

## ESTRATIFICAÇÃO DOS AMBIENTES DE MISTURA EM IMAGENS HIPERESPECTRAIS

OSMAR ABÍLIO DE CARVALHO JÚNIOR<sup>1</sup>

PAULO HONÓRIO GUIMARÃES<sup>2</sup>

RICHARD ANDERSON SILVA LOPES<sup>2</sup>

RENATO FONTES GUIMARÃES<sup>2</sup>

ANA PAULA FERREIRA DE CARVALHO<sup>2</sup>

ÉDER DE SOUZA MARTINS<sup>3</sup>

JOSÉ NAVARRO PEDREÑO

<sup>1</sup>INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil

osmar@ltid.inpe.br

<sup>2</sup>UnB - Universidade de Brasília

Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte - 70910-900, Brasília, DF, Brasil

{anapaula,renatofg}@unb.br

<sup>3</sup>Embrapa/CPAC-Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados

Caixa Postal 08223, 73301-970, Planaltina, DF, Brasil

eder@cpac.embrapa.br

<sup>4</sup>Universidade Miguel Hernández de Elche – Departamento de Agroquímica y Meio Ambiente

AVDA EL Ferrocarril S/N 03202, Elche, Alicante, Espanha.

jonavar@umh.es

**Abstract.** In the present work a stratification of mixture environments from the MNF (Minimum Noise Fraction) transformation is made. From the MNFs components are generated masks relative with a determined mixture environment. A new MNF transformation can be carried through no considering the areas selected in the previous stage. After the stratification procedure is made the detention of the final members for each mixture environment. This procedure allows better analysis of the spectral mixture considering only the compatible final members. In the hyperspectral image processing it could be defined three mixture environments: burnt, exposed soil and vegetation. The linear mixture analysis for each environment was made and the results showed that it was possible to detach the details of each environment.

**Keywords:** remote sensing, image processing, hyperspectral.

### 1. Introdução

As paisagens são complexas e compostas por mosaicos heterogêneos que variam em composição e estrutura. Portanto, a individualização desses mosaicos que compõem a paisagem torna-se importante para uma análise mais acurada da mistura espectral. O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia que permita estratificar os ambientes de mistura de forma a melhor identificar os processos de mistura espectral. As imagens utilizadas no presente trabalho são do sensor hiperespectral *Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer* (AVIRIS), desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), capaz de adquirir espectros praticamente contínuos ao longo da porção do espectro solar refletido (0,4µm a 2,5 µm) contendo 224 bandas.

A área de estudo localiza-se no estado de Goiás entre as latitudes -14:40:18 S e -14:35:27 S e longitude -047:31:57 W e 047:32:31 W (**Figura 1**). A metodologia utilizada pode ser subdividida em três etapas: (a) correção atmosférica, (b) identificação dos sistemas de misturas e de seus membros finais e (c) análise linear de mistura.



**Figura 1** – Imagem AVIRIS (950816L, Run 05, Scene 01, North Brasilia)

Latitude: Start: - 14:40:18 S Stop: -14:35:27 S Longitude: Start: - 047:31:57W Stop: - 047:32:31 W

Time: Start: Aug 16, 1995 15:35:46 Stop: Aug 16, 1995 15:36:28

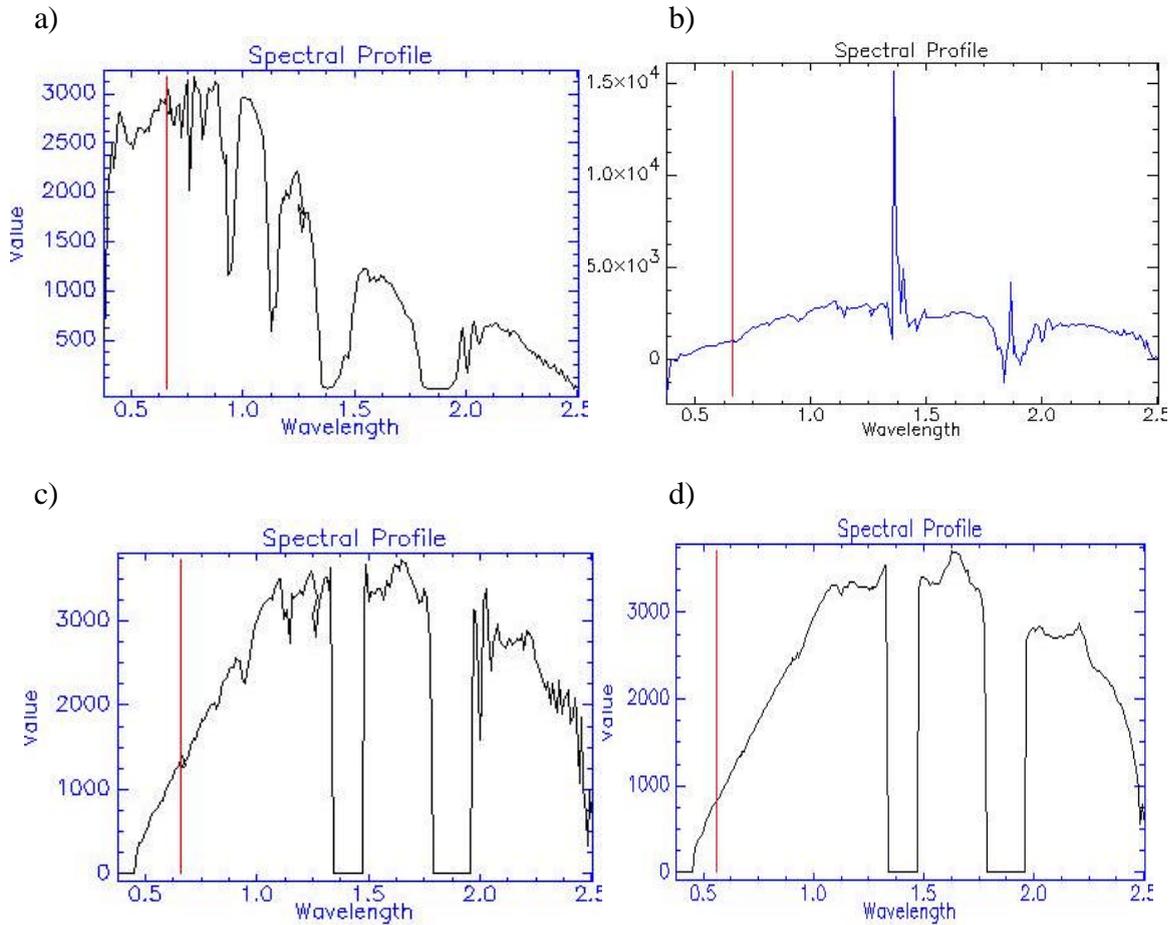
## 2. Correção Atmosférica

A correção atmosférica para a imagem em estudo foi realizada pelo método ATREM (Atmosphere REMoval program) desenvolvido para os sensores AVIRIS e HYDICE. Este método utiliza o código 6S de transferência radiativa atmosférica, (Gao *et al.*, 1997 e Gao *et al.*, 1999), conciliado com o modelo espectral Malkmus de banda estreita (Malkmus, 1967). O ATREM considera as variações espaciais e temporais do vapor d'água, com base nas feições de 0,94 $\mu$ m e 1,14  $\mu$ m (Gao *et al.*, 1993).

Como tratamento complementar ao da correção atmosférica utilizou-se o método EFFORT (*Empirical Flat Field Optical Reflectance Transformation*), que permite um melhor ajuste da reflectância de superfície aos espectros presentes em campo. Esse algoritmo busca filtrar os erros acumulados das etapas de calibração e correção atmosférica e salientar o sinal da reflectância de superfície utilizando uma estatística de ajuste de todas as bandas através de valores de ganhos (próximos de 1) e *offsets* (próximos de 0) (Boardman, 1998). Os resultados dos tratamentos sucessivos na imagem AVIRIS durante a fase de pré-processamento são apresentados na **Figura 2**.

