

Visualização de imagens topográficas

Márcio de Morisson Valeriano

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
Bolsista CNPq. E-mail: valerian@dsr.inpe.br

Abstract. This paper presents first attempts to develop adequate visualization techniques for the interpretation of geomorphometric data from GIS analyses. This effort is motivated by an increasing dichotomy between modern DEM specialist and traditional geomorphologists. This results in poor interpretation of GIS outputs due to limited employment of accumulated knowledge of skilful interpreters. The first technical constraint is the lack of useful visualization schemes for derived variables, while elevation itself is prone only to shaded relief presentation. The first concerns in this development were to consider the numerical nature and distribution of geomorphometric data, in order to create grayscale schemes optimized to the expected use and perception stimulus of each variable. Among the tasks necessary to overcome GIS limitations to present geomorphometric data, the inversion of slope values and deriving orthogonal components of aspect were shown to be key procedures to match the produced perception with the concrete characteristics of the terrain. After solving the problems of data balance and linearization, a format conversion to byte/binary with standardized stretch assured the feasibility of applying multispectral image processing resources to geomorphometric variables, through preliminary tests with color compositions. The conclusions emphasized the advantages in processing topographic data as conventional image.

Palavras-chave: MDE, geomorfometria, visualização, interpretação.

1. Introdução

A uniformidade das especificações dos dados SRTM representa uma perspectiva interessante para as análises do relevo conduzidas sob abordagem paramétrica (Speight, 1968) em ambiente digital. O trabalho de derivação de dados topográficos (fotoleitura), tipicamente exigente em termos de tempo e habilidade dos intérpretes, pode assim ser executado com relativa operacionalidade, o que permite a análise de extensas coleções de dados. Este cenário representa uma ampliação potencial do universo de condições estudadas, assim como a uniformização numérica dos critérios de interpretação, mesmo quando subjetivos.

No entanto, as metodologias de análise do terreno foram por longo tempo desenvolvidas com o subsídio da interpretação visual do relevo, condição imprescindível devido à capacidade da visão humana de agregar conhecimentos do intérprete. Por este histórico, deve-se reconhecer que a capacidade da comunidade de especialistas em relevo está estreitamente associada à sua experiência prática em análises visuais. Tais análises são apoiadas implícita ou explicitamente em variáveis geomorfométricas (Dent & Young, 1981), tradicionalmente observadas através de medições sobre cartas topográficas ou fotoleitura em estereoscópios. Entretanto, as mesmas facilidades tecnológicas que viabilizam a obtenção digital de dados geomorfométricos podem criar condições para uma indesejável dissociação das duas abordagens, visual e digital, através de uma crescente ruptura entre modernos profissionais das geotecnologias e fotointérpretes experientes. Ressalta-se que os processos digitais se mostram especialmente eficazes para a fotoleitura e a integração dos dados, porém estarão sempre longe de cumprir as metas finais da interpretação.

Oguchi (2006) relata que, apesar dos contínuos avanços da modelagem do relevo com geoprocessamento, um dos principais problemas observados é a fraca interpretação geomorfológica dos resultados de análises de SIG. Atribui essa falha à fraca inserção do conhecimento acumulado a partir da geomorfologia convencional em trabalhos de SIG e recomenda uma maior colaboração entre especialistas de SIG e intérpretes tradicionais. Como condição básica para essa interação, aponta-se a necessidade de técnicas adequadas de

representação de dados topográficos em SIG. Embora os sistemas de informações geográficas (SIG) tenham os recursos de visualização entre suas funções básicas, aos dados topográficos em especial foram desenvolvidas somente as representações em relevo sombreado e em perspectiva, além da codificação em níveis de cinza, ambas restritas à altimetria. A ausência de técnicas otimizadas para a representação das variáveis topográficas derivadas impede que as vantagens da análise digital sejam efetivamente aproveitadas na interpretação do relevo. Este trabalho propõe que recursos típicos de tratamento de imagens multi-espectrais sejam adaptados para o desenvolvimento de representações adequadas dos elementos de interesse para a interpretação geomorfológica.

2. Material e métodos

Os dados geomorfométricos provieram de testes e resultados preliminares desenvolvidos em torno da iniciativa TOPODATA (Valeriano, 2005), projetada para fornecer variáveis topográficas a partir dos dados SRTM. Entre as variáveis preconizadas na concepção do projeto, já se têm operacionalizadas metodologias para extração das principais variáveis locais: altimetria, declividade, orientação de vertentes, curvatura vertical e curvatura horizontal. Para compreensão dos conceitos, métodos, recursos e testes aplicados neste desenvolvimento, recomenda-se a leitura das referências do TOPODATA. Estas variáveis encontram-se estruturadas em Planos de Informação (PI), na forma de números reais, como naturalmente se quantificam dados de elevação (m), declividade (%), orientação de vertentes, ou direção, (°), curvatura horizontal (°/m) e curvatura vertical (°/m) em suas respectivas unidades.

Para manipulação numérica e gráfica destes PI foram utilizados os recursos gráficos e de processamento do SIG Idrisi (Eastman, 1995). Os processamentos aplicados se referem a transformações matemáticas dos dados, bem como modificações de formato. Os recursos gráficos utilizados neste trabalho recaíram sobre a codificação dos valores e classes representados, para a qual foram elaboradas diferentes escalas de cinza e de cores (paletas).

Para que os planos de informação das variáveis morfométricas possam ser tratados com recursos de análises multiespectrais, é necessário que os dados estejam na estrutura típica das imagens de satélite (byte/binário). Tal formato exige um re-escalamento das variáveis para o intervalo de 0 a 255, o que requer o estabelecimento de valores extremos para cada variável. Para que o re-escalamento das variáveis possa manter-se consistente sob diferentes condições de relevo, os valores extremos foram tomados após observação de 12 folhas 1:250.000 do Brasil, escolhidas pela presença de relevos contrastantes entre as áreas já preparadas no TOPODATA (**Figura 1**).

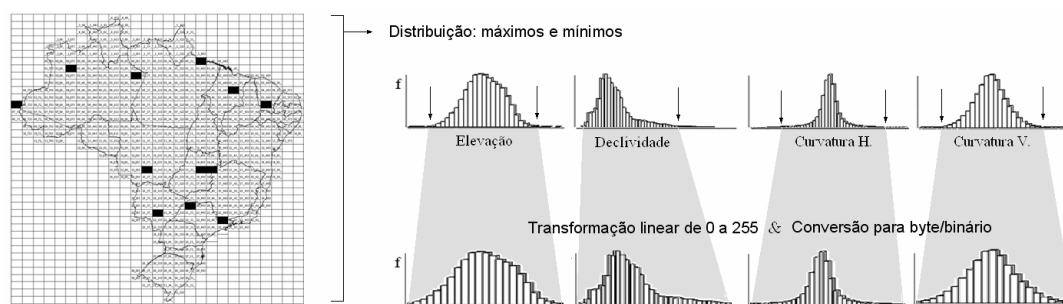


Figura 1 – Transformação das variáveis geomorfométricas para processamento de imagens.

Essas folhas, que englobam terrenos que variam desde escarpas da Serra da Mantiqueira até os relevos deprimidos do Pantanal Matogrossense e da Ilha do Marajó, foram analisadas

pelos histogramas de cada variável, procurando-se os valores extremos de suas distribuições. Os máximos e mínimos foram tomados nos valores em que cada curva de distribuição indicasse 1% da frequência máxima, independentemente da ocorrência de valores fora desse intervalo. Os valores de declividade foram convertidos de porcentagem para graus antes da transformação de formato, para que a variável mantenha proporcionalidade uniforme, no intervalo de 0° a 39°. A orientação de vertentes, originalmente uma variável circular, foi desdobrada nas componentes lineares cosseno (“o quão para norte se orienta”) e seno (“o quão para leste”) e ambas transformadas para byte binário no intervalo de -1 a +1. Os valores de curvatura, que variam em torno de zero, tiveram que ser re-escalados de modo simétrico, para que o valor nulo corresponda a 127 na nova escala. A curvatura vertical foi transformada no intervalo de -0,155°/m a +0,155°/m e a curvatura horizontal -2,1 °/m a +2,1 °/m. A elevação constitui-se uma exceção a essa padronização e foi transformada usando-se os limites observados localmente, que foram de 476m a 700m. Estas transformações são feitas essencialmente através da operação de realce de contraste (*stretch*).

