

COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS GREEN E ATREM PARA CORREÇÃO ATMOSFÉRICA DE IMAGENS HIPERESPECTRAIS AVIRIS

**Osmar Abílio de Carvalho Júnior¹, Marcelo Latorre²,
Luiz Alberto Vieira Dias³, Ana Paula Ferreira de Carvalho⁴,
Renato Fontes Guimarães⁵, Paulo Roberto Meneses⁶**

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil.
osmar@ltd.inpe.br

²IEAv Instituto de Estudos Avançados - CTA - Centro Técnico Aeroespacial
Rodovia dos Tamoios, Km 5,5, São José dos Campos, SP, Brasil.
latorre@ieav.cta.br

³UNIVAP - Universidade do Vale do Paraíba.
Rua Shishima Hifumi, 2911, 12244-000, São José dos Campos, SP, Brasil.
vdias@univap.br

⁴UnB - Universidade de Brasília - Departamento de Ecologia
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte - 70910-900, Brasília, DF, Brasil
anapaula@unb.br

⁵UnB - Universidade de Brasília - Departamento de Geografia
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF, Brasil.
renatofg@unb.br

⁶UnB - Universidade de Brasília - Departamento de Geologia
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF, Brasil.
pmeneses@unb.br

Recebido 25 de abril de 2001; revisado 21 de dezembro; aceito 14 de março de 2002

RESUMO - O presente trabalho tem como propósito realizar uma análise comparativa dos métodos Green e ATREM para a correção atmosférica de imagens do sensor hiperespectral AVIRIS. Também foi avaliada a aplicação do método complementar EFFORT, que proporciona uma filtragem de eventuais resíduos atmosféricos verificados

após a correção. Verificou-se que o método Green apresentou melhores resultados em comparação ao método ATREM. O emprego do EFFORT permitiu uma melhora dos espectros do ATREM, porém apresentou apenas uma melhora moderada sobre os resultados do método Green.

Palavras-Chave – sensoriamento remoto, correção atmosférica, hiperespectral.

ABSTRACT - The present work deals with a comparative analysis of two atmospheric correction methods for AVIRIS data: the Green and the ATREM methods. It is also analysed the procedure EFFORT, associated to the atmospheric correction, which is applied after the correction in order to eventually filter atmospheric residues. It is shown that the Green's Method presented better results, compared to the ATREM Method. The use of the EFFORT procedure produced a significant improvement on the ATREM's results, but the improvement on the Green's Method results was moderate.

Keywords: remote sensing, atmospheric correction, hyperspectral.

INTRODUÇÃO

A utilização de imagens de sensores de alta resolução espectral requer processamentos que reduzam ou compensem os efeitos atmosféricos, uma vez que diferentes fenômenos de absorção e espalhamento de gases por moléculas e aerossóis afetam o sinal recebido pelo sensor (Tanré *et al.*, 1990).

Os procedimentos desenvolvidos para correção atmosférica de imagens multiespectrais caracterizam-se por serem modelos do tipo ordinário discreto onde se obtém um único valor de correção para toda a cena em estudo. Com o advento da espectroscopia de imageamento, verifica-se uma tendência para modelos de correção atmosférica do tipo distribuído, que realizam um tratamento específico de pixel para pixel (Carvalho Júnior, 2000). Esse avanço foi possível

devido à capacidade de detecção das feições de absorção dos elementos atmosféricos pelos sensores hiperespectrais, que fornecem uma estimativa da quantidade de gases e aerossóis presentes (Green, 1990; Carrere & Conel, 1993; Gao *et al.*, 1993). Desta forma, é possível descrever, de forma espacial, a distribuição dos fatores atmosféricos como também obter o seu movimento relativo a partir de imageamentos sucessivos em um mesmo local.

O presente trabalho tem como objetivo analisar e comparar o emprego entre os dois procedimentos mais difundidos para a correção atmosférica de imagens hiperespectrais: método Green e o método ATREM (*ATmosphere REMoval program*).

O sensor *Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer* (AVIRIS), foi desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), em 1983, para adquirir espectros praticamente contínuos ao longo da faixa do espectro do solar refletido. Esse sensor gera 224 bandas espectrais contínuas, de 10nm de largura, entre as regiões de 0,4 a 2,5 μm (Vane *et al.*, 1984). O desenvolvimento do projeto teve início em 1984, porém os primeiros vôos experimentais só começaram em 1987 (Vane, 1987). O AVIRIS tornou-se operacional em 1989, após alguns ajustes e correções realizadas pelos pesquisadores do *Jet Propulsion Laboratory* (JPL), NASA.

