

Aplicação da Técnica de Correção Topográfica e Modelo Linear de Mistura Espectral na redução da componente sombra em imagens multitemporais

Giovanni Chagas Egg¹
José Marinaldo Gleriani¹
Carlos Antônio Oliveira Vieira²

¹ Universidade Federal de Viçosa - UFV/DEF
P.H. Hofs, S/N - 36570-000 - Viçosa - MG, Brasil
{giovanni.egg, gleriani}@ufv.br

² Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/CFH/GCN
Caixa Postal 476 - 88010-970 – Trindade - Florianópolis - SC, Brasil
{carlos.vieira}@cfh.ufsc.br

Abstract. This study investigated the influence of the shadow component in images taken at different times with solar elevation angles, one in August 2000 and another in March 2001. To this end, were used bands 3, 4 and 5 of Landsat7 ETM+, obtained from Viçosa, MG. First was applied the Linear Spectral Mixing Model in the original images, in order to compare the fraction-image generated component with respect to shade, where it was found that the image obtained in August (the period with lower solar elevation angle) had a higher contribution of the component's shadow to take Later in March. Subsequently, was used the topographic correction technique proposed by Smith (1980) in the original images in order to make an improvement in lighting and a reduction in the differential shading and applied the Linear Mixing Model in order to estimate the shadow component in the corrected images and compare the images generated with the-fraction-fraction images from real data from 2000 and 2001. It was found that the shadow component exerts a strong influence on images taken from different periods and that the use of Topographic Correction technique minimized the effects of shading, so the image taken in March, as that taken in August.

Palavras-chave: spectral mixing model, topographic correction, atmospheric correction, modelo linear de mistura espectral, correção topográfica, correção atmosférica.

1. Introdução

Imagens obtidas em diferentes épocas estão sujeitas a diversos tipos de variações, sejam efeitos atmosféricos, efeitos de iluminação diferencial, influência do relevo, dentre outros que tornam as inferências sobre os alvos terrestres cercadas de incertezas (Smith, 1980, Slater e Jackson, 1982).

A geometria de iluminação, combinada com a variação topográfica, resultam em efeitos que não podem ser negligenciados na análise dos dados (Jensen, 1996)

Outro agravante, porém inerente ao imageamento, diz respeito à resposta impura dos pixels. Existe a combinação da refletância de vários componentes, e esta combinação está relacionada ao tamanho do elemento de resolução espacial. Para solucionar esse problema, a relação linear (MLME – Modelo Linear de Mistura Espectral) é utilizada para representar a mistura espectral dos componentes dentro do elemento de resolução do sensor (Shimabukuro et al., 1998).

As técnicas de correção topográfica podem reduzir o efeito da iluminação diferencial nas imagens e as imagens-fração obtidas da aplicação do modelo linear de mistura espectral permitem uma análise mais precisa das componentes, na escala de subpixel (Schowengerdt, 1997).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência no MLME causada pela sazonalidade (verão/inverno) da componente sombra em uma região de topografia acidentada.

2. Metodologia do Trabalho

A área de estudo está situada entre as coordenadas $43^{\circ}01'44,48''$ a $42^{\circ}44'53,67''$ Oeste e $20^{\circ}54'39,56$ e $20^{\circ}41'20,18''$ Sul, abrangendo as cidades de Viçosa, Teixeira, Paula Cândido, São Miguel do Anta, Cajuri, Coimbra e São Geraldo compreendendo uma área aproximada de 699,25 Km².