3. Desenvolvimento

Na **Figura 2** são apresentadas a elevação e suas derivadas de primeira ordem, declividade e a orientação de vertentes, em duas representações. Acima, estas variáveis estão codificadas em níveis de cinza crescentes, forma pela qual são prontamente representadas nos SIG.

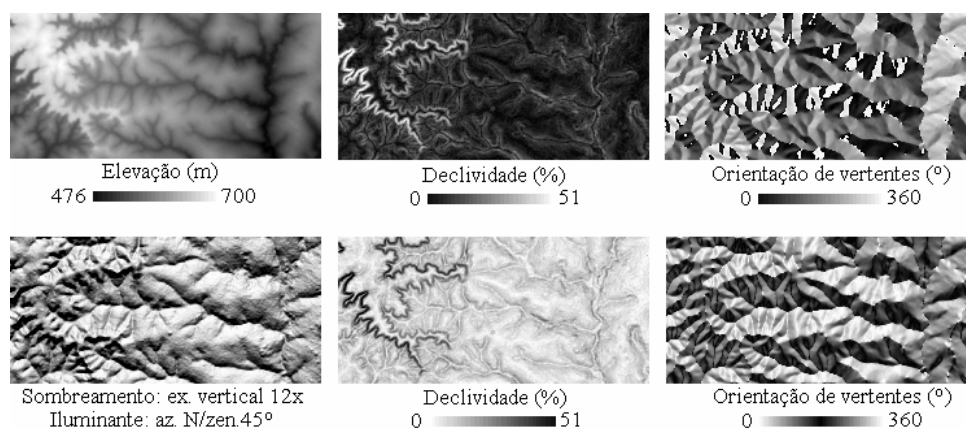


Figura 2 – Representações da elevação e de suas derivadas de primeira ordem.

Dado o pequeno número de níveis de cinza perceptíveis pela visão humana, cada faixa de percepção deverá compreender muitos níveis da variável representada, o que acarreta uma relativa perda de feições. No caso da elevação, este efeito obscurece a percepção de uma série de características importantes do modelo, tais como a textura topográfica e o posicionamento preciso de canais de drenagem e divisores. Em relevo sombreado, estes aspectos se mostram claros, uma vez que esta representação leva em conta os ângulos vertical e horizontal de exposição (declividade e orientação) do terreno, em relação à posição do iluminante, que é arbitrariamente posicionado. Com exagero vertical grande (também arbitrário), há o risco de se obscurecerem feições nas vertentes sombreadas. Devido à noção instintiva de que a iluminação vem de cima (da abóbada celeste), a percepção correta da profundidade requer que o iluminante seja posicionado ao Norte (entre NE e NW) em mapas com norte ao topo (Robinson et al., 1984). Com iluminante ao Sul, a percepção de profundidade tende a ser invertida, o que pode ser corrigido de um giro de 180° no mapa.

Para declividade, a inversão do sentido de distribuição dos níveis de cinza produz uma representação já conhecida entre as técnicas de sombreado, denominada Sistema de Lehmann (Imhoff, 1982). Esta forma tem a grande vantagem de causar uma percepção tridimensional do modelo, porque reproduz o aspecto do mesmo quando iluminado ortogonalmente, bem como o efeito da densidade de isolinhas em áreas íngremes. Uma vez associado aos níveis de declividade, o sistema de Lehmann representa os aspectos verticais do sombreado isoladamente, sem o efeito da orientação de vertentes.

