

Análise geomorfométrica como subsídio ao mapeamento da vegetação

Polyanna da Conceição Bispo
Márcio de Morisson Valeriano
Tatiana Mora Kuplich

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

Abstract. This work illustrates the dependency of vegetation types on topographic features of landscape. A Digital Elevation Model (MDE) was derived from Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) data for a small watershed in Amazonas State, Brazil. From this MDE, further geomorphometric variables were derived. A map available for the study area showed three types of vegetation, differing mainly by mean tree height and density. The geomorphometric variables, displayed as binary images, were analysed statistically by histograms, which showed their discriminatory potential for the three vegetation classes. Following that, three geomorphometric variables were selected: elevation, vertical curvature and horizontal curvature. Those variables were classified by supervised and unsupervised classifiers with the vegetation map used as a reference. The resulting classifications were of moderate accuracy, with kappa coefficients of 0.43, 0.5, 0.57 for *Cluster*, Maximum Likelihood and Slicing, respectively.

Palavras-chave: SRTM, geomorfometria, vegetação, Amazônia, geomorphometry, vegetation.

1. Introdução

Dados de sensoriamento remoto têm servido como base, há várias décadas, para mapeamentos de vegetação em diferentes escalas. Entretanto, ainda existem lacunas no conhecimento a respeito da ocorrência das diferentes formações vegetais brasileiras, assim como sua extensão e estado de conservação. Imagens de sensores óticos, a bordo de satélites ou aeronaves, fornecem informação sobre o dossel vegetal, o que pode ser limitante quando as formações vegetais possuem composição e estrutura semelhantes. A resolução espacial dos sensores orbitais, assim como a saturação do sinal para estruturas florestais complexas, torna muitas vezes difícil a discriminação entre formações vegetais e o seu mapeamento (Lu et al. 2004). Diante disso várias pesquisas têm buscado alternativas para melhorar e refinar tais mapas, com base em aspectos humanos, climáticos, geológicos e topográficos, uma vez que estes influenciam diretamente os processos responsáveis pela existência e manutenção dos ecossistemas.

Um dos principais projetos que visaram o mapeamento da cobertura vegetal brasileira foi o RADAMBRASIL. Os mapas do Projeto RADAMBRASIL foram obtidos com base em imagens de radar aerotransportado impressas em papel. Dados de inventários de campo e extensas pesquisas sobre os sistemas de classificação de vegetação disponíveis na época finalizaram a elaboração das bases cartográficas de vegetação para o Brasil (Velooso et al. 1991). A variedade de atributos usados no sistema de classificação refletiu a variabilidade estrutural e florística dos tipos de vegetação do Brasil. As informações geradas pelo projeto RADAM também evidenciaram a importância da topografia na caracterização da paisagem local e regional já que é um dos fatores determinantes do estabelecimento, distribuição e diversidade de espécies vegetais.

A missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) ocorreu em 2000 e possibilitou a coleta de dados altimétricos para praticamente toda a superfície terrestre. Dos MDE (Modelos Digitais de Elevação) assim gerados, além das cotas altimétricas, podem ser derivadas variáveis geomorfométricas com algoritmos desenvolvidos para seu cálculo, como a

declividade (Valeriano, 2002), orientação de vertentes, curvatura horizontal (Valeriano & Carvalho Júnior, 2003) e curvatura vertical (Valeriano, 2003). As variáveis topográficas mais utilizadas em caracterização da paisagem são definidas sucintamente a seguir (Schmidt et al. 2003): (a) Declividade é o ângulo de inclinação da superfície local em relação a um plano horizontal; (b) Orientação de vertentes ou direção é uma medida do ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial, geralmente expressa em azimute, isto é, em relação ao Norte geográfico, onde o valor é de 0° (ou 360°), crescendo desta direção no sentido horário. Corresponde à direção azimutal do vetor cujo módulo é a declividade. Em uma carta de curvas de nível, a orientação de vertentes é dada pela direção transversal da isolinha local, no sentido descendente, e define o que se chama de linhas de fluxo; (c) Curvatura vertical refere-se ao caráter convexo/côncavo do terreno quando analisado em perfil; e (d) Curvatura horizontal refere-se ao caráter divergente/convergente das linhas de fluxos em projeção horizontal. As curvaturas vertical e horizontal influenciam os processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade. Estas duas variáveis combinadas representam uma caracterização das formas do terreno, às quais se associam diretamente propriedades hidrológicas e de transporte e indiretamente as pedológicas, ecológicas, além de uma série de outros aspectos.

Florinsky & Kuryakova (1996) estudaram relações entre a cobertura florestal e variáveis geomorfológicas em quatro ambientes topográficos distintos. Observaram que o controle topográfico das propriedades da vegetação é realizado de formas diferentes em diferentes terrenos. Dentre as variáveis geomorfológicas, a elevação se relacionou diretamente com a distribuição altitudinal de solos e, por conseguinte, de vegetação. A declividade e a orientação de vertentes controlaram respectivamente a intensidade e a direção de fluxos de matéria e de insolação, portanto, com efeitos locais sobre a ecofisiologia das plantas e animais.

A utilização de tais dados para o refinamento de mapas de vegetação é fundamental para a melhoria de sua qualidade, uma vez que muitos possuem generalizações incompatíveis com as classificações florísticas ou fitofisionômicas desejadas. As vantagens da predição da vegetação com base na topografia ou variáveis geomorfológicas derivadas residem na possibilidade de fornecer dados alternativos, confiáveis e, sobretudo, dotados de significado ecofisiológico, para o estabelecimento ou refinamento do conhecimento acerca da vegetação, essenciais na avaliação e determinação de prioridades de conservação.

Este trabalho objetiva a verificação do poder descritivo de variáveis geomorfológicas derivadas de MDE para o delineamento de classes de vegetação em área-teste na microbacia do igarapé Asu, na Amazônia.

2. Material e métodos

O atendimento dos objetivos deste estudo requer a existência de mapeamento da vegetação em detalhe compatível com a informação geomorfológica disponível. Dessa forma, a microbacia do igarapé Asu, pertencente à bacia do Rio Negro, apresenta-se dentro das condições desejadas, com mapa de vegetação disponível na escala 1:100.000. Este mapa apresenta os tipos de vegetação presentes na microbacia, que se diferenciam principalmente pela altura e densidade de indivíduos. A floresta de alto platô é a floresta densa com árvores emergentes, ao passo que a floresta de campinarana apresenta-se mais baixa e com densidade menor de indivíduos (Ayres, 1993). A condição topográfica pode induzir a ocorrência de cheias e a presença de formações vegetais mais baixas e menos densas, em constante estágio de sucessão (Whittmann et al. 2002).

O mapa de vegetação utilizado como referência foi feito com base em imagens de diferentes datas do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5 e cobre uma área de

aproximadamente 8 km x 5 km. Através de uma classificação supervisionada, a vegetação foi definida para áreas de platôs com as cotas mais baixas (0 a 60m) e mais altas (acima de 61m). Estes dados provieram do projeto Zoneamento Ecológico e Econômico (ZEE) do Distrito Agropecuário da Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA) Componente Biodiversidade. Os dados em formato *shape* foram importados para o SIG (Sistema de Informações Geográficas) Idrisi (Eastman, 1995), no qual foram realizadas todas as análises deste estudo.

Os dados geomorfométricos provêm de testes e resultados preliminares desenvolvidos em torno da iniciativa TOPODATA (Valeriano, 2005), projetada a fornecer variáveis topográficas a partir dos dados SRTM. Entre as variáveis que possuem operacionalizadas as metodologias para extração, estão as principais variáveis locais como altimetria, declividade, orientação de vertentes, curvatura vertical e curvatura horizontal. Para compreensão dos conceitos, métodos 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. Tais valores foram aplicados diretamente às análises de distribuição das diferentes classes de vegetação.

Para avaliar o potencial de aplicação dos dados geomorfométricos no mapeamento da vegetação, estes foram aplicados em testes expeditos de classificação com recursos básicos de processamento de imagens. Para tanto, 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 a seleção 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. 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 a frequência de 1% da frequência máxima, independentemente da ocorrência de valores fora desse intervalo. Os valores de declividade foram convertidos de porcentagem para graus antes desta transformação, 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. 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 29m a 126m. Estas transformações são feitas essencialmente através da operação de realce de contraste (*stretch*).

Uma vez que este estudo se atém ao potencial de utilização dos dados topográficos, os testes de classificação apresentados – *cluster*, máxima verossimilhança (MaxVer) e fatiamentos - foram aplicados de modo expedito, através dos recursos disponíveis no SIG. Os resultados dos diferentes testes foram ilustrados através das próprias classificações, matriz de confusão e estatística kappa.

3. Resultados e discussão

A **Figura 1** ilustra a distribuição das variáveis geomorfométricas dentro de cada classe de vegetação, em comparação com a área total da Microbacia do Asu (MB). Observando a microbacia como um todo, verifica-se que altitude varia entre 29 e 126 m, com distribuição bimodal, o que indica a existência de dois estratos altimétricos. A sua declividade máxima está em torno de 23 %, com uma relativa concentração da distribuição em torno de valores baixos. A direção de suas vertentes apresenta-se distribuída de modo relativamente homogêneo. A simetria da distribuição da curvatura horizontal indica o equilíbrio entre terrenos convergentes e divergentes, uma situação típica quando se analisa uma microbacia por inteiro. A assimetria da distribuição da curvatura vertical indica a predominância territorial de terrenos convexos.

As diferenças de distribuição entre cada classe de vegetação e a microbacia são indicadores de sua adaptação preferencial a determinadas condições topográficas. A floresta de baixo (A) ocorre com maior freqüência em regiões de altitudes em torno de 53 m e sua distribuição corresponde ao estrato menos elevado da microbacia. A distribuição da declividade mostra que esta vegetação se mostra menos tolerante a declividades mais altas, já que ocorrem valores altos em menor freqüência do que na microbacia. Também relativo à microbacia, destaca-se uma clara preferência por terrenos convergentes (curvatura horizontal) e, em menor grau, por áreas côncavas (curvatura vertical).

A floresta de platô alto (B) ocorre com maior freqüência em regiões de altitudes em torno de 114 m, ocupando preferencialmente o estrato altimétrico superior. Em contraposição à floresta de baixo, demonstram maior adaptação a terrenos divergentes e áreas convexas.

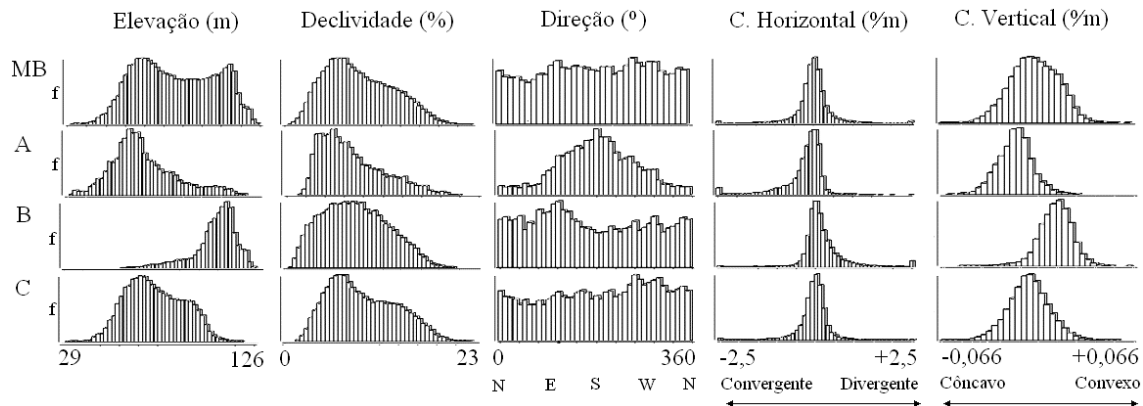


Figura 1 – Distribuição de freqüência (f) das variáveis topográficas nas classes de vegetação (A) floresta de baixo, (B) floresta de platô alto, (C) floresta de platô baixo com campinarana e (MB) toda a área da Microbacia do Asu.

A distribuição dos valores de elevação da floresta de platô baixo com campinarana (C) indica que esta ocupa uma posição intermediária, com ligeira restrição no estrato superior da microbacia, com maior freqüência entre 61 e 93 m. A semelhança das distribuições de declividade com a microbacia mostra que sua ocorrência independe desta variável, assim como a curvatura horizontal. Embora a curvatura vertical não tenha se mostrado uma restrição à sua ocorrência, o estreitamento de sua distribuição em torno de 0°/m indica sua ligeira preferência a terrenos retilíneos em relação a côncavos e convexas.

Diante da análise dos histogramas, é notável a separação entre as classes A e B através das variáveis elevação e curvatura vertical, principalmente. A classe C se apresenta em situação intermediária, embora se mostre especialmente diferente da classe B quando se observa a distribuição da elevação, principalmente, seguida da curvatura vertical. Avaliando os histogramas, é possível selecionar o melhor conjunto de variáveis topográficas para alimentar algoritmos de classificação com vistas ao mapeamento da vegetação nesta área. Foram assim selecionadas para classificação as variáveis elevação, curvatura vertical e curvatura horizontal.

