

Utilização de modelos de normalização topográfica para a classificação de fragmentos florestais na Zona da Mata Mineira.

Cecília Felix Andrade¹
Jairo Rodrigues Silva¹
José Marinaldo Gleriani²
Vicente Paulo Soares²
Carlos Antonio Álvares Soares Ribeiro²
Rafaelle Silva Schimith¹

¹ Universidade Federal de Viçosa - UFV
Programa de pós-graduação – Depto Eng Florestal
{cissandrade@yahoo.com.br, jairocienciasambientais@yahoo.com.br,
rafaschimith@yahoo.com.br }

² Universidade Federal de Viçosa - UFV
36571-000 - Viçosa - MG Brasil
{gleriani, vicente, cribeiro@ufv.br}

Abstract. High accuracy from land-cover automatic classification sometimes is not reached due to the spatial class heterogeneity or factor interferences such as topographic effects by modifying the surface radiance values recorded by the satellite sensor associated with a given cover type. The objective of this study was to reduce topographic effect caused by differential solar illumination of the earth's surface in undulating terrain using topographic normalization models. An Landsat ETM+ image was used to classify an area prevailing dominated by remaining atlantic wood forest fragments using the maximum likelihood algorithm with a threshold of 95%. Results indicated that the classification obtained by the corrected image ($K=0,85$) was slightly superior to the uncorrected image ($k=0,80$), although they were not statistically significant ($p=0,08$). The good classification from the uncorrected image, despite of the shadow effect, can be explained by the high contrast between the forest fragments and the other cover types during the water stress period.

Palavras-chave: topographic effect, normalization models, forest fragments classification, efeito topográfico, modelos de normalização, classificação de fragmentos florestais

1. Introdução

As imagens de sensores remotos tem sido uma das principais fontes de dados para os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). No entanto, extrair essas informações de forma automática, é um desafio uma vez que vários fatores interferem no sinal captado por um sensor, levando aos erros de classificação. Ao mapear os fragmentos de Mata Atlântica na região de relevo de “mares de morros” constata-se que os remanescentes situam-se em áreas declivosas e nos topos de morros, locais de difícil acesso às máquinas durante o período de ocupação. Assim, os remanescentes apresentam uma variação espectral devido ao sombreamento, na direção de retroespalhamento, reflexão especular, na direção de ânteroespalhamento. Dentro desse contexto, o objetivo desse trabalho foi analisar o impacto da correção topográfica em uma imagem ETM+, de acordo com Smith (1980), na classificação dos fragmentos florestais.

2. Fundamentação Teórica

As imagens geradas por sensores orbitais têm sido uma das principais fontes de dados para os Sistemas de Informações Geográficas. Disponíveis em um formato padrão, atualizados, compreensíveis, esses dados podem ser interpretados de maneira automática ou visual

(fotointerpretação) (Trotter, 1991). Fotointérpretes experientes podem chegar a resultados animadores, uma vez que a forma, a textura, associação, entre outros elementos, são levados em consideração, além de informações como conhecimento da área, calendário agrícola, etc. Entretanto, muitos classificadores automáticos utilizam apenas dados estatísticos da tonalidade expressa em números digitais (DN) (Civco, 1993). Muitas vezes, a classificação automática é preferida principalmente quando existe uma sistematização dos processos.

O número digital expresso em uma imagem, principalmente de alvos vegetados, é resultado de uma interação complexa – a atmosfera (Jackson et al., 1983), a geometria de iluminação e observação (Jackson et al., 1990), o solo de fundo (Qi et al., 1993) e a topografia (Richter, 1997). Essa complexidade aumenta a variabilidade da resposta espectral de uma dada classe e acarreta erros na rotulagem dos pixels e na extração de informações quantitativas dos mesmos.

A correção ou normalização topográfica diz respeito à compensação da diferença de iluminação causada pela irregularidade do terreno, fazendo com que diferentes declividades e faces de exposição do terreno causem aumento da radiância na face iluminada e um sombreamento da face de oposta a iluminação (Conese et al., 1993; Riaño et al., 2003).