O AVIRIS foi trazido para o Brasil em 1995 na missão SCAR-B (*Smoke, Clouds and Radiation - Brazil*), que teve como propósito o estudo dos constituintes da atmosfera. Essa atividade foi uma operação conjunta da NASA, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e da Agência Espacial Brasileira (AEB) (Kaufman *et al.*, 1998). A imagem utilizada nesse estudo foi

adquirida durante a missão SCAR-B no vôo realizado pelo AVIRIS no dia 16 de agosto de 1995. A linha de vôo foi realizada transversalmente ao complexo de Niquelândia, imageando diferentes alvos como solo, vegetação e área de mineração, tornando-se adequada ao presente estudo.

MÉTODO GREEN

O método de correção atmosférica proposto por Green (1990) proporciona uma estimativa dos parâmetros atmosféricos e cálculo da reflectância aparente da superfície usando o código de transferência radiativa em conjunto com um modelo de ajuste não linear por mínimos quadrados (Green *et al.*, 1991, 1993). Inicialmente, Green (1990) utilizou o código de transferência radiativa LOWTRAN (Kneizys *et al.*, 1988), que foi posteriormente substituído por Green *et al.* (1993) pelo MODTRAN 3 (Berk *et al.*, 1989; Anderson *et al.*, 1995).

No método Green, o modelo para o cálculo do vapor d'água utiliza a radiância medida em $0,94\mu\text{m}$ que é fortemente sensível à intensidade de vapor d'água na atmosfera. A abundância é obtida por meio de um ajuste não linear por mínimos quadrados entre a banda de vapor d'água obtida no AVIRIS e sua correspondente, gerada pelo código MODTRAN. Desta forma, o modelo realiza tanto a inversão dos dados de radiância para reflectância como estima a abundância de vapor d'água para cada *pixel* (Conel *et al.*, 1988; Green *et al.*, 1988, 1991, 1993, 1995; Green & Conel, 1995). A abundância de vapor d'água na atmosfera apresenta uma significativa variação espacial e temporal. Nesse sentido, Green *et al.* (1991) e Green & Conel (1995) obtiveram uma variação percentual superior a 20% para imagens adquiridas de um mesmo local dentro

de um curto intervalo de tempo. A energia de transmitância do vapor d'água através do espectro é função de sua abundância (**Figura 1**).

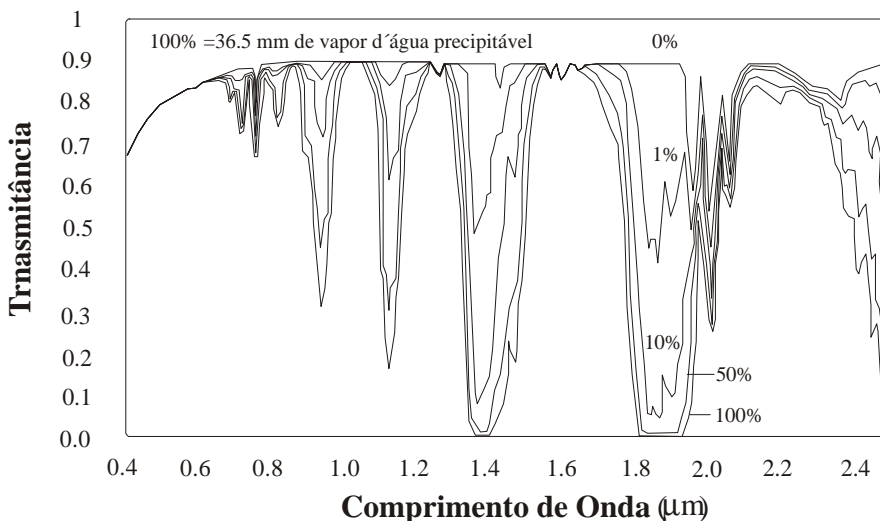


Figura 1 - Decréscimo da transmitância da atmosfera em função do aumento da abundância do vapor d'água (modificado de Green & Conel, 1995).

Comparando-se o espectro de uma folha verde com a transmitância da atmosfera verifica-se uma sobreposição das bandas de absorção da água foliar com a do vapor d'água atmosférico (**Figura 2**). Desta forma, para os alvos vegetais deve-se adicionar a absorção da água foliar no modelo para evitar uma estimativa incorreta do vapor d'água atmosférico (Gao & Goetz, 1990). Assim, Green *et al.* (1991) incorporaram no modelo o cálculo da absorção da água líquida presente na vegetação verde baseando-se na assimetria proveniente da

absorção relativa entre a água atmosférica ($0,94\mu\text{m}$) e a água foliar ($0,98\mu\text{m}$).

A reflectância da superfície é modelada conforme a equação:

$$\rho_c = \alpha + \beta\lambda + \gamma(\text{H}_2\text{O}_f) \quad (1)$$

Onde:

ρ_c = reflectância da superfície a partir da feição da H_2O ;

α = *offset* da reflectância;

β = inclinação da reflectância com relação a um comprimento de onda λ ; e

H_2O_f = água foliar

γ = proporção da absorção da água foliar (H_2O_f).

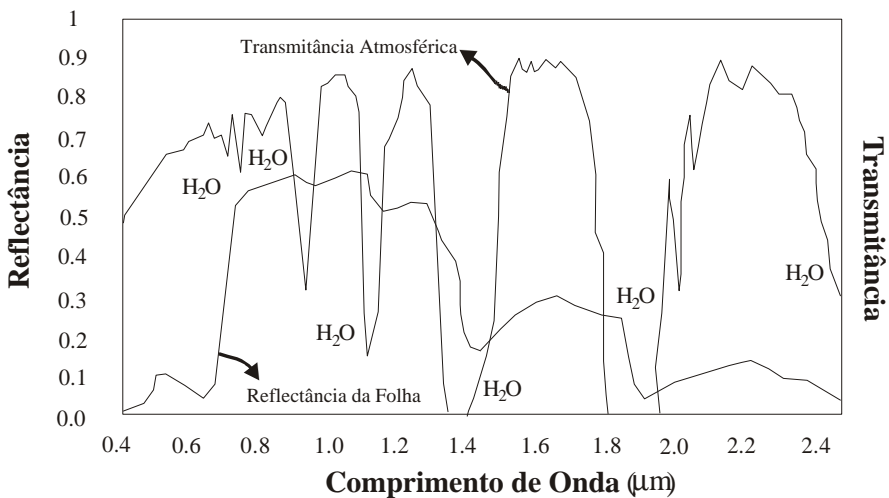


Figura 2 - Espectro obtido em laboratório para folhas de alfa com a transmitância do vapor d'água superimosta (modificado de Green *et al.*, 1991).

A região do espectro utilizada pelo algoritmo é a de $0,85\mu\text{m}$ a $1,10\mu\text{m}$, que inclui tanto a banda de absorção do vapor d'água atmosférico ($0,94\mu\text{m}$) como a de absorção da água foliar ($0,98\mu\text{m}$). Esse intervalo corresponde à 26 bandas do AVIRIS. A feição espectral da água foliar utilizada no algoritmo é apresentada na **Figura 3** (Green *et al.*, 1991).

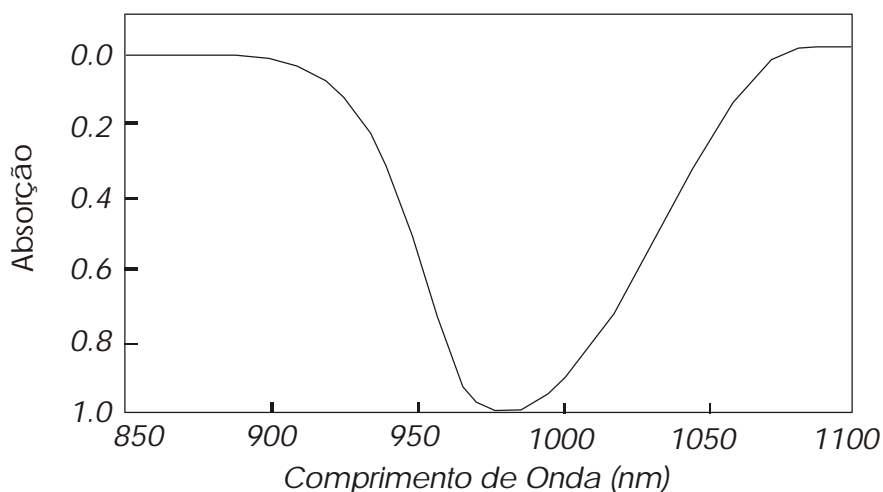


Figura 3 – Feição espectral da Água Foliar (Green *et al.*, 1991).

Uma estimativa da superfície de pressão é requerida para compensar a absorção atmosférica devido à mistura de gases e ao espalhamento atmosférico molecular. Essa estimativa pode ser obtida com o emprego da radiância medida pela banda de absorção de oxigênio em $0,76\mu\text{m}$ (Green *et al.*, 1991; 1993; Goetz *et al.*, 1995). O modelo efetua um ajuste não linear entre a banda de oxigênio obtida pelo AVIRIS e a obtida pelo código MODTRAN, determinando sua abundância. A imagem resultante corresponde a uma superfície isobárica

com valores geopotenciais expressos em metros, que refletem praticamente os valores numéricos da altitude em metros.

A correção atmosférica da imagem AVIRIS pelo Método Green é obtida pelo encadeamento de quatro programas compilados em linguagem FORTRAN. O procedimento operacional do método Green é descrito por Latorre (1998).

MÉTODO ATREM

O método ATREM proporciona a correção atmosférica para as imagens dos sensores AVIRIS e HYDICE, sendo passível de adaptação para uso em outros sensores. O ATREM utiliza um modelo de transferência radiativa atmosférica, que inicialmente era o código 5S (Gao *et al.*, 1993) e, posteriormente, passou a ser o código 6S (Gao *et al.*, 1999), conciliado com o modelo espectral Malkmus de banda estreita (Malkmus, 1967). Esse método considera as variações espaciais e temporais do vapor d'água, com base nas feições de 0,94 μm e 1,14 μm (Gao *et al.*, 1993). No entanto, esse procedimento é susceptível a erro devido à interferência de feições de absorção da superfície terrestre próximas das feições utilizadas para a derivação do vapor d'água (0,94 μm e 1,14 μm). Desta forma, Clark *et al.* (1995) propuseram, para determinadas superfícies, bandas específicas para a discriminação do vapor d'água a partir do espectro do AVIRIS. A **Tabela 1** apresenta, as posições e larguras centrais das feições de absorção, bem como as janelas para a derivação da coluna de vapor d'água sobre vegetação, neve (ou gelo), rochas, solos e minerais (excluindo os solos ricos em ferro).

As superfícies ricas em minerais de Fe^{3+} apresentam nos seus espectros uma larga feição de absorção, entre 0,75 μm a 1 μm , não permitindo uma remoção

completa do efeito do vapor d'água em 0,94µm e ocasionando uma adição de 10% de erro na estimativa. Contudo, o emprego da banda 1,14µm de absorção d'água ocasiona pouco erro no modelo, uma vez que as superfícies ricas em ferro, no intervalo de comprimentos de onda 1,0µm e 1,3µm, são próximas da função linear. Desta forma, Gao *et al.* (1999) sugeriram para essas superfícies a utilização apenas da banda de 1,14µm, desconsiderando a banda de 0,94µm.

Tabela 1 – Parâmetros para a derivação da coluna do vapor d'água para diferentes superfícies								
	Gao <i>et al.</i> (1999)		Clark <i>et al.</i> (1995)					
	Padrão recomendado		Vegetação		Neve		Rocha solo e minerais (sem Fe ³⁺)	
	Centro	Largura	Centro	Largura	Centro	Largura	Centro	Largura
Feição 0,94 mm								
Janela1	0.914	3	0.865	3	0.865	3	0.865	3
Janela2	0.9815	3	1.030	3	1.040	3	1.030	3
Absorção	0.943	3	0.935	5	0.945	7	0.940	7
Feição 1.14 mm								
Janela1	1.087	3	1.050	3	1.065	3	1.050	3
Janela2	11.730	3	1.230	3	1.250	3	1.235	3
Absorção	1.125	3	1.130	5	1.140	7	11.375	7

Os métodos ATREM e Green assumem que a superfície é horizontal e que possui uma reflectância Lambertiana. Desta forma, considera-se a superfície do terreno como plana, o que não permite restaurar a reflectância real do terreno. Além disso, terrenos montanhosos podem ser iluminados por espalhamento de uma outra parte do terreno. Esse fenômeno é denominado efeito topográfico adjacente e não é modelado (Gao *et al.*, 1999). O desenvolvimento de métodos de correção com emprego de modelo digital de terreno poderão fornecer melhores resultados.

COMPARAÇÃO DOS ESPECTROS OBTIDOS PELO MÉTODO GREEN E PELO MÉTODO ATREM

A **Figura 4** compara os espectros corrigidos pelos métodos Green e ATREM, considerando os espectros de solo e vegetação. Observa-se que os espectros corrigidos obtidos pelo método ATREM apresentam uma grande similaridade entre si. Esses espectros apresentam resíduos de feições atmosféricas.

Os espectros obtidos pelo método Green apresentam uma melhor performance dos que os obtidos pelo método ATREM. O método Green, por considerar maior número de parâmetros, apresenta melhores resultados, com uma diminuição expressiva do ruído.

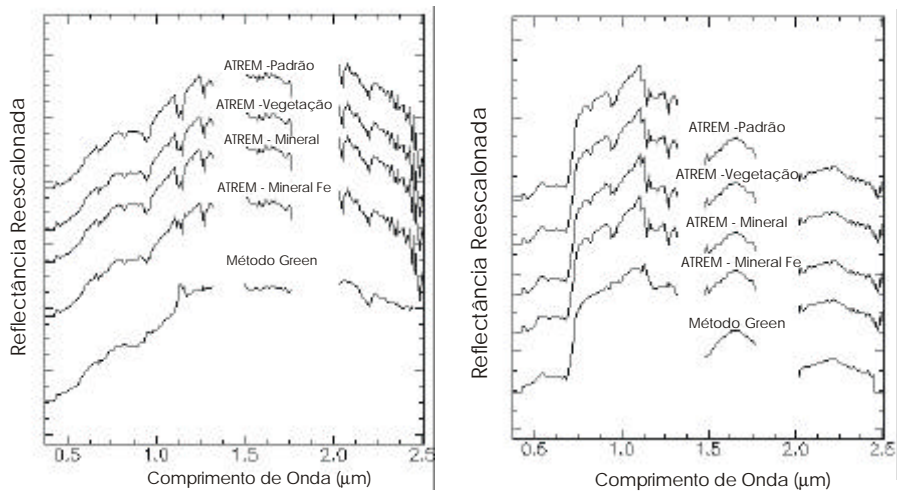


Figura 4 - Espectros corrigidos pelo método Green e ATREM considerando área com: (a) vegetação e (b) solos.

**MÉTODO EFFORT (*EMPIRICAL FLAT FIELD OPTICAL
REFLECTANCE TRANSFORMATION*)**

O EFFORT é utilizado como um tratamento complementar ao da correção atmosférica, permitindo 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).

O EFFORT é similar ao método *Empirical Line* que determina os espectros da imagem por meio de espectros obtidos no campo. No entanto, o EFFORT não utiliza dados verdadeiros de campo e sim “pseudo” espectros de campo, gerados a partir dos próprios dados, que se ajustam a cada espectro observado conforme o modelo paramétrico polinomial de Legendre. Os ganhos e *offsets* para todas as bandas são definidos pela comparação do espectro modelado com as reflectâncias de superfície, empregando os *pixels* com melhor ajuste (ENVI®, 1999).

Opcionalmente, os espectros reais de campo ou provenientes de bibliotecas espectrais, característicos da área de estudo, podem ser adicionados dentro do modelo, permitindo uma definição dos fatores de correção e ou *offsets* mais precisos. Desta forma, os espectros modelados são criados por combinação linear a partir dos espectros de Legendre e dos verdadeiros (ENVI®, 1999).

Para o emprego do EFFORT deve-se eliminar os intervalos de comprimento de onda que contêm ruídos como os próximos à banda de vapor d'água (1,4 μ m e 1,9 μ m) e às bandas de O₂ e CO₂ superestimadas e subestimadas.

O grau do polinômio de Legendre deve ser determinado por tentativa e erro de forma a obter um ajuste dos dados reais e uma eliminação das feições errôneas. Um polinômio de baixo grau provoca o achatamento do espectro permitindo uma maior supressão de erros, no entanto, pode eliminar algumas feições espectrais. Os polinômios de maiores graus permitem um melhor ajuste à curva espectral, porém podem também se ajustar às feições errôneas. Cada segmento da curva pode ser modelado com um grau polinomial específico.

O método EFFORT foi testado sobre os espectros obtidos pelo método Green como pelo método ATREM utilizando diferentes graus de polinômio (5°, 10°, 15° e 20°) com a finalidade de encontrar o grau ideal para cada faixa do espectro. A **Figura 5** apresenta os resultados do método EFFORT para espectros da imagem relativos à vegetação, solo caulínítico e minerais de garnierita.

O emprego do EFFORT sobre as curvas espectrais corrigidas pelo método ATREM proporcionou uma intensa suavização do espectro diminuindo efetivamente o efeito do ruído presente. A utilização do polinômio de 5° ocasiona uma suavização muito intensa obliterando, em alguns, casos a feição de absorção, enquanto que o de 20° retém ainda muito ruído. Desta forma, o grau de polinômio mais adequado situa-se entre os valores 15° e 10°.

Devido à boa correção do método Green observa-se que o emprego do EFFORT altera pouco o comportamento das curvas. Como a partir do método Green são obtidos espectros com menos ruído, a utilização do EFFORT pode ser realizada com polinômios de grau maiores, como 20° e 15°. Desta forma, o melhor método de correção atmosférica foi o do Green, que pode ser aperfeiçoado pelo emprego do EFFORT.

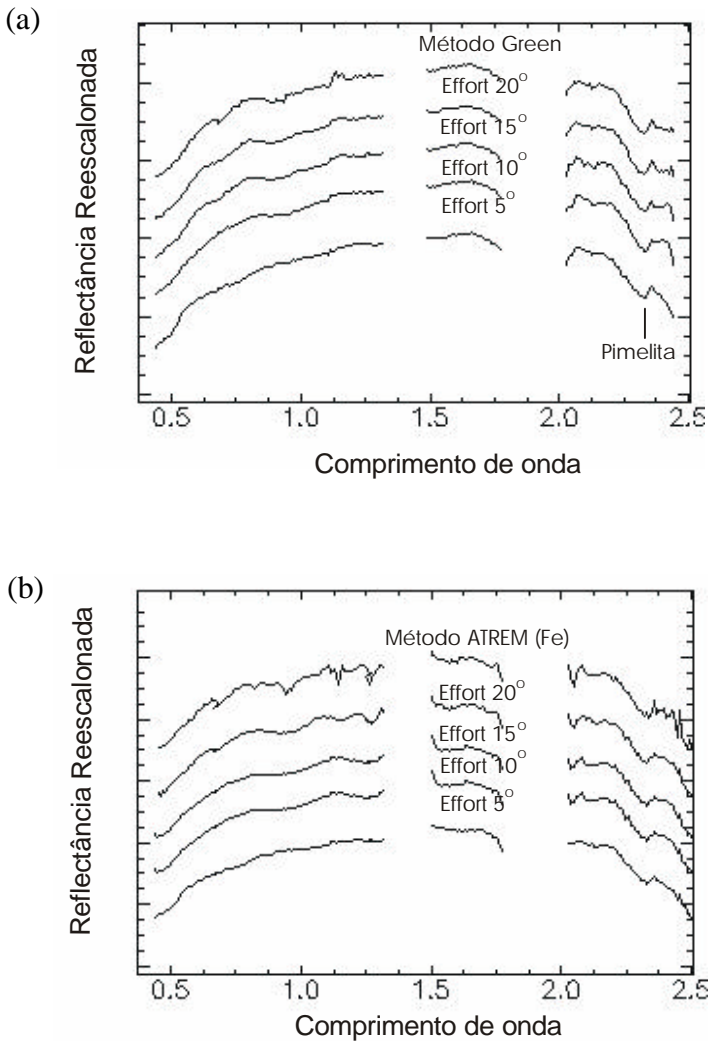


Figura 5 - Efeitos do emprego do EFFORT sobre espectros corrigidos pelo: (a) método Green e (b) método ATREM considerando superfícies com Fe^{3+} .

O emprego de espectros de referência no procedimento EFFORT possibilitou uma suave melhora nos espectros da mina da Fazenda. A **Figura 6** apresenta o comportamento para um espectro da imagem da mina corrigida pelo ATREM com a presença das feições do Fe^{+3} e da ligação Al-OH da caulinita.

CONCLUSÕES

Dentre as principais implicações dos métodos testados de correção atmosférica destacam-se:

- ◆ O método Green obtém uma melhor estimativa para o espectro observado do que o método ATREM.
- ◆ O método ATREM é mais rápido, porém apresenta resultados mais ruidosos. Para a remoção dos ruídos, deve ser complementado com o método EFFORT;
- ◆ No método EFFORT os melhores resultados foram obtidos utilizando polinômios de graus entre 15° a 10° sobre espectros tratados com o ATREM.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) pela cessão das imagens e aos seus pesquisadores, Moacir Godoy Jr e Júlio Cesar Lima D'Alge, pelo apoio durante o emprego do método Green.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, G. P., Wang, J. & Chetwynd, J. H. (1995). MODTRAN3: An Update and Recent Validations Against Airborne High Resolution Interferometer Measurements, in: *Summaries of Fifth Annual JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publ. 95-1, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, Vol. 1, p. 5-8.

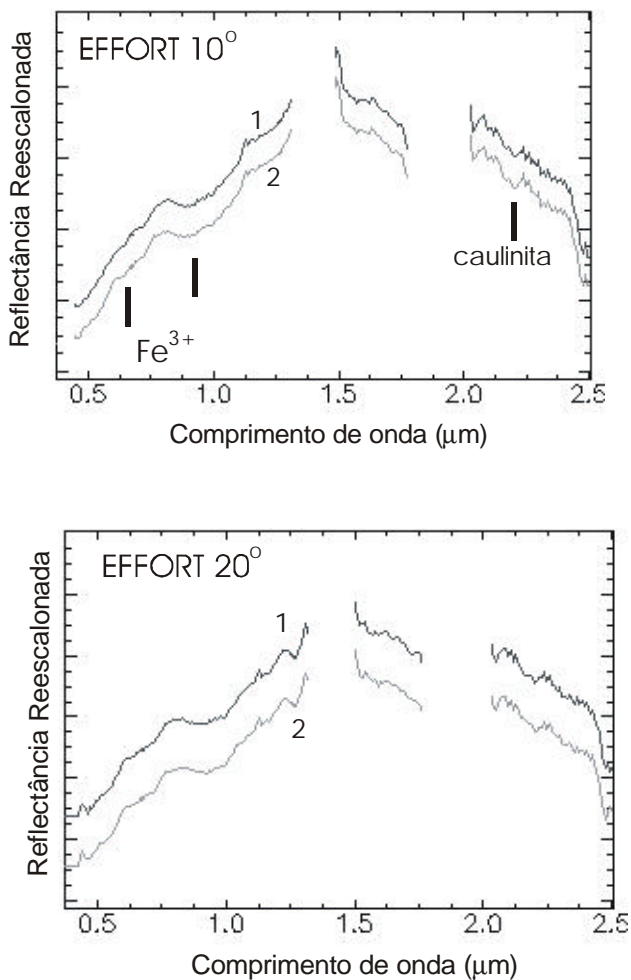


Figura 6 - Emprego do método EFFORT sobre espectros da imagem AVIRIS corrigidas pelo ATREM de superfícies com Fe³⁺ utilizando graus de polinômio (a) 10° e (b) 20°. Nos gráficos observam-se os espectros corrigidos (1) sem o emprego de espectros de referência e (2) com o emprego de espectros de referência.

- Berk, A., Bernstein, L. S. & Robertson, D. C. (1989). MODTRAN: A moderate resolution model for LOWTRAN7, Final report, GL-TR-0122, AFGL, Hanscomb AFB, MA, 42p.
- Boardman, J. W. (1998). 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*, JPL Publ. 97-21, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, Vol. 1, p.53.
- Carrere, V. & Conel, J. E. (1993). Recovery of atmospheric water vapor total column abundance from imaging spectrometer data around 940nm sensitivity analysis and application to Airborne Visible / Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) data, *Remote Sens. Environ.* 44:179-204.
- Carvalho Júnior, O. A. (2000). Avaliação e Desenvolvimento de Métodos de Processamento de Imagens Hiperespectrais – Análise em Depósito de Níquel (Niquelândia, GO). Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 262p.
- Clark, R. N., Swayze G. A., Heidebrecht, K. B., Green, R. O. & Goetz, A. F. H. (1995). Calibration to surface reflection of terrestrial imaging spectrometry data: comparison of methods, in: *Summaries of the Fifth Annual JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publ. 95-1, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, Vol. 1 p.41-42.
- Conel, J. E., Green, R. O., Alley, R.E, Bruegge, C. J., Carrere, V., Margolis, J. S., Vane, G., Chrien, T. G., Slater, S. F., Biggar, S. F., Teillet, P. