

**Avaliação do modelo de Mistura Espectral com Múltiplos
Membros de Referência (MESMA) aplicado aos dados hiperespectrais Hyperion/EO-1
da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**

Rodrigo de Marsillac Linn ¹
Sílvia Beatriz Alves Rolim ¹
Lênio Soares Galvão ²

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS/CEPSRM
Caixa Postal 15044 – 91501-970 – Porto Alegre - RS, Brasil
{rodrigo.linn, silvia.rolim}@ufrgs.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
lenio@dsr.inpe.br

Abstract. The objective of this work was to evaluate the potential use of the Hyperion/EO-1 hyperspectral data and of the MESMA (Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis) mixture model to discriminate land covers in the Rio Grande do Sul state, South Brazil. The methodology involved: (a) pre-processing and atmospheric correction of Hyperion data; (b) sequential use of the Minimum Noise Fraction (MNF), Pixel Purity Index (PPI) and *n*-Dimensional Visualizer techniques, in the 454-2334 nm range, for initial selection of a general group of candidate endmembers (first spectral library) and of another group of pixels used for model validation; (c) use of VIPER (Visualization and Image Processing for Environmental Research) Tools algorithm for final selection of endmembers from the first spectral library and to obtain MESMA models; and (d) evaluation of resultant fraction images and root mean square error (RMSE) values to determine the optimal number of components of the MESMA model. Results showed that a four-endmember MESMA model (soil = dunes and dry grasslands; green vegetation = pinus, eucalyptus and grasslands; water = with chlorophyll, clear and with suspended sediments; shadow) described adequately the diversity of the scene components, including materials within the same class (e.g., pinus and eucalyptus). It produced the largest fractions and the lowest RMSE values on a per-pixel basis. Results demonstrated the potential use of the MESMA with Hyperion/EO-1 hyperspectral data to discriminate land covers in the coastal flat region of the Rio Grande do Sul, even considering the low signal-to-noise ratio (SNR) of the instrument, especially in the shortwave infrared (SWIR).

Palavras-chave: hyperspectral remote sensing, image processing, sensoriamento remoto hiperespectral, processamento de imagens.

1. Introdução

Inúmeras técnicas de classificação de imagens orbitais têm sido empregadas na extração de informações da superfície terrestre (p.ex. cobertura e uso do solo). Geralmente, utilizam-se para estes estudos, sensores multiespectrais como, por exemplo, o *Enhanced Thematic Mapper* (ETM+, Landsat 7) com 8 bandas espectrais. No entanto, estes sensores não permitem um estudo mais detalhado sobre o comportamento espectral dos alvos.

Em 21 de novembro de 2000, foi lançado a bordo do satélite *Earth Observing-1* (EO-1) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), o sensor Hyperion, primeiro sensor hiperespectral a operar em órbita terrestre. Com 242 bandas espectrais posicionadas entre 0,4 e 2,5 μm , este sensor possibilita a extração de um espectro de reflectância detalhado – praticamente contínuo - para cada elemento de cena (pixel) da imagem (Goodenough et al., 2002; Galvão et al., 2005).

Por outro lado, a resposta espectral de um pixel, na realidade, é uma soma integrada da resposta espectral dos componentes da cena registrados no campo de visada do sensor (*Instantaneous Field of View* - IFOV) como, por exemplo, do solo, da vegetação, da água e da

sombra que é projetada sobre o solo, além da contribuição atmosférica (Shimabukuro e Smith, 1991).

Para que se possa conhecer a proporção dos diferentes materiais presentes em um pixel, podem ser utilizados modelos que permitem a decomposição do pixel em seus componentes puros ou “Membros de Referência” (MR – *endmembers*). O modelo de Análise de Mistura Espectral (*Spectral Mixture Analysis* – SMA) (Smith et al., 1985) é uma ferramenta de processamento digital de imagens que permite separar as proporções relativas de cada material dentro de um pixel, a partir de um conjunto de componentes puros da imagem (Pereira et al., 1998). No entanto, a SMA falha por considerar todos os pixels como mistura de um único conjunto inicial de membros de referência (MRs). Desta forma, pode-se ter um pixel modelado por MRs que nele sejam inexistentes.

Para corrigir essa fonte de erro foi proposto o modelo de Análise de Mistura Espectral com Múltiplos Membros de Referência (*Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis* – MESMA) (Roberts et al. 1998a), que permite que o número e o tipo de MRs, assim como sua abundância, variem pixel a pixel, estabelecendo para cada um o melhor modelo de mistura.

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o potencial dos dados hiperespectrais do sensor orbital Hyperion e do modelo MESMA na discriminação de classes de cobertura da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.

2. Material e Métodos

Foi utilizada para este estudo, uma imagem Hyperion/EO-1 de acervo, nível L1R (USGS), adquirida em 2 de maio de 2004 sobre a porção norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Figura 1).

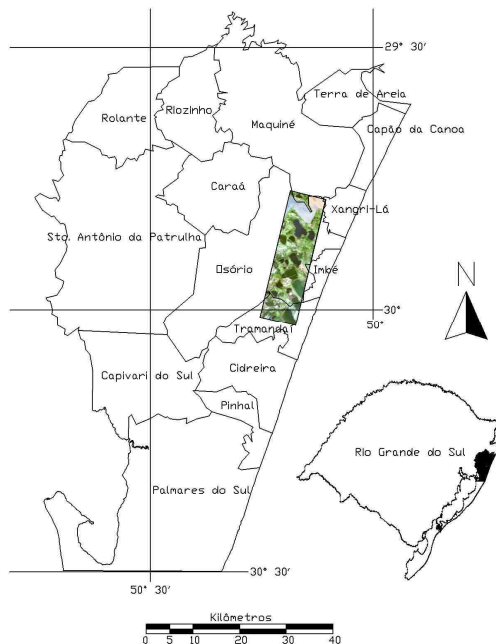


Figura 1. Localização da área de estudo

Para identificação dos tipos de materiais existentes na cena e caracterização das classes e subclasses de cobertura, foram realizadas duas verificações *in situ* em 2007, sendo uma delas, realizada em mês similar ao de aquisição (30 de maio).

As etapas de pré-processamento dos dados Hyperion envolveram: Correção dos pixels anômalos (*stripes*) por interpolação; exclusão das bandas sem informação do produto L1R e

posicionadas em torno das faixas de absorção atmosférica (1.400 nm e 1.900 nm); conversão dos dados para valores de reflectância de superfície através do uso de um modelo de transferência radiativa baseado no MODTRAN-4; e georreferenciamento da imagem, utilizando como referência uma imagem GeoCover da área de estudo.

A seqüência de processamentos *Minimum Noise Fraction* (MNF), *Pixel Purity Index* (PPI) e visualizador *n*-Dimensional foi aplicada sobre as 143 bandas, selecionadas no intervalo de 454 a 2334 nm, para compor a primeira biblioteca espectral e gerar um grupo de amostras para validação dos resultados obtidos pelo MESMA.

Para seleção dos espectros mais representativos da primeira biblioteca espectral, foram empregadas as métricas EAR (*Endmember Average RMSE*), MASA (*Minimum Average Spectral Angle*) e CoB (*Count Based Endmember Selection*), implementadas no Programa VIPER (*Visualization and Image Processing for Environmental Research*) Tools (Roberts et al., 2007). Os espectros que apresentaram o melhor desempenho em cada métrica foram selecionados para gerar a segunda biblioteca espectral.

A partir da segunda biblioteca espectral, modelos MESMA com dois, três e quatro componentes foram aplicados sobre os dados Hyperion, utilizando o módulo “Run SMA/MESMA” do VIPER Tools. Os parâmetros de restrição solicitados pelo Programa quanto ao tipo de sombra (fotométrica ou não-fotométrica), frações mínima e máxima da componente não-sombra, fração máxima da componente sombra e máximo RMSE permitido, são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros utilizados no módulo “Run SMA/MESMA” do VIPER Tools para aplicação dos modelos MESMA.

Tipo de sombra	Fotométrica
Fração mínima permitida	-6%
Fração máxima permitida	106%
Fração máxima para sombra	80%
Máximo erro RMS permitido	0,025
Máximo erro residual permitido	0,025
Número de bandas contíguas para o cálculo do erro residual	7

Para geração da imagem-fração de cada subclasse representada neste estudo e de uma imagem classificada, foi desenvolvida uma rotina em MatLab, onde foi atribuído ao pixel a subclasse com maior proporção.

A avaliação da acurácia foi obtida em relação à desmistura dos pixels “puros” (Amostra de Validação), resultantes do processo PPI. Dessa forma, as frações produzidas para cada subclasse, por cada modelo, foram comparadas em relação ao RMSE produzido para avaliar o desempenho dos modelos de mistura MESMA.

3. Resultados e Discussão

3.1. Componentes de Cena

Na área de estudo (Figura 2), os corpos lagunares são os elementos que estão mais presentes, perfazendo uma área de aproximadamente 50%. Basicamente, identificaram-se três diferentes tonalidades destas águas, que foram rotuladas neste estudo como: água com sedimento, água sem sedimento e água com clorofila. O uso atual do solo é dominado pelo cultivo de arroz e pelo plantio de pinus e eucaliptos em pequenas e médias propriedades. A

área de zonas de campo aberto é composta por vegetações rasteiras, principalmente gramíneas, identificadas pelos tons de verde claro e situando-se entre os corpos lagunares espalhados em toda a imagem. As zonas de campos secos caracterizam-se por uma vegetação seca dispersa, composta por galhos secos de pinus e palha de arroz. Por último, pode-se destacar uma pequena porção da área urbana da cidade de Tramandaí situada entre as Lagoas das Custódias e do Armazém.

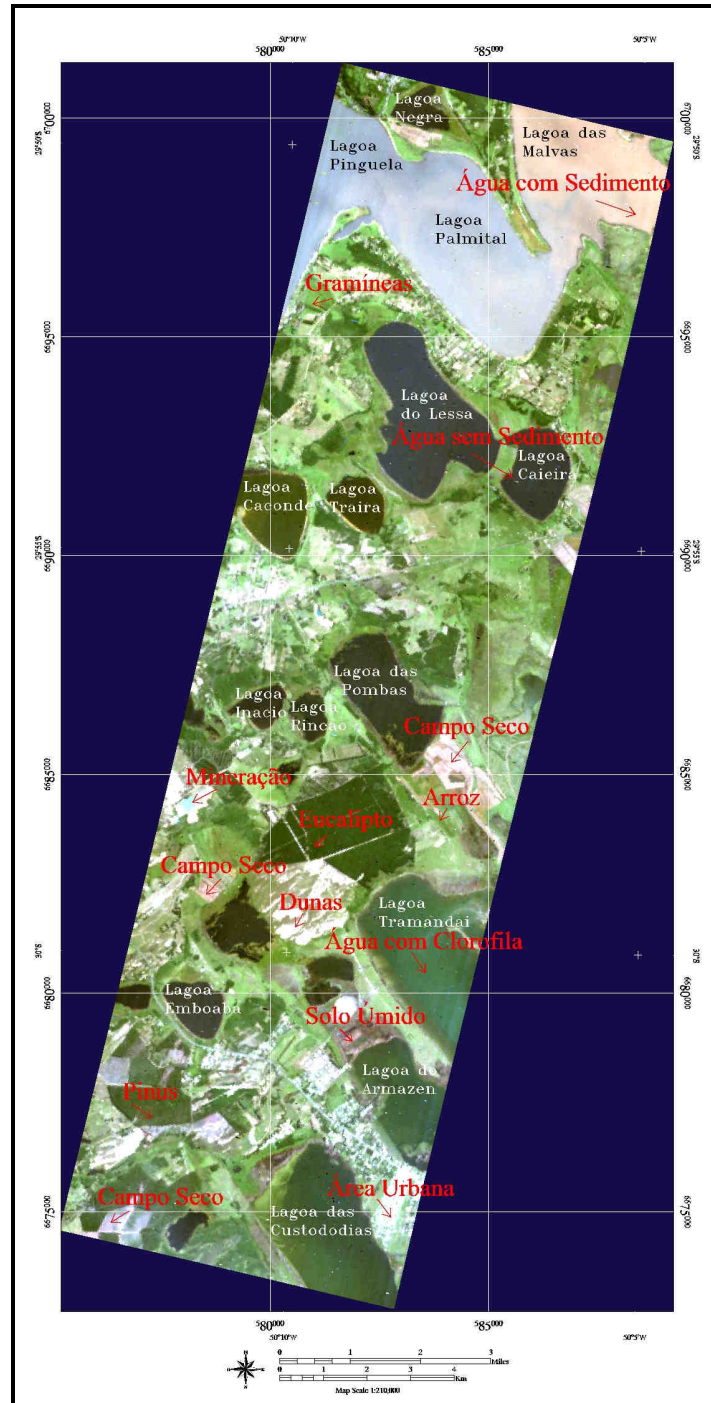


Figura 2. Composição colorida normal com as bandas posicionadas em 638 nm (vermelho), 546 nm (verde) e 465 nm (azul). Os principais componentes de cena estão indicados.

3.2. Primeira Biblioteca Espectral e Amostra de Validação

No total, 14.101 pixels foram apontados como candidatos a MRs pela técnica PPI (6,12 % da área imageada), aplicada sobre as 9 primeiras componentes MNF. Esses pixels ocorreram principalmente em porções da cena de 8 subclasses relacionadas com três classes principais (água, vegetação e solo): Água com Sedimento, Água sem Sedimento e Água com Clorofila (Água); Pinus, Eucalipto e Gramíneas (Vegetação); e Dunas e Campo Seco (Solo).

O número de pixels “puros” selecionados manualmente sobre a imagem Hyperion, com auxílio do visualizador *n*-Dimensional, para compor a primeira biblioteca espectral e a amostra de validação, é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Classes, subclasses e número de pixels selecionados para compor a 1ª biblioteca espectral e a amostra de validação, resultante da aplicação sequencial das técnicas MNF e PPI e visualizador *n*-Dimensional.

Classe	Subclasse	Número de pixels (1ª Biblioteca Espectral)	Número de pixels (Amostra de Validação)
Água	Água com sedimento	105	80
	Água sem sedimento	105	80
	Água com clorofila	105	80
Vegetação	Pinus	105	80
	Eucaliptos	105	80
	Gramíneas	105	80
Solo	Dunas	105	80
	Campo Seco	20	80
Total de pixels		755	640

3.3. Segunda Biblioteca Espectral

Utilizando as métricas EAR, MASA e CoB, vinte três espectros foram selecionados a partir da primeira biblioteca espectral. Esses MRs corresponderam aos espectros mais representativos de cada subclasse, ou seja, aqueles que apresentaram o menor RMSE (EAR), ângulo espectral (MASA) e o maior índice CoBI ao modelar espectros da mesma subclasse.

Para cada subclasse, foram selecionados, em cada métrica (EAR, MASA e CoB), os espectros que apresentaram os melhores desempenhos. Assim sendo, cada subclasse obteve três espectros (MRs) para representá-la, exceto a subclasse Dunas, que devido ao baixo índice CoBI produzido, teve seu espectro selecionado pelas métricas EAR e MASA.

3.4. Modelos de mistura espectral MESMA

O resultado do desempenho dos modelos de 2, 3 e 4 componentes ou MRs gerados a partir da 2ª biblioteca espectral (Tabela 3) pode ser observado na Figura 3. Os modelos com 4 componentes obtiveram os menores RMSE e a maior fração ao modelarem os pixels “puros” da amostra de validação.

Tabela 3. Número de modelos MESMA gerados a partir da 2ª biblioteca espectral para avaliação do desempenho.

Nº de componentes	1ª componente	2ª componente	3ª componente	4ª componente	Nº modelos
2	Água / Vegetação / Solo	Sombra			23
3	Água / Solo	Vegetação	Sombra		126
4	Solo	Vegetação	Água	Sombra	405

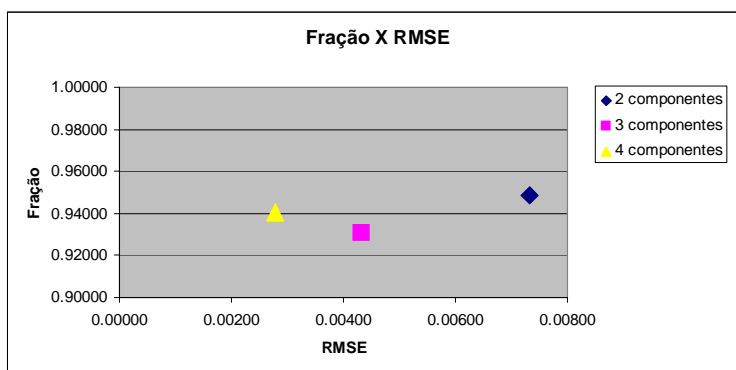


Figura 3. Resultado obtido pelos modelos MESMA de 2, 3 e 4 componentes (MRs) sobre a amostra de validação.

Aproximadamente 85% da imagem Hyperion foi modelada pelo modelo MESMA com 4 componentes, o que corresponde a 195.725 pixels (total de 230.400 pixels). A maioria dos pixels das subclasses Água, Campo Seco, Pinus, Gramíneas e Eucalipto foi modelada e corretamente classificada. A subclasse Dunas teve apenas 46,25 % da sua amostra modelada (Tabela 5).

Tabela 5. Resultado obtido pelo modelo MESMA com 4 componentes sobre a amostra de validação.

Subclasse	% modelado
Água com Sedimento	100.00%
Água sem Sedimento	100.00%
Água com Clorofila	100.00%
Campo Seco	100.00%
Dunas	46.25%
Pinus	100.00%
Eucalipto	100.00%
Gramíneas	97.50%

A Imagem RMSE indicou que os maiores erros foram produzidos pelo MESMA ao modelar pixels de Gramíneas e Dunas, devido a alta variabilidade espectral desses alvos. Com o auxílio dos histogramas das imagens fração de cada subclasse, pôde-se verificar que a maior parte dos pixels da Classe Corpos D'água foi modelada com frações superiores a 90%. Na Classe Vegetação, as médias de frações produzidas variaram entre 60% (Gramíneas) e 90% (pinus e eucalipto). A Classe Solo apresentou os menores valores de fração, com aproximadamente 50% para subclasse Campo Seco. A subclasse Dunas obteve uma distribuição praticamente linear com intervalo entre 20% e 104%.

A classificação final (Figura 4), obtida a partir das imagens fração solo, vegetação e água, mostra a distribuição espacial das oito subclasses representadas neste estudo. Pode-se verificar que algumas áreas que correspondiam ao cultivo de eucaliptos foram classificadas como pinus, não havendo confusão para o caso inverso. Para a classificação da água, o

resultado parece ser consistente em relação à imagem colorida normal da Figura 2. Entretanto, nos locais menos profundos (margens), ocorreu uma pequena confusão entre as subclasses Água com Sedimento e Água com Clorofila, devida principalmente ao efeito de fundo. Assim como ocorreu com as amostras de validação, as áreas cobertas por dunas deixaram, em sua imensa maioria, de ser modeladas. A área urbana, que não foi representada nos modelos de mistura, foi modelada em parte como campo seco (solo).

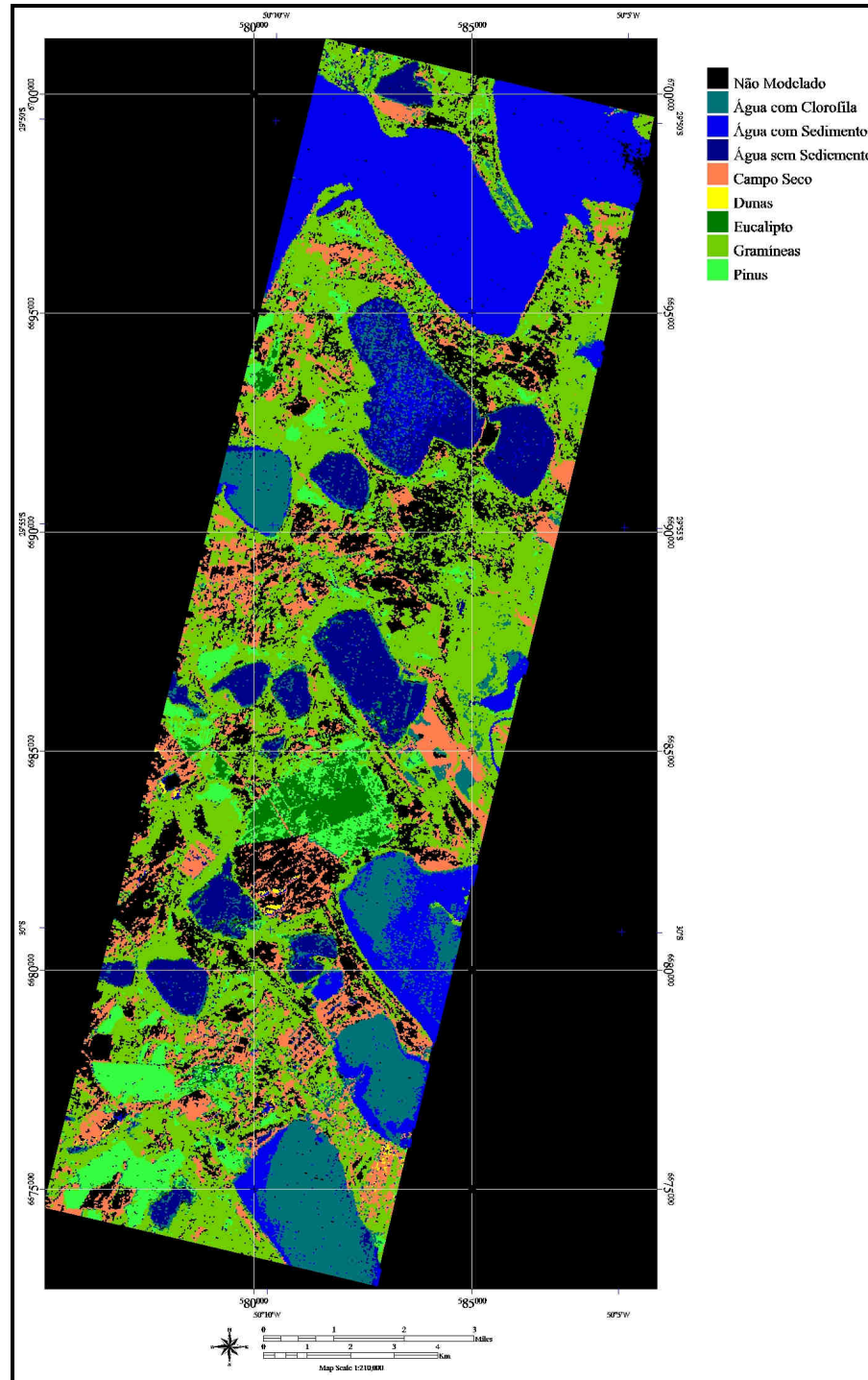


Figura 4. Resultado obtido pelo modelo MESMA com 4 componentes. Imagem classificada a partir da componente com maior fração.

4. Conclusões

Quando aplicado sobre a imagem Hyperion e sobre a amostra de validação, o modelo MESMA de 4 componentes (Solo = dunas e campo Seco; vegetação verde = pinus, eucalipto e gramíneas; água = com Sedimentos em suspensão, sem Sedimentos e com clorofila; sombra) descreveu adequadamente a diversidade dos componentes de cena, incluindo materiais dentro de uma mesma classe (p.ex. pinus e eucalipto).

As frações produzidas pelos modelos MESMA ao modelarem pixels “puros” corresponderam aos valores esperados, atingindo na sua maioria, frações superiores a 90 % com baixo RMSE.

Os resultados, como um todo, demonstram o potencial da aplicação dos modelos MESMA com dados hiperespectrais do sensor Hyperion/EO-1, mesmo considerando a baixa relação sinal/ruído do instrumento, especialmente no SWIR.

Referências

Galvão, L. S.; Formaggio, A. R.; Tisot, D. A. Discrimination of sugarcane varieties in southeastern Brazil with EO-1 Hyperion data. **Remote Sensing of Environment**, v. 94, p. 523-534, 2005.

Goodenough, D.G.; Bhogal, A.S.; Dyk, A.; Hollinger, A.; Mah, Z.; Niemann, K.O.; Pearlman, J.; Chen, H.; Tan, T.; Love, J.; McDonald, S. Monitoring forest with Hyperion and ALI. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 2, p. 882-885, 2002.

Pereira, J.L.G.; Batista, G.T.; Thales, M.C.; Roberts, D.A. 1998. Proporção de componentes derivadas de imagens Landsat TM para caracterização da cobertura da terra na amazônia. (CD ROM). *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos. CD ROM Anais.

Roberts D.A.; Gardner M.; Church R.; Ustin S.; Scheer G.; Green R.O. Mapping chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models. **Remote Sensing of Environment**, v. 65, n. 3, p. 267-279, 1998a.

Roberts, D. A.; Halligan, K.; Dennison, P. VIPER Tools User Manual. Versão 1.2. Santa Barbara: University of Califórnia Santa Barbara, 2007 p. 95. Disponível em: <<http://www.vipertools.org>> Acesso em: 18 abr. 2007.

Shimabukuro, Y.E. & Smith, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n.1, p. 16-20, 1991.

Smith, P. S.; Balonek, T. J.; Heckert, P. A.; Elston, R.; Schmidt, G. D. UVRI field comparison stars for selected active quasars and BL Lacertae objects. **Astronomical Journal**, v. 90, p. 1184-1187, 1985.