Um dos métodos mais comuns de reduzir o efeito topográfico é a razão de bandas (Lillesand e Kiefer, 1994)), mas outros métodos os quais consideram a Modelo Digital de Elevação (MDE) do Terreno também são utilizados. Smith et al. (1980) apresentam duas equações fotométricas: uma baseada na suposição de Lambertianidade da superfície, e a segunda não, que utiliza a radiância normalizada (L_n), aonde se assume que a radiação se espalha uniformemente em todas as direções, é dada por :

$$L_n = L/\cos\theta_i \quad (1)$$

Onde o θ_i é o ângulo entre a normal a superfície e o feixe solar, e o $\cos(\theta_i)$ é dado por

$$\cos(\theta_i) = \cos(\theta_s)\cos(\theta_n) + \sin(\theta_s)\sin(\theta_n)\cos(\phi_s - \phi_n) \quad (2)$$

θ_s e ϕ_s são os ângulos zenitais e azimutais solares, respectivamente. θ_n é o ângulo de inclinação e ϕ_n o ângulo da exposição do terreno, sendo os dois últimos calculados pelas equações:

$$\theta_n = \arctang\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \quad (3)$$

$$\phi_n = \arctang\left(\frac{-\partial z/\partial x}{\partial z/\partial y}\right) \quad (4)$$

Para o caso da suposição de não lambertianidade a equação é dada por:

$$L\cos\theta_e = L_n[\cos(\theta_i)\cos(\theta_e)]^k, \quad (5)$$

onde θ_e é o ângulo efetivo de visada e k é conhecida como a constante de Minnaert. O ângulo efetivo de visada (normal à superfície global) pode ser aproximado para θ_s (normal à superfície local) principalmente se a imagem for obtida para sensores com ângulo de visada estreito como o TM/Landsat (Tso e Mather, 2001). A constante de Minnaert descreve a FRDB (Função de Distribuição da Refletância Bidirecional), o tipo do espalhamento e a rugosidade da superfície. A constante k é uma medida do quanto a superfície se afasta da Lambertianidade e o seu valor, para a maioria dos alvos naturais, varia entre zero e um, sendo específico para cada banda, em uma dada situação de aerossóis, vapor de água, etc (Ekstrand, 1996). Nos casos onde existem reflexões especulares ($k>1$), Justice e Holben (1979) mostraram que o modelo é falho.

O valor da constante pode ser derivado através da linearização da equação 5 (Colby, 1991), onde:

$y = \log(L \cos \theta_e)$, variável dependente;

$x = \log(\cos \theta_i \cos \theta_e)$, variável independente e $b = \log(L_n)$, o intercepto.

A equação (5) após as considerações de Tso e Mather (2001), fica na forma

$$L_n = L \left[\frac{\cos \theta_n}{\cos^k \theta_i \cos^k \theta_n} \right]$$

Segundo (Ekstrand, 1996), a linearização da equação 5, que transforma a equação na forma ($y=kx+b$), requer dados em L_n , ou seja, $\theta_i = \theta_e = \text{zero}$ (superfície plana e Sol no zênite). Para o autor, a fórmula deveria ficar na forma

$$L_H = L_T \left[\frac{\cos \theta_n \cos^k \theta_s}{\cos^k \theta_i \cos^k \theta_n} \right] \quad (6)$$

uma vez que a equação (1) deve ser corrigida para a forma $L_H = L_T \cos \theta_s / \cos \theta_i$, onde L_H e L_T são as radiâncias para as superfícies horizontais e inclinadas, respectivamente.

3. Materiais e Métodos

A área de estudo situa-se na Zona da Mata Mineira entre as coordenadas 70883m E e 7688394m N e as coordenadas 734021m E e 7715722m N UTM/WGS84, abrangendo parte do município de Viçosa e Coimbra (MG). Utilizou-se uma imagem do sensor ETM+ do dia 06 de agosto de 2000, órbita ponto (217/74), com reamostragem de pixels pelo método do vizinho mais próximo. Na região existe o predomínio de pastagens, cafezais e fragmentos de Mata Atlântica, sendo que aproximadamente 25% da área apresenta declividade entre 30 e 60%.

Em ambiente SPRING 4.2 importou-se a hipsometria das cartas SF-23-X-B-V-1 (Teixeiras) e SF-23-X-B-V-3 (Viçosa), e gerou-se uma grade triangular (TIN), e a partir desta, gerou-se a grade regular com células de 28.5m compatíveis com a reamostragem original da cena ETM+.

Com o MNT da área de estudo gerou-se a declividade (θ_n) (em radianos) e a exposição (ϕ_n) de cada célula. Os ângulos zenitais (θ_s) azimutais (ϕ_s) Solares eram de 49,4 e 44,3 graus respectivamente (**Figura 1**).