A orientação de vertentes mostra-se a variável de percepção mais prejudicada pela codificação em níveis de cinza devido à sua natureza circular. Decorre desta circularidade que o menor e o maior valor (0° e 360°) correspondem à mesma orientação (N) e, portanto, deveriam ser codificados de maneira semelhante. Porém, devido a diferenças puramente numéricas, as vertentes para o norte apresentam quebras agudas no contraste, em que o preto e o branco se justapõem onde deveria haver uma continuidade. O restante da distribuição de cinza na imagem não segue um padrão adequado às características instintivas da visão humana quanto à iluminação, o que confunde a percepção tridimensional, causando uma série de inversões e leituras confusas. A adoção de uma paleta circular (com gradação de claros ao Norte até escuros ao Sul) supera estes problemas por causar uma percepção tridimensional coerente com a estrutura do terreno. A percepção do terreno nesta forma ressalta os aspectos horizontais do relevo a despeito de declividades muito pequenas, com realce dos divisores de água e canais de drenagem, mais claramente definidos quando orientados ortogonalmente à iluminação sugerida (E-W).

As curvaturas do terreno, derivadas de segunda ordem, não estão diretamente implicadas no sombreado do relevo e sim à sua variação. Portanto, a codificação em níveis de cinza não causa falsa percepção de tridimensionalidade, podendo ser usada sem problemas. No sentido trivial da codificação (baixos escuros), áreas convergentes (horizontalmente) ou côncavas (vertical) aparecem escuras, o que é desejável à medida que tal efeito sugere maior umidade do terreno, coerente com essas condições (**Figura 3**).

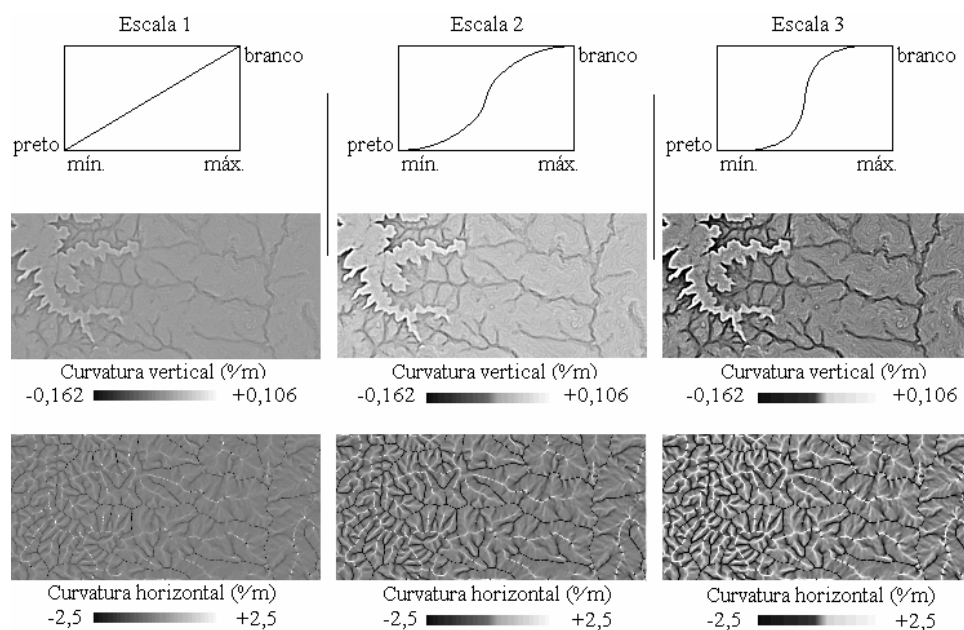


Figura 3 – Representações das curvaturas vertical e horizontal, e acordo com diferentes distribuições de cinza na escala de codificação.

Uma modificação favorável que pode ser feita é uma distribuição não linear dos níveis de cinza, de modo compensar a distribuição numérica dos valores, que costuma apresentar concentração em torno de 0, que corresponde a áreas sem curvatura. Com essa modificação, ganha-se um maior contraste nas áreas em que a curvatura se manifesta. No caso da curvatura vertical, devido ao efeito de assimilação de cores (Burnham et al., 1963), a percepção dos diferentes compartimentos topográficos é sensivelmente favorecida.

