A. Review of Concepts of Land Classification. In: Stewart G.A. **Land Evaluation: Papers of a CSIRO Symposium organized in Cooperation with UNESCO**. Vitoria: Macmillan of Australia, 1968. cap.1: Principles of Land Classification and Evaluation, p.11-28.
- Mark, D. M. Geomorphometric parameters: a review and evaluation. *Geografiska Annaler. Series A, Physical geography*, v.57, n.3/4, p.165-177, 1975.
- Mendonça, F.; Danni-Oliveira, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206p.
- Muñoz, V.A. ; Valeriano, M. M.; Viana, D. R. . **Estimativa da Altura Topográfica por Geoprocessamento para Modelagem do Relevo**. In: II SIMGEO, 2008, Recife (PE). Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2008.
- Muñoz, V.A. ; Valeriano, M. M. **Mapeamento da Predominância Topográfica através do Processamento de Dados SRTM como Contribuição ao Mapeamento de Solos**. In: VII SINAGEO, 2008, Belo Horizonte (MG). VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latinoamericano de Geomorfologia, 2008.
- Nimer, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, série recursos naturais e meio ambiente, n.4, 1979. 422p.
- Prado, H. Oliveira, J. B., Almeida, C.L.F. **Carta pedológica semidetalhada de São Carlos: SF.23-Y-A-I, 1:100 000**. São Paulo: Instituto Agrônômico (IAC), 1981.
- Rodriguez, E.; Morris, C.S.; Belz, J.E.; Chapin, E.C.; Martin, J.M.; Daffer, W.; Hensley, S. **An assessment of the SRTM topographic products**. Pasadena, California: Jet Propulsion Laboratory, 2005. 143 p. (JPL D-31639). Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/srtmBibliography.html>>. Acesso em: 21.fev.2008.
- Valeriano M.M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. 72p. (INPE- 10550-RPQ/756).
- Wilson, J.P.; Gallant, J.C. **Terrain Analysis: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000. 478p.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao governo brasileiro, através da CAPES e do CNPq, pelo apoio à pesquisa através da bolsa de estudos do primeiro autor, e ao INPE pelo apoio financeiro e institucional tanto no desenvolvimento da pesquisa quanto na participação no XIV SBSR.