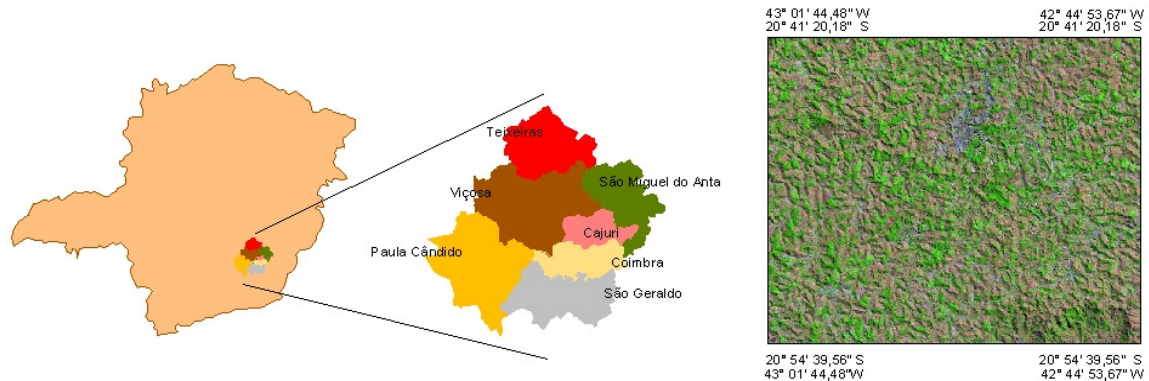


Figura 1. Área de estudo

Foram utilizadas duas imagens do sensor ETM+/Landsat 7 (bandas 3, 4 e 5), 217/74, datadas de 06/08/2000 e 18/03/2001. Uma ortoretilicada obtida do satélite IKONOS, sensor IKONOS-II, datada de 29/10/2007, Datum SAD 69 usada para o registro das imagens Landsat.

Do portal do IBGE obteve-se o arquivo digital de hipsometria (20m), derivada das cartas Viçosa (SF-23-X-B-V-3) e Teixeira (SF-23-X-B-V-1) na escala 1:50.000.

Foram utilizados os aplicativos IDRISI® versão *Andes*, para a execução da correção atmosférica da imagem e SPRING versão 5.0.5 para aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral, cálculo e aplicação da Correção Topográfica. A análise estatística foi realizada com o *software* Statistica® 7.

2.1. Correção Geométrica

Foi utilizado o modelo polinomial, com grau do polinômio igual a um, para realizar a correção das imagens ETM+, tomando como base a ortoretilicada IKONOS. Esta imagem possui resolução espacial de um metro e projeção UTM com Datum SAD 69. Foram tomados dezesseis pontos de controle distribuídos espaçadamente sobre as imagens Landsat. O erro médio quadrático obtido para cada imagem foi igual a 0,33 pixel.

2.2. Correção Atmosférica

A correção atmosférica das imagens ETM+/Landsat7 foi feita empregando-se o modelo Dark Object Subtraction (DOS) (Chavez, 1988), implementado no *software* IDRISI. Este é um método empírico que utiliza dados relacionados a hora e data de aquisição da imagem, valores máximos e mínimo de radiância, ângulo de visada do satélite, ângulo de elevação solar e o valor de turbidez atmosférica que é estimado através da obtenção do valor digital de corpo d'água limpa e profunda.

2.3. Aplicação da Correção Topográfica

A partir do arquivo de linhas 3D (20m) foi interpolado o Modelo Digital do Terreno com grade de 30 metros, compatíveis com a resolução espacial das imagens Landsat. Feito isso, gerou-se os PIs (Planos de Informação) de declividade e ângulos de exposição (aspecto) em graus.

Empregando a linguagem LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico), no SPRING, calculou-se o ângulo de incidência θ_i através do emprego da Equação 2. O passo seguinte foi converter as imagens para radiância.

Em seguida, calculou o valor da multiplicação de $\cos\theta_i$ por $\cos\theta_e$ e de L por $\cos\theta_e$. Feito isso, partiu-se para o cálculo da constante “k” de Minnaert (Minnaert, 1941). Esta constante foi obtida através da aplicação de regressão linear utilizando a Equação 5.

De posse do valor de k , partiu-se para o cálculo da radiância normalizada e por último converteu os valores para reflectância, obtendo-se então as imagens corrigidas.

O método apresentado por Smith et al. (1980) para a correção topográfica leva em consideração o Modelo Digital de Elevação e emprega equações fotométricas para analisar o efeito da topografia. Para uma superfície não-lambertiana Smith et al. (1980), apresenta a Equação 1:

$$L \cos(\theta_e) = L_n \cdot [\cos(\theta_i) \cos(\theta_e)]^k \quad (1)$$

Onde: θ_e é o ângulo de visada efetivo; k é a constante de Minnaert; L_n é a radiância normalizada; L é a radiância detectada pelo sensor; e θ_i é o ângulo de incidência (ângulo entre a normal à superfície e o feixe de luz solar).