Conforme o programa de SIG em uso, estas manipulações na forma de apresentação podem ser aplicadas sem que se transformem os dados representados, mantendo-se as variáveis em suas respectivas unidades. Porém, há uma categoria de funções com grande potencial para o aprimoramento da visualização de informações topográficas que requerem dados no formato byte/binário, visto que foram desenvolvidas para imagens multi-espectrais. Neste aspecto se destacam técnicas de composição colorida, em que três diferentes informações podem ser representadas numa única imagem, cujas cores são produzidas a partir da combinação entre os três valores em cada ponto. A prática de experimentações com composições coloridas de dados topográficos deve levar ao estabelecimento de composições otimizadas para as diferentes análises do relevo, à maneira que se consagraram as composições de bandas espectrais de sistemas sensores orbitais ópticos. Os condicionantes à percepção visual destas composições morfométricas seguem os mesmos princípios colorimétricos.

Na conversão dos dados para esta finalidade, uma medida que se torna necessária para a orientação de vertentes é sua decomposição nas componentes ortogonais seno e cosseno (**Figura 4**). A representação destas componentes na escala normal de cinza se mostra correspondente ao efeito de uma escala circular sobre a orientação de vertentes (*Escala 1* da **Figura 4**). Uma ligeira diferença pode ser observada na distribuição dos níveis intermediários de cinza, devido a diferenças de escala de brilho em relação ao ângulo de orientação, já que a relação entre ângulo e seu cosseno não é linear. O seno, por sua vez, se apresenta como que iluminado de leste.

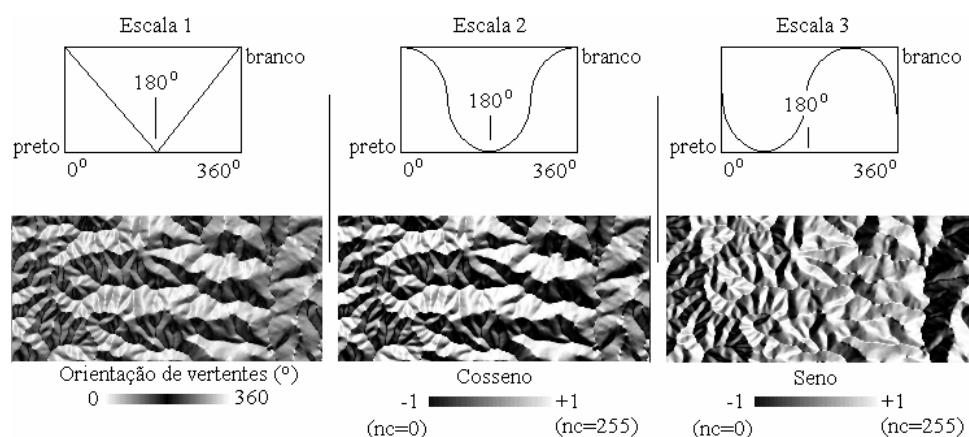


Figura 4 – Decomposição da orientação de vertentes nas suas componentes ortogonais seno e cosseno.

Outro detalhe, imposto pela impossibilidade de se inverterm as intensidades dos canais RGB é a inversão dos valores de declividade (nível 0 para máximo e 255 para mínimo), de acordo com as observações sobre escala simples, na **Figura 3**. Com a conversão dos planos de informação geomorfométrica, criam-se arquivos cuja única finalidade é a aplicação de técnicas de processamento de imagens e visualização, o que descaracteriza toda a natureza da

variável, a começar pela grandeza representada, que passa ser o nível de cinza. Os cuidados tomados neste processo servem para garantir que as imagens tenham correspondência com a realidade expressa nas variáveis e que esta correspondência tenha o máximo de constância entre áreas diferentes.

Tomando-se as informações de aspectos verticais do relevo (elevação-Z, declividade-S e curvatura vertical-V), podemos experimentar seis composições, de acordo com as diferentes possibilidades de representação através dos canais R, G e B. O mesmo foi testado para o conjunto S, V e curvatura horizontal (H), nas composições da **Figura 5**.

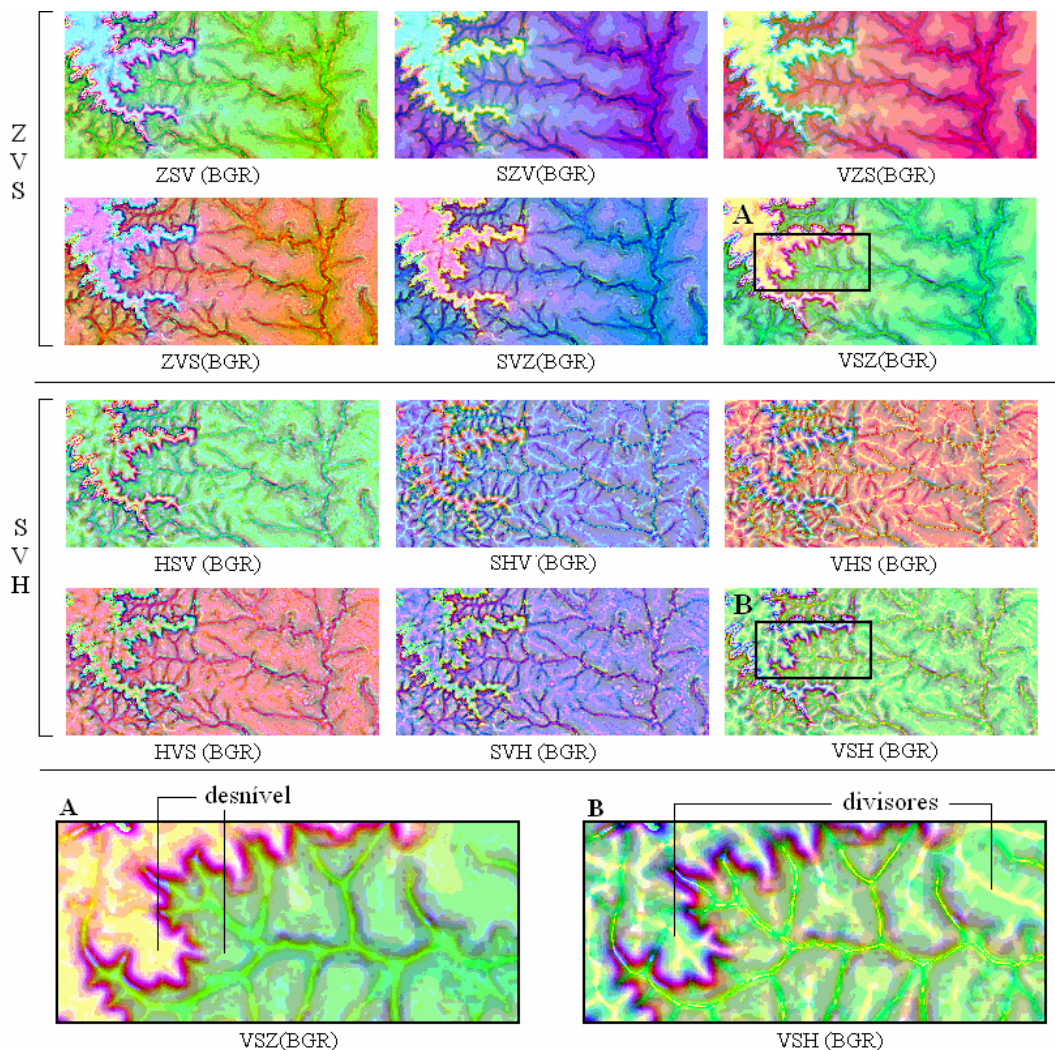


Figura 5 – Possíveis composições coloridas feitas a partir da elevação (Z) declividade invertida (S), curvatura vertical (V) e curvatura horizontal (H).