## 3. Identificação dos Sistemas de Misturas e de seus Membros Finais

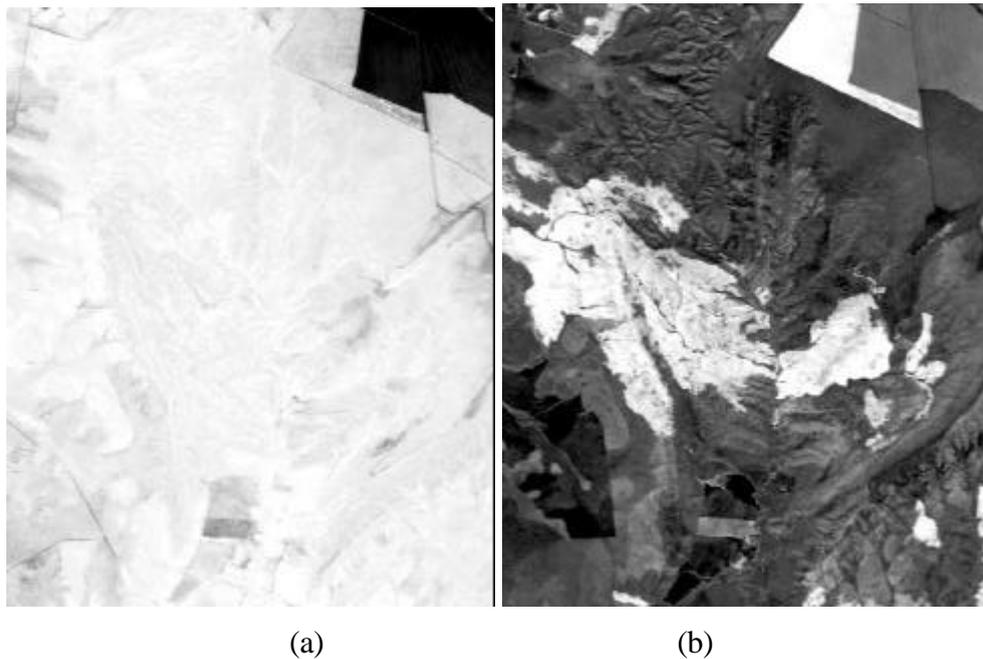
A análise do arranjo dos elementos puros e de suas misturas para uma imagem é obtida por meio de uma geometria de distribuição de dados denominada de *simplex* (Smith *et al.*, 1985a, b; Bateson & Curtiss, 1993 e 1996; Boardman, 1993). Essa geometria permite detectar os membros finais existentes na imagem e, a partir desses, pode-se utilizar técnicas para o cálculo de abundância.



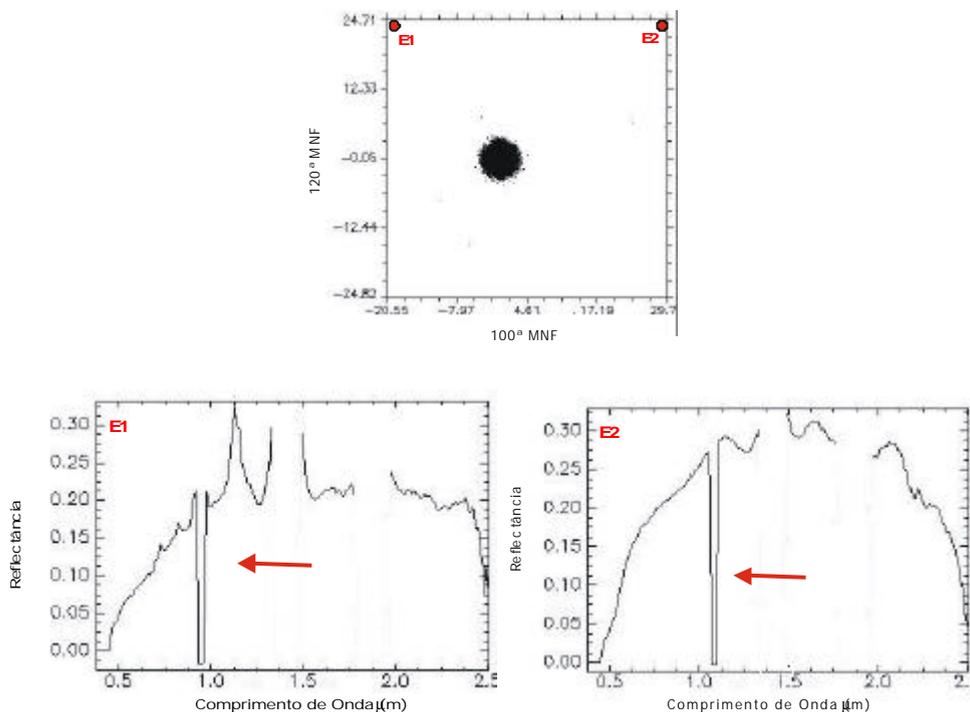
**Figura 2.** Demonstração dos espectros (a) sem correção, (b) com correção pelo método ATREM, (c) sem as bandas referentes pela absorção de vapor d' água atmosférico, e (d) com o EFFORT.