O valor de θ_i é obtido através da Equação 2:

$$\cos(\theta_i) = \cos(\theta_s) \cos(\theta_n) + \sin(\theta_n) \cos(\varphi_s - \varphi_n) \quad (2)$$

Onde: θ_s é o ângulo zenital solar; θ_n é a declividade da superfície terrestre; φ_s é o ângulo azimutal solar; e φ_n é a exposição do terreno.

Os valores de θ_s e φ_s são obtidos do arquivo de metadados da imagem e os valores de θ_n e φ_n são obtidos através das Equações 3 e 4:

$$\theta_n = \arctan \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \quad (3) \quad \text{e} \quad \varphi_n = \arctan \left(\frac{\partial z / \partial x}{\partial z / \partial y} \right) \quad (4)$$

Onde: z é a altitude; x e y são coordenadas axiais.

Tso e Mather (2001) consideram o valor de θ_e igual ao ângulo declividade da superfície θ_n no caso de se trabalhar com imagens Landsat TM e MSS e imagens tomadas de sensores com campo de visada estreito.

A constante de Minnaert descreve a função de distribuição de reflexão bidirecional da superfície, o tipo de dependência do espalhamento e a rugosidade da superfície (Smith et al., 1980). Para uma superfície lambertiana, o valor de k é 1.0. Para uma superfície não-lambertiana a constante de Minnaert (Equação 1) é convertida para a forma logarítmica e o valor de k é estimado empregando o método de regressão linear (Colby, 1991) calculado pela Equação 5:

$$\log(L \cdot \cos(\theta_e)) = k \cdot \log(\cos(\theta_i) \cos(\theta_e)) + \log(L_n) \quad (5)$$

Onde: $Y = \log(L \cdot \cos(\theta_e))$ é a variável dependente; $X = \log(\cos(\theta_i) \cos(\theta_e))$ é a variável independente; $b = \log(L_n)$ é o intercepto.

Após estimado o valor de k e fazer $\theta_e = \theta_n$, a radiância normalizada (L_n) pode ser calculada através da Equação 6:

$$L_n = \frac{L \cdot \cos(\theta_n)}{[\cos(\theta_i) \cos(\theta_n)]^k} \quad (6)$$

2.4 Modelo Linear de Mistura Espectral

Shimabukuro (1987) define Modelo Linear de Mistura Espectral como aquele em que a resposta espectral de um pixel é dada como uma combinação linear da resposta espectral de cada componente dentro do pixel.

O modelo pode ser descrito conforme apresentado na Equação 7:

$$r_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + e_i \quad (7)$$

Onde: r_i é reflectância espectral da $i^{\text{ésima}}$ banda espectral um dado pixel contendo um ou mais componentes; $i = 1, 2, \dots, m$ é o número de bandas; $j = 1, 2, \dots, n$ é o número de componentes; a_{ij} é a reflectância espectral do componente de mistura j na banda espectral i ; x_j é o valor da proporção do $j^{\text{ésimo}}$ componente do pixel; e_i é o erro para a banda $i^{\text{ésima}}$ espectral.

Este modelo está sujeito as seguintes restrições:

$$0 \leq x_j \leq 1 \quad \text{e} \quad \sum_{j=1}^m x_j = 1 \quad (8)$$

Onde: $j = 1, 2, \dots, n$ é o número de componentes.

Uma vez estimada a proporção dos componentes, o erro (e_i) para cada banda (i) pode ser calculado utilizando a Equação 9:

$$e_i = r_i - \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \quad (9)$$

De posse das imagens originais e das imagens corrigidas do efeito da topografia, aplicou-se o modelo linear de mistura espectral, utilizando para isso o *software* SPRING.

Definiu-se três componentes para obtenção das curvas espectrais, sendo: mata, solo e sombra. Um mesmo pixel foi escolhido nas imagens, visando não obter variações bruscas nas respostas das componentes de cada banda. As coordenadas dos pixels estão na Tabela 1.

Tabela 1. Coordenadas UTM dos Pixels escolhidos para a aplicação do modelo linear de mistura espectral

Componentes	Coordenadas na imagem	
	E (m)	N(m)
Mata	722709,2382	7698030,4531
Sombra	720788,6410	7698905,7440
Solo	728645,5794	7687904,4002

Uma vez escolhidos os pixels, utilizou-se o método dos mínimos quadrados ponderado para o cálculo e geração das imagens-fração e imagens de erro dos componentes analisados. De posse da imagem-fração sombra, determinou-se a área em pixels e hectares, com o objetivo determinar a representatividade desta componente nas imagens originais e corrigidas. Esta área foi obtida de forma empírica, através da análise do histograma da componente sombra e determinação de qual região era a mais representativa, isso foi feito através da definição de intervalos (limiares) de frequência no histograma, onde dividiu-se a imagem de em cinco limiares abrangendo as faixas de 130 a 200, 135 a 200, 140 a 200, 150 a 200 e 170 a 200. Em seguida ordenou os pixels que estavam dentro do intervalo analisado para 1 e os que estavam fora foram escalados para zero. De posse da imagem binária gerada, calculou a área da componente sombra para cada limiar e verificou visualmente e através análise da frequência de cada histograma qual destes melhor se adequou as imagens de análise.

3. Resultados e Discussão

3.1 Correção Topográfica

Os valores de k obtidos para as três bandas das imagens de 2000 e 2001 bem como o coeficiente de correlação encontrado encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Valor da constante de Minnaert para as 3 bandas do Landsat ETM

Constante de Minnaert (k) - ETM+ 08/06/2000				Constante de Minnaert (k) ETM+ 18/03/2001			
Banda	k	Coefficiente de determinação em %	Coefficiente de Correlação em %	Banda	k	Coefficiente de determinação em %	Coefficiente de Correlação em %
3	0,4686	11,57	34,02	3	0,4684	9,79	31,29
4	0,4815	21,75	46,64	4	0,4472	22,53	47,47
5	0,6807	19,03	43,62	5	0,6644	18,83	43,39

Com base na Tabela 2, verifica-se um baixo valor para o coeficiente de correlação entre as imagens, sendo que a banda 4 foi a que apresentou dados mais correlacionados. Carpenter et al (1999) empregou regressão linear para obtenção do valor de k para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do sensor TM do Landsat 5 obtendo o coeficientes de determinação para as bandas 3, 4 e 5 de 0,068, 0,337 e 0,205 respectivamente.

A Figura 2 apresenta áreas retiradas das imagens originais e corrigidas de 06/08/2000 e a Figura 3 para as imagens de 18/03/2001.

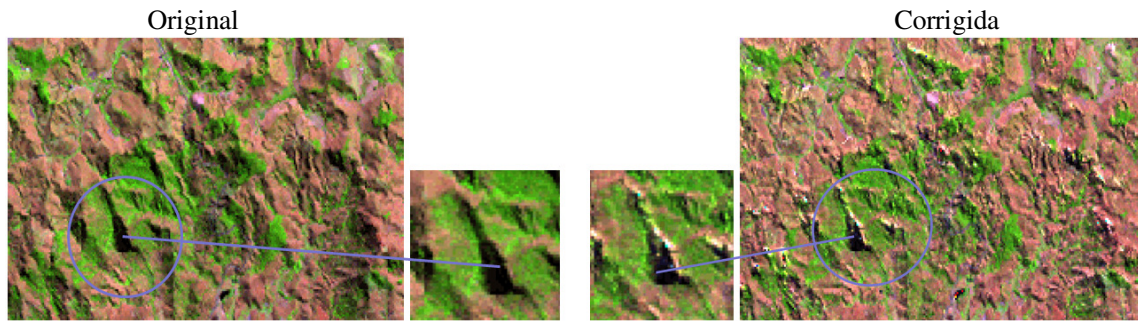


Figura 2. Composição colorida (banda 3 azul, banda 4 verde, banda 5 vermelho) da imagem Landsat ETM+ de 08/06/2000 original e após aplicação da técnica de correção topográfica.



Figura 3. Composição colorida (banda 3 azul, banda 4 verde, banda 5 vermelho) da imagem Landsat ETM+ de 18/03/2001 original e após aplicação da técnica de correção topográfica .

3.2. Modelo Linear de Mistura Espectral

Conforme apresentado anteriormente, aplicou-se primeiramente o modelo nas imagens originais dos anos de 2000 e 2001 utilizando as 3 bandas para a obtenção das componentes mata, solo e sombra. Na Figura 4 são apresentadas as imagens-fração em composição colorida as imagens dos anos de 2000 antes e após o emprego da correção topográfica.

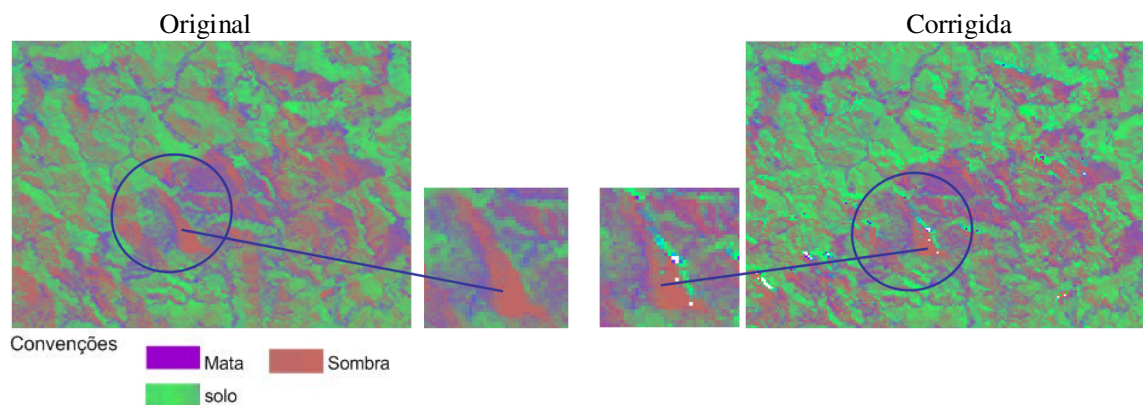


Figura 4. Composição colorida das imagens-fração mata (azul), solo (verde) e sombra (vermelho) obtida da imagem original e corrigida do efeito da topografia em Agosto de 2000.

Visualmente verifica-se a redução significativa da componente sombra para o ano de 2000 (áreas em vermelho nas imagens), após a aplicação da correção topográfica.

A Figura 5 apresenta a comparação entre as imagens originais e corrigidas para o ano de 2001.

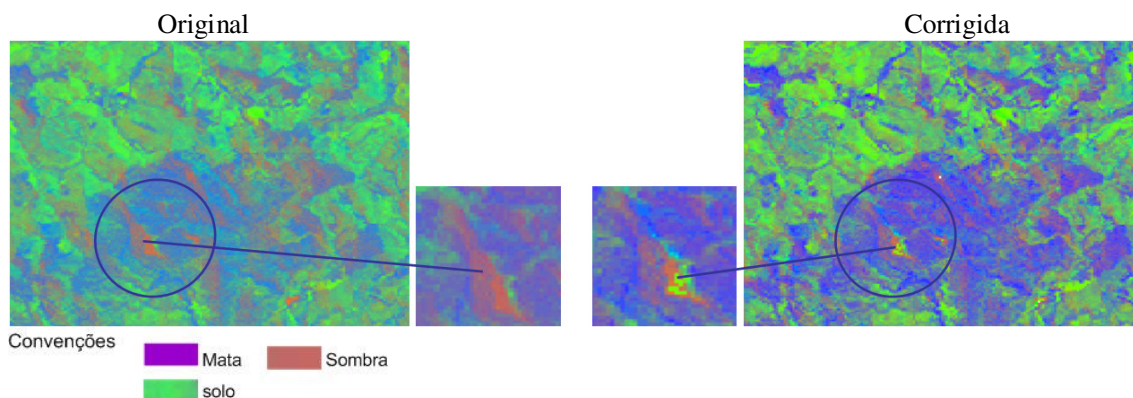


Figura 5. Composição colorida das imagens-fração mata (azul), solo (verde) e sombra (vermelho) obtida da imagem original e corrigida do efeito da topografia em Março de 2001.

Na imagem corrigida de 2001 verifica-se a redução da componente sombra com relação a imagem original (áreas em vermelho nas imagens). Verifica-se também a forte influência da vegetação (tonalidade azul). Isso se deve ao fato de que a imagem foi tomada em uma época com maior incidência de chuva (março), onde a vegetação rasteira cobre uma região maior de solo exposto do que na imagem tomada em Agosto, época com pouca incidência de chuva e vegetação mais seca.