A **Figura 2** ilustra os resultados das classificações das variáveis geomorfométricas selecionadas realizadas através dos métodos de (a) *cluster* (b) máxima verossimilhança e (c) fatiamento. Na Figura 2d o mapa de vegetação da MB usado como referência também é apresentado.

Por meio da interpretação visual das classificações apresentadas na Figura 2, percebe-se que o método de classificação que gerou produto bastante semelhante ao mapa-referência é o c (fatiamento), principalmente pela extensão e posicionamento da classe A (floresta de baixio). Na Tabela 1 tal julgamento também é comprovado através da matriz de confusão de cada uma das classificações e a maior kappa da classificação por fatiamento (c).

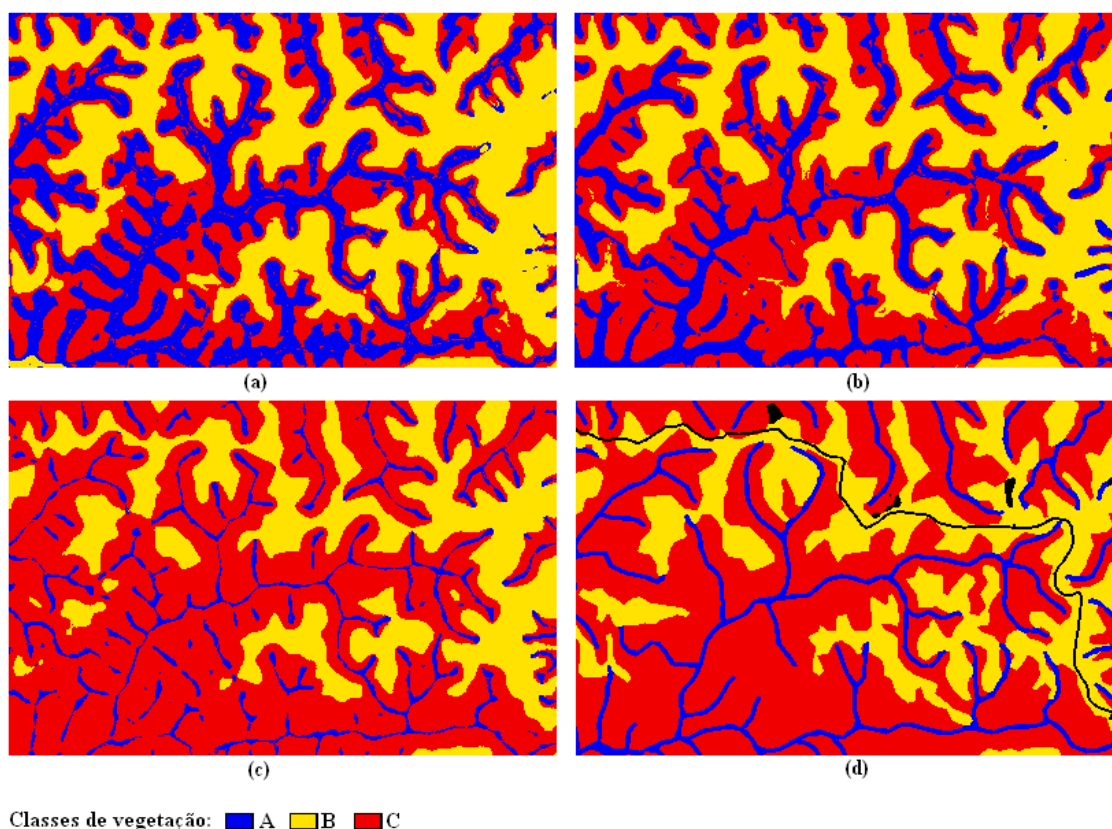


Figura 2 – Classificações sobre variáveis geomorfométricas para a Microbacia do Asu utilizando métodos de (a) *Cluster*; (b) Máxima Verossimilhança (MaxVer); (c) Fatiamento e (d) Mapa de vegetação usado como referência. Classes de vegetação: (A) floresta de baixio, (B) floresta de platô alto e (C) floresta de platô baixo com campinarana.