Um fator importante para que se obtenha bons resultados na análise de mistura pelo *simplex* é o isolamento dos diferentes sistemas de misturas existentes na cena de forma a minimizar a variabilidade dos membros finais e, conseqüentemente, aumentar a confiabilidade dos resultados. Essa proposição baseia-se na constatação de que muitos membros finais afetam apenas alguns grupos de *pixels*, não tendo a menor influência sobre outros (Carvalho Júnior *et al.*, 2000).

Na separação dos diferentes *simplex* da imagem foram empregadas sucessivas transformações pelo *Minimum Noise Fraction* (MNF) sobre áreas previamente delimitadas por máscaras. Inicialmente, a transformação MNF foi aplicada sobre toda a área. Na primeira transformação MNF foram realçadas as áreas de solo exposto e de queimada (**Figura 3a,b**). Esses dois sistemas de misturas foram isolados com emprego de máscaras. Neste primeiro MNF também foram detectados e eliminados os ruídos de degradação do sinal. Os ruídos de degradação do sinal apresentam um comportamento típico no espaço MNF junto às componentes mais ruidosas, onde ficam isolados e distanciados da nuvem esférica dos ruídos de igual variância e não correlacionados (Carvalho Júnior *et al.*, 2000b). A **Figura 4** demonstra esse comportamento, onde os pontos E1 e E2 representam esse tipo de ruído.

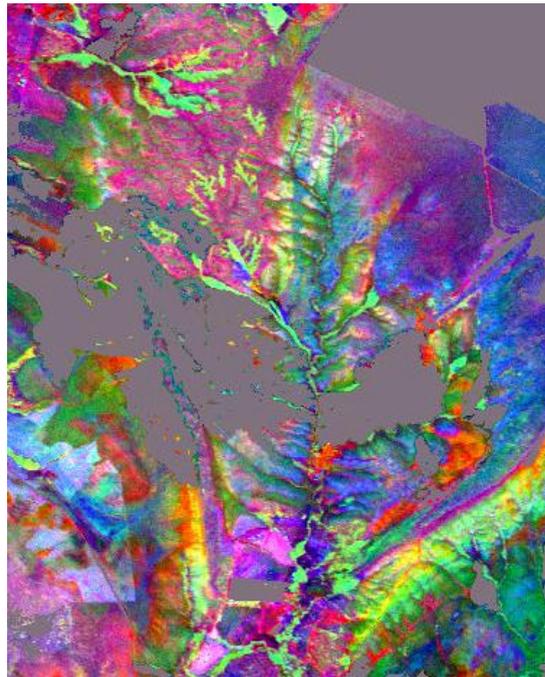


**Figura 3** Componentes do MNF: a) 1ª MNF ressaltando as áreas de solo exposto em negro e, b) 2ª MNF ressaltando as áreas de queimadas em branco.



**Figura 4** - No espaço bidimensional entre as componentes 100ª MNF e 120ª MNF observa-se os espectros com degradação do sinal E1 e E2.