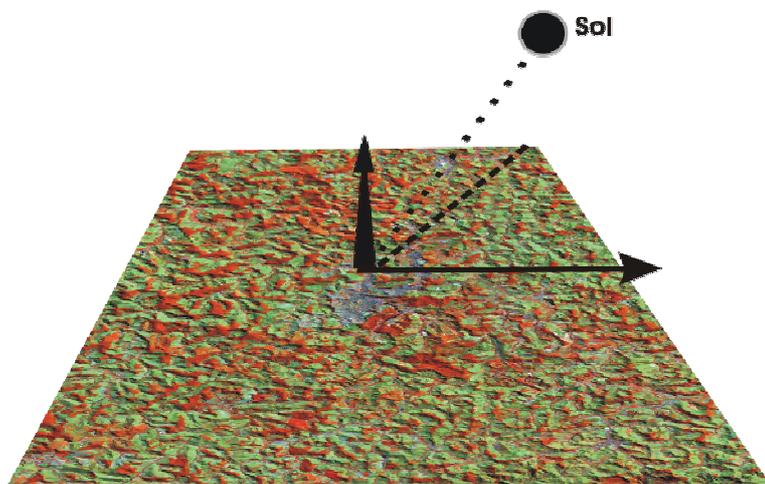


Figura 1 – Composição 453(RGB) e a geometria de iluminação correspondente.

Com os valores de zenitais e azimutais solares e declividade e exposição do terreno, utilizou-se a equação 2 para se obter o $\cos\theta_i$, com os valores de radiância mínima e máxima de cada canal, obtidos no arquivo descritor da imagem.

Para a obtenção do valor de k (constante de Minnaert) não utilizou-se a equação 6 descrita por Ekstrand (1996), uma vez que poucas áreas na região de estudo são planas ou poderiam ser consideradas “planas”. Como exemplo, o intervalo entre duas linhas hipsométricas de mesma cota (sem uma variação maior que 20m), comuns nas áreas de adjacentes aos cursos de água (**Figura 2**), o problema do uso de tais áreas para a obtenção do L_T é que, no mês de agosto, com a pastagem sob estresse hídrico e o cafezal praticamente sem folhas existe uma grade exposição do solo, que por sua vez apresenta variação de acordo com o relevo: Latossolos na parte côncava dos morros, Cambissolos na parte convexa e Gleissolos e Neossolos nas áreas de drenagens (Correa, 1984). Ou seja, não existem grandes feições homogêneas para a obtenção do L_H e L_T , onde a única variante seria a topografia (p.e. Floresta, Ekstrand, 1996).

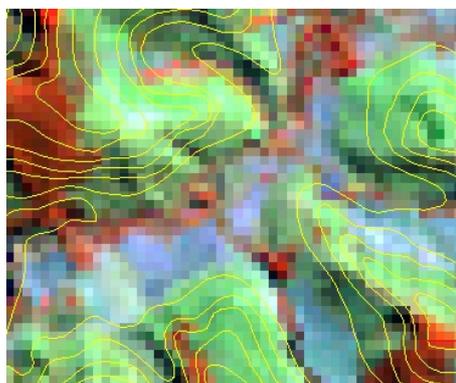


Figura 2 – Composição 453(RGB) com linhas hipsométricas ilustrando possíveis áreas “planas” para a obtenção do L_H , porém com heterogeneidade espectral, devido às diferentes coberturas e solos para as diferentes posições do relevo.

Dessa forma, os parâmetros $L\cos\theta_n$ (Y) e $\cos\theta_i\cos\theta_n$ (X), exportados em formato de grade regular, foram transformados em logaritmo Neperiano e executou-se a regressão obtendo-se o coeficiente de inclinação “ k ” (constante de Minnaert) e o intercepto b , uma vez que a regressão não foi executada para o intercepto (b) igual a zero.

De posse do valor de k para cada banda, executou-se o cálculo de L_n pela equação 5 e fez-se a classificação supervisionada com o algoritmo MaxVer para o limiar de 95%. Esse limiar foi escolhido para que fosse evitada a discriminação das classes por exclusão espectral, pois apesar de existir floresta sombreada e iluminada, estas ainda apresentam vigor e contrastam com as outras classes (pastagem e cafezal), devido ao déficit hídrico da região na cena analisada. Utilizando as mesmas amostras, fez-se a classificação com as bandas 3, 4 e 5 com e sem correção topográfica.

Após a geração da imagem de referência por interpretação visual, procedeu-se a obtenção do índice kappa (\hat{k}) e a variância. Ambas as classificações foram comparadas através do teste Z , testando-se a hipótese nula H_0 : ambas as classificações são iguais vs H_1 : as classificações são diferentes para $\alpha/2 < 0,05$.