Em analogia às composições multi-espectrais, há aquelas composições que se mostram mais interessantes e outras menos. É possível usar igualmente as informações de aspectos horizontais do relevo (seno e cosseno da orientação de vertentes e curvatura horizontal). Em testes não apresentados aqui, foi observado que a inclusão das variáveis seno e cosseno resultou em composições muito marcadas pelo caráter direcional. No entanto, nada impede

que estas sejam aplicadas com sucesso em composições coloridas, quando estes aspectos estejam entre as características de interesse. A curvatura horizontal mostrou-se livre dessa característica, o que a torna uma alternativa para substituir a altitude. A altitude é uma variável fundamental em toda interpretação geomorfológica, porém, sua substituição torna-se interessante à medida que não se consegue uma conversão padronizada, o que impossibilita o estabelecimento de padrões fixos.

Uma vez que há correlação positiva esperada entre a curvatura horizontal e a altitude (Valeriano et al., 2006), há uma relativa correspondência colorimétrica quando se substitui uma variável por outra. Evidentemente, há um maior realce de estratos altimétricos com o uso da altitude em relação à composição análoga com a curvatura horizontal. Por outro lado, as composições se apresentam independentes da amplitude do relevo em observação quando se substitui a altitude pela curvatura horizontal. Além disso, o conteúdo de informação adicionado pela curvatura horizontal permite melhor delineamento de divisores de drenagem e de talvegues, mesmo quando estas feições são definidas em uma pequena variação altimétrica.

A prática de experimentações como a da **Figura 5** pode levar ao estabelecimento de composições otimizadas para as diferentes análises do relevo, à maneira que se consagraram as composições de bandas espectrais de sistemas sensores orbitais ópticos. Enquanto (ou mesmo que) não se estabeleçam padrões que consagrem, a prática de composições coloridas com dados topográficos deverá se desenvolver, desejavelmente, com os principais cuidados assinalados neste trabalho quanto à percepção e quanto à natureza das variáveis representadas.

4. Conclusões

As representações oferecidas pelos sistemas de informação geográfica (SIG) para visualização de dados topográficos trazem importantes limitações à sua interpretação. As formas desejáveis de representação de dados geomorfométricos, muitas vezes consagradas na tradição geomorfológica, são possíveis somente após manipulações propositais nos recursos de codificação (paletas). Os recursos de tratamento de imagens multispectrais, plenamente aplicáveis aos dados geomorfométricos após transformações no seu formato numérico, mostraram-se promissores para a interpretação geomorfológica. Uma vez que estas transformações dissociam o nível de cinza da grandeza de cada variável, mudanças desejáveis (contraste, inversão e linearização de escala, por exemplo) podem ser aplicadas nesta etapa. O conceito de imagem topográfica trouxe uma ampla e pouco explorada perspectiva de aplicação dos recursos e análises digitais de SIG em geomorfologia.

5. Referências bibliográficas

- Burnham, R. W.; Hanes, R. M.; Bartleson, C. J. **Color: a guide to basic facts and concepts**. New York: John Wiley & Sons (Ed.), 1963. 249p.
- Dent, D.; Young, A. **Soil Survey and Land Evaluation**. London: George Allen & Unwin (Ed.), 1981. 278p.
- Eastman, J. R. **Idrisi for Windows: User's Guide**. Worcester: Clark University, 1995. 440p.
- Oguchi, T. GIS applications in geomorphology – a review. In: VI Simpósio Nacional de geomorfologia, 2006, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: UBG, 2006. Lectures, p.10.
- Speight, J. G. Parametric description of land form. In: Principles of land classification and evaluation (CSIRO Symposium), 1968, Canberra, Austrália. **Proceedings...** Canberra, CSIRO/UNESCO, 1968. Papers, p.239-250.
- Valeriano, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, GO. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 3595-3602. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.29.11.41/doc/3595.pdf> . Acesso em: 28 set. 2006.

Valeriano, M.M., Kuplich, T.M., Storino, M., Amaral, B.D., Mendes Jr., J.N., Lima, D. Modeling small watersheds in Brazilian Amazônia with SRTM-90m data. **Computers & Geosciences**, v. 32, n. 8, p. 1169-1181, 2006.