Entretanto, pode-se verificar que as demais classificações (*cluster* e MaxVer) também produziram resultados visualmente bastante semelhantes ao mapa-referência. Os maiores erros de comissão e de omissão, na maioria dos casos, aparecem para a classe A (floresta de baixo), que pode ser explicado pelo delineamento desta classe no mapa-referência com base numa zona (*buffer*) de 50 metros de cada lado dos igarapés, podendo ter sido assim introduzido um padrão diferente da realidade topográfica da área. Para a classe C (floresta de platô baixo com campinarana), a adjacência com a floresta de baixo e os erros associados a esta classe produziu resultados intermediários de classificação. Para a classe B (floresta de alto platô) foram observados, na maioria dos casos, os menores erros de classificação. Estas observações são indicativas do poder descritivo de variáveis geomorfométricas derivadas de MDE para o delineamento de classes de vegetação. A consideração das variáveis solo, clima e influência antrópica, assim como a topografia e variáveis derivadas, pode levar a um mapeamento da vegetação mais preciso.

Tabela 1 – Matriz de confusão entre o mapa de vegetação (referência) e classificações baseadas em variáveis geomorfométricas

Método (Kappa)	Classes	Mapa			Total (pixels)	Erro C
		A	B	C		
<i>Cluster</i> (0.4297)	A	7124	334	21757	29215	0.7562
	B	1048	26677	10644	38369	0.3047
	C	2135	2293	30058	34486	0.1284
	Total	10307	29304	62459	102070	
	Erro O	0.3088	0.0896	0.5188		0.3744
MaxVer. (0.4986)	A	6404	432	15272	22108	0.7103
	B	805	26142	9050	35997	0.2738
	C	3098	2730	38137	43965	0.1326
	Total	10307	29304	62459	102070	
	Erro O	0.3787	0.1079	0.3894		0.3075
Fatiamento (0.5655)	A	2198	207	6244	8649	0.7459
	B	608	23417	2657	26682	0.1224
	C	7501	5680	53558	66739	0.1975
	Total	10307	29304	62459	102070	
	Erro O	0.7867	0.2009	0.1425		0.2243

Erro O = Erro de Omissão (expresso em proporção)

Erro C = Erro de Comissão (expresso em proporção)

4. Conclusões

A partir dos resultados obtidos é possível concluir que:

- As variáveis geomorfométricas extraídas do MDE gerado através dos dados SRTM apresentam uma forte relação com a vegetação da área de estudo.
- A análise dos histogramas das variáveis fornece importante suporte para este tipo de estudo, uma vez que permite visualizar os comportamentos diferenciados para cada classe de vegetação através da distribuição e frequência das variáveis dentro de cada classe.

- As variáveis geomorfológicas que melhor contribuíram para a construção dos mapas de vegetação na área de estudo foram a elevação, a curvatura vertical e a curvatura horizontal.

5. Referências bibliográficas

- Ayres, J.M. **As mata de várzea do Mamirauá, médio Rio Solimões**. Rio de Janeiro: 2 edição. Sindicato Nacional dos Editores de Livros, 1993. 123 p.
- Eastman, J. R. **Idrisi for Windows: User's Guide**. Worcester: Clark University, 1995. 440p.
- Florinsky, I. V., Kuryakova, G. A. Influence of topography on some vegetation cover properties. **Catena**, v.27, p.123-141, 1996.
- Lu, D., P. Mausel, E. Brondizio, and E. Moran.. Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. **Forest Ecology and Management**, v.198, p. 149-167, 2004
- Schmidt, J., Evans, I.S., Brinkmann, J. Comparison of polynomial models for land surface curvature calculation. **International Journal of Geographical Information Science**, v.17, n.8, p.797-814, 2003.
- 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://martedpi.inpe.br/rep-/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.17.27>>. Acesso em: 28 set. 2006.
- Valeriano, M. M. Programação do cálculo da declividade em SIG pelo método de vetores ortogonais. **Espaço e Geografia**, v.5, n.1, p.69-85, 2002.
- Valeriano, M. M., 2003. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.539-546, 2003.
- Valeriano, M. M., Carvalho Júnior, O. A. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.4, n.1, p.17-29, 2003.
- Veloso, H.P.; Rangel Filho, A.L.R.; Lima, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991. 124 p.
- Whittman, F., Anhof, D., Junk, W.J. Tree species distribution and community structure of central Amazonian várzea forests by remote-sensing techniques. **Journal of Tropical Ecology**, v.18, p.805-820, 2002.