Com os dados da matriz de confusão calculou-se o índice kappa:

$$\hat{k} = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k (n_{i+} \cdot n_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^k (n_{i+} \cdot n_{+i})} \quad (7)$$

onde:

k = número de linhas da matriz de confusão.

N = número total de observações da matriz.

n_{ii} = número de observações na linha i e coluna i (na diagonal principal)

$$n_{i+} = \sum_{j=1}^k n_{ij}$$

$$n_{+j} = \sum_{i=1}^k n_{ij}$$

A variância do índice kappa é dada por (8):

$$\text{vâr}(\hat{K}) = \frac{1}{n} \left\{ \frac{\theta_1(1-\theta_1)}{(1-\theta_2)^2} + \frac{2(1-\theta_1)(2\theta_1\theta_2 - \theta_3)}{(1-\theta_2)^3} + \frac{(1-\theta_1)^2(\theta_4 - 4\theta_2^2)}{(1-\theta_2)^4} \right\} \quad (8)$$

onde:

$$\theta_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_{ii},$$

$$\theta_2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i},$$

$$\theta_3 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^k n_{ii} (n_{i+} + n_{+i}),$$

$$\theta_4 = \frac{1}{n^3} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{ij} (n_{j+} + n_{+i})^2.$$

4. Resultados e Discussão

A **Tabela 1** ilustra os valores da constante de Minnaert obtidos pela regressão dos parâmetros Y ($L\cos\theta_n$) e X ($\cos\theta_i \cos\theta_n$), para as bandas 3, 4 e 5. Como descrito, essa constante (declividade) foi obtida pela regressão sem a opção de intercepto igual a zero.

Tabela 1 – Valores da constante de Minnaert

Bandas ETM+	Valores de K (Minnaert)
3	0,7042
4	0,5068
5	0,5414

Poucos autores relatam os valores de k obtidos; Silva e Valeriano (2005) trabalhando na Serra da Mantiqueira com imagens ETM+ encontraram valores de 0,85, 0,76 e 0,82 para as bandas 3, 4 e 5, respectivamente. Chyi-Rong et al. (1992), encontraram no Rocky Mountain National Park, no Colorado, os valores de 0,468, 0,640 e 0,800 para as bandas 3, 4 e 5 do sensor TM/Landsat. Como descrito por vários autores, a constante (k) depende da rugosidade, aerossóis e também da variação de ângulos de exposição na cena (Colby, 1991). A variação de exposição é grande uma vez que a região tem padrão de drenagem dendrítico.

O resultado da correção topográfica é ilustrado na **Figura 3**. Observou-se uma queda no valor de desvio padrão para todas as bandas utilizadas na classificação, o que é um indicador da minimização da variação de iluminação e sombreamento na cena.

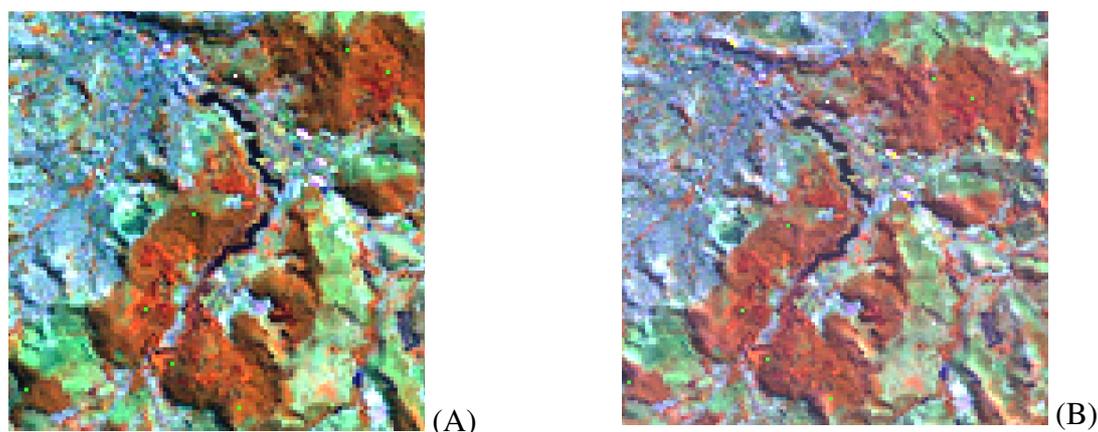


Figura 3 – Composição 453(RGB) ilustrando amostras das cenas sem correção (A) e com correção (B).

Quanto à classificação, os resultados de kappa e as variâncias de kappa obtidos para a imagens sem e com correção foram de 0,8098 ($\text{var}(k)=0,0005652$) e 0,8536 ($\text{var}(k)=0,0004232$), respectivamente. Embora o resultado para a imagem com correção tenha sido ligeiramente superior em exatidão à imagem sem correção, o valor de Z encontrado (1,39) $p=0,08$, mostrou não ter havido melhora significativa na imagem com a correção, o que em parte pode ser explicado pelos contrastes (vigor) que os fragmentos apresentam em relação a pastagem e cafezal

5. Conclusões

Processar correções radiométricas antes da execução de procedimentos automáticos de classificação é necessário, uma vez que os algoritmos não incorporam conhecimentos, flexibilidade nas decisões comuns aos fotointérpretes. O modelo de correção topográfico mostrou-se adequado, no entanto, observa-se uma grande variação da constante de Minnaert a qual deve-se dedicar maior entendimento em estudos futuros. Deve-se ainda ressaltar que a

correção foi aplicada em imagens de média resolução (30m reamostrada para 28,5m) com o MDE derivado de linhas hipsométricas com equidistância de 20m; melhores amostragens para a geração do MDE devem ser testadas, no entanto, apenas 1% do território nacional possui levantamento 1:25.000.

Agradecimento

Os autores agradem o apoio da FAPEMIG.

Referências

- Chyi-Rong, C.; Thomas, V. L.; Hoffer, R.M. Comparison of four techniques for topographic normalization of Landsat TM data. **In: ASPRS/ACSM/RT**, 1992, Washington, 3-8 Aug., 1992. vol.4, p.184-196.
- Civco, D.L. Artificial neural networks for land-cover classification and mapping. **International Journal of Geographical Information Systems**. v.7, n.2, p.173-186, 1993.
- Colby, J. D. Topographic normalization in rugged terrain. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.57, n. 5, p.531-537, 1991.
- Conese, C.; Gilabert, M.A.; Maselli, F.; Bottai, L. Topographic normalization of TM scenes through the use of an atmospheric correction method and digital terrain models. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.59, n. 12, p.1745-1753, 1993.
- Correa, G. F. **Modelo de evolução mineralógica e fração argila de solos do planalto de Viçosa, MG**. Dissertação de mestrado, UFV, 1984, 87p.
- Ekstrand, S. Landsat TM-based forest damage assessment: correction for topographic effects. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.62, n.2, p.151-161, 1996.
- Justice, C ; Holben, B.;. **Evaluation and Modeling of the Topographic Effects on the Spectral Response from the Nadir Pointing Sensors**. Goddard Space Flight Center, Greenbelt, 1979. (NASA Tec. Mem 80305).
- Jackson, R.D.; Slater, P.N.; Pinter Jr., P.J. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indexes through clear and turbid atmospheres. **Remote Sensing of the Environment**, v.13, n.3, p.187-208, 1983.
- Jackson, R.D.; Teillet, P.M.; Slater, P.N.; Fedosejevs, G.; Jasinski, M.F.; Aase, J.K.; Moran, M.S. Bidirectional measurements of surface reflectance for view corrections of oblique imagery. **Remote Sensing of the Environment**, v.32, n.2-3, p.189-202, 1990.
- Lillesand, T. M.; Kiefer, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. United States of America, John Wiley and Sons, 750p., 1994.
- Qi, J.; Huete, A.R.; Moran, M.S.; Chehbouni, A.; Jackson, R.D. Interpretation of vegetation indexes derived from multitemporal SPOT images. **Remote Sensing of the Environment**, v.44, n.1, p.89-101, 1993.
- Riaño, D.; Chuvieco, E.; Salas, J.; Aguado, I. Assessment of different topographic corrections in Landsat-TM data for mapping vegetation types (2003). **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v.4, n.5, p.1056-1061, 2003.
- Richter, R.; Corrections of atmospheric and topographic effects for high spatial resolutions satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n.5, p.1099-1111, 1997.
- Smith, J.A.; Lin, T.L.; Ranson, K. The lambertian assumption and Landsat data. . **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.46, n.9, p1183-1189, 1980.
- Trotter; C.M. Remotely-sensed data as an information source for geographical information systems in natural resource management: a review. **International Journal of Geographical Information Systems**. v.5, n.2, p.225-239, 1991.
- Tso, B.; Mather, P. M. **Classifications methods for remotely sensed data**. London, Taylor e Francis, 2001, 332p.

Silva, B. S. G.; Valeriano, D. M Correção atmosférica e topográfica em terrenos mostanhos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 3185-3594. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.18.37.34/doc/3587.pdf>> Acesso em: 01 novembro 2006.