Com base no histograma, a área que melhor se adequou as imagens originais e corrigidas foi a com limiar 140 a 200, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Área da componente sombra estimada em pixels e hectares para a imagem original e corrigida

Área total calculada da componente sombra para o limiar 140 - 200							
Ano	imagem original		imagem corrigida		diferença		
	pixels	hectares	pixels	hectares	pixels	hectares	em %
2000	176.663	15.899,67	167.578	15.082,02	9.085	817,65	5,14
2001	148.321	13.348,89	134.173	12.075,57	14.148	1.273,32	9,54
Diferença	28.342	2550.78	33.405	3006.45			
Diferença em %	16,04		19,93				

Comparando apenas as áreas da componente sombra nas imagens originais para na Tabela 3 verifica-se a redução desta componente com relação a época do ano, sendo que a época com maior ângulo de elevação solar (março), apresentou áreas menores de sombra do que a de agosto, o que já era esperado. Outra observação esta relacionada ao fato de que a aplicação da correção topográfica nas imagens diminuiu significativamente as áreas de sombra, tanto com relação a época do ano, quanto com relação a imagem original.

4. Conclusões

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que imagens obtidas em épocas distintas sofrem bastante influência da componente sombra e que a aplicação da técnica de correção topográfica proposta por Smith et al (1980) reduziu significativamente a influência do sombreamento nas imagens. Esta técnica embora tenha apresentado resultados satisfatórios, merece um estudo mais aprofundado, principalmente quanto a determinação da constante de Minnaert, que no caso deste trabalho, foi determinada de maneira empírica, através de regressão linear.

O emprego do Modelo Linear de Mistura Espectral permitiu analisar o comportamento das componentes de estudo tanto na imagem original, quanto na imagem corrigida, porém a utilização de mais bandas do sensor ETM+ para estimar as componentes aumentaria o grau de liberdade para o cálculo das imagens de erro, bem como melhoraria o resultado final.

Recomenda-se para trabalhos futuros o emprego de métodos de transferência radiativa para o cálculo da correção atmosférica como o 6S, uma vez que o método empregado foi o DOS que é um método empírico e a aplicação de um método físico poderia atenuar a influência da atmosfera com um maior nível de acurácia. O emprego de um modelo digital de elevação mais acurado também é recomendado, uma vez que o MDE utilizado foi obtido de cartas do IBGE vetorizadas na escala de 1:50.000.

Agradecimentos

Os Autores agradecem ao Projeto: Plano de Segurança da Água, por fornecer a Ortoimagem IKONOS e o apoio FAPEMIG

Referências Bibliográficas

Carpenter, G.A.; Gopal, S.; Macomber, S.; Martens, S.; Woodcock, C.E. A Neural Network Method for Mixture Estimation for Vegetation Mapping. **Remote Sensing for Environment**. v. 70, n. 2, p. 138-152, 1999.

Chavez, P. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data, **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 3, p. 459-479, 1988.

Colby, J.D. Topographic normalization in rugged terrain. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 57, n. 5, p. 531-537, 1991.

Jensen, J.R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 316 p.

Lu, D.; Ge, H.; He, S.; Xu, A.; Zhou, G.; Du, H. Pixel-based Minnaert Correction Method for Reducing Topographic Effects on a Landsat ETM+ Image. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 74, n. 11, p. 1343-1350, 2008.

Minnaert, M. The Reciprocity principle in Lunar Photometry, **American Astronomical Society**, v.93, p. 403-410, 1941.

Schowengerdt, R. **Remote sensing: models and methods for image processing**. San Diego: Academic Press, 1997. 522 p.

Shimabukuro, Y.E. Shade Images derived from linear mixing models of multispectral measurements of forested areas. Tese (Doutorado) – Colorado State University, Fort Collins, CO, 1987.

Shimabukuro, Y.E.; Novo, E.M.; Ponzoni, F.J. Índice de vegetação e Modelo Linear de Mistura Espectral no monitoramento do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, Número Especial, p.1729-1739, 1998.

Slater, P.N.; Jackson, R.D. Atmospheric effects on radiation reflected from soil and vegetation as measured by orbital sensors using various scanning directions. **Applied Optics**, v.21, n. 21, p. 3923-3931, 1982.

Smith, J.A.; Lin, T.L.; Ranson, K. The lambertian assumption and Landsat data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 46, n. 9, p. 1183-1189, 1980.

Tso, B.; Mather, P. M. **Classifications methods for remotely sensed data**. London, Taylor e Francis, 2001, 332p.