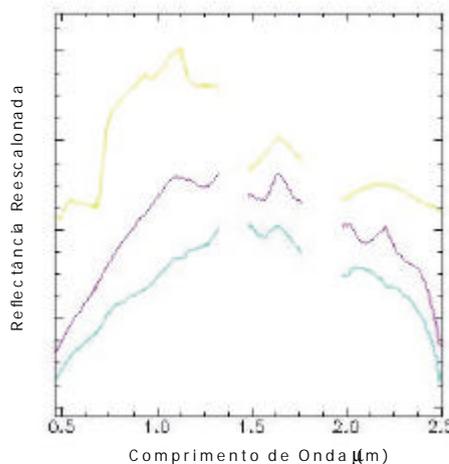
Com o propósito de ressaltar as áreas de vegetação foi aplicada uma segunda etapa de MNF desconsiderando as áreas de solo exposto, áreas de queimada e ruído com degradação do sinal. Estas novas componentes MNF demonstram diferentes tipos de cobertura vegetal que se apresentam concordantes com os estratos geológicos (**Figura 5**).



**Figura 5** – Composição colorida RGB/3ªMNF 6ªMNF 8ª MNF

Os membros finais presentes nos *simplex* redimensionados (área de queimada, solo exposto e vegetação) foram obtidos segundo a metodologia proposta por Boardman & Kruse (1994) que se subdivide em três etapas: (a) redução da dimensão espectral (*Minimum Noise Fraction* - MNF), (b) redução da dimensão espacial (*Purity Pixel Index* - PPI) e (c) identificação manual (utilizando um visualizador n-dimensional).

O emprego dessa técnica permitiu analisar a variação espectral dos diferentes *simplex* que compõem a cena. No *simplex* referente à vegetação observa-se a presença de vegetação fotossinteticamente ativa (VFA), vegetação não fotossinteticamente ativa (VNFA) e VNFA com presença de solo (**Figura 6**). No *simplex* referente ao solo observam-se as feições da goethita, hematita e caulinita (2,2- $\mu\text{m}$ ). Os membros finais selecionados foram utilizados na ALM.



**Figura 6** – Curvas espectrais relativas aos membros finais: (a) vegetação fotossinteticamente ativa, (b) vegetação fotossinteticamente não ativa, e (c) VNFA com presença de solo.

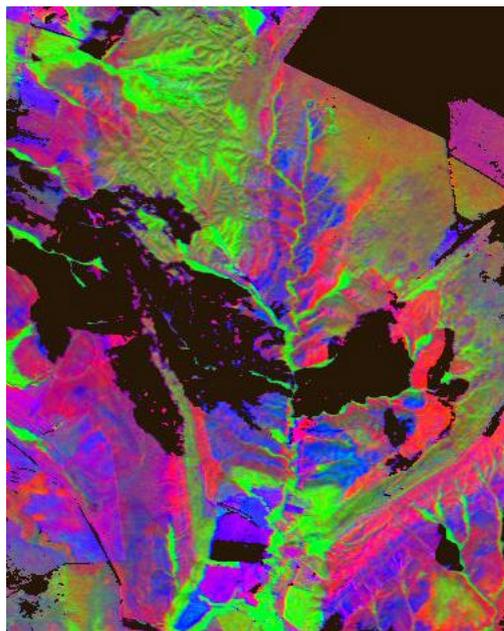
#### 4. Análise Linear de Mistura (ALM)

A análise linear de mistura baseia-se no emprego da regressão múltipla para quantificar a proporção dos minerais presentes na imagem (Smith & Adams 1985). O emprego da Análise Linear de Mistura (ALM) sobre a área com vegetação permitiu visualizar o comportamento diferenciado de VFA e VNFA conforme as camadas geológicas. A **Figura 7** mostra em verde a VFA que se apresenta com maior intensidade nas áreas de mata galeria. As demais colorações expressam comportamentos intermediários entre a VFA e VNFA que se distribuem em proporções definidas em formas lineares. Este comportamento corresponde à natureza edáfica e à capacidade de armazenamento de água no solo.

#### 5. Conclusão

O método utilizado no processamento digital das imagens hiperespectrais permitiu detectar os sistemas de mistura e os ser respectivos membros finais. Na separação dos diferentes *simplex* da imagem, o emprego de sucessivas etapas de MNF sobre áreas previamente delimitadas por máscaras permite uma melhor análise dos espectros. Inicialmente, a transformação MNF foi empregada sobre toda a área. As primeiras componentes do MNF permitiram realçar as áreas de solo exposto e de queimada, sendo logo isolados por máscaras e um tratamento de eliminação do ruído. A fim de ressaltar a vegetação fotossinteticamente ativa foi aplicada uma segunda MNF, desconsiderando as áreas de solo exposto, áreas de queimada e ruído. Em seguida, foram empregados o índice de pureza do Pixel (PPI) e um visualizador n-dimensional, identificando os membros finais para depois serem classificados pela ALM, o que foi importante para identificação das feições de vegetação e o estabelecimento de correlações entre essas e o comportamento geológico-geomorfológico.

A diminuição da dimensão espectral e espacial, a identificação manual dos membros finais e sua posterior localização e quantificação, por meio dos classificadores espectrais, podem fornecer subsídios a pesquisas futuras objetivando não só o teste da metodologia acima em outras áreas, como também o aperfeiçoamento dos classificadores espectrais ou mesmo o desenvolvimento de outros que apresentem vantagens proporcionais aos utilizados.



**Figura 7** - Composição colorida relativa aos membros da ALM RGB/VNFA e solo-VFA-VNFA

## Referências

- Bateson, C. A. & Curtiss, B. A tool for manual endmember selection and spectral unmixing: In: *Summaries of the 4<sup>nd</sup> Annual JPL Airborne Geoscience Workshop*, JPL Publication 93-26, v.1, p.3-6, 1993.
- Bateson, C. A. & Curtiss, B. A. Method for Manual Endmember Selection and Spectral Unmixing, *Remote Sens. Environ.* 55:229-243, 1996.
- Boardman, J. W. & Kruse, F. A. Automated spectral analysis: A geologic example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada: in Proceedings, ERIM Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI, I: 407-418. 1994.
- Boardman, J. W. Automated spectral unmixing of AVIRIS data using convex geometry concepts: In: *Summaries of the 4<sup>nd</sup> Annual JPL Airborne Geoscience Workshop*, JPL Publication 93-26, Vol. 1, pp.11-14. 1993
- Boardman, J. W. Post-ATREM polishing of AVIRIS apparent reflectance data using EFFORT: a lesson in accuracy versus precision. In: *Summaries of the Seventh JPL Airborne Earth Science Workshop*, Vol.1 p.53. 1998.
- Carvalho Júnior, O. A. Avaliação e Desenvolvimento de Imagens de Métodos de Processamento digital de Imagens Hiperespectrais - Análise em depósito de Níquel (Niquelândia, GO), tese de Doutorado, Universidade de Brasília. 2000.
- Carvalho Júnior, O. A.; Carvalho, A. P. F. & Meneses, P. R. Sequential MNF Employment: an Approach to Noises Elimination. Presented in the Nineth JPL Airborne Earth Science Workshop. Pasadena, CA. 2000.
- Gao, B.-C.; Goetz A. F. H. & Zamudio, J. A. Removing Atmospheric effects from AVIRIS Data for Reflectance Retrievals, In: *Proceeding of the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop*, JPL Public 93-26. pp. 80-86. 1993.
- Gao, B.-C.; Hiedebrecht, K. B., & Goetz, A. F. H. Atmosphere Removal Program (ATREM) User's Guide version 3.0 pp.21. 1997.
- Gao, B.-C.; Hiedebrecht, K. B., & Goetz, A. F. H. Atmosphere Removal Program (ATREM) User's Guide version 3.1 pp.101. 1999.
- Malkmus, W. Random Lorentz band model with exponential-tailed S line intensity distribution function, *J. Opt. Soc. Am.*, 57, 323-329. 1967.
- Smith, M. O. & Adams, J. B. Interpretation of AIS images of Cuprite, Nevada, using constrains of spectral mixtures. In: *Proc. Airborne Imaging Spectrometer Data Analysis Workshop* JPL Publ. 85-41, p. 62-68. 1985.
- Smith, M. O.; Johnson, P. E. & Adams, J. B. Quantitative determination of mineral types and abundances from reflectance spectra using principal components analysis Proc. 15<sup>th</sup> Lunar Planet. Sci. Conf. Part2. *J Geophys. Res.*, 90, Suppl., pp. C797-C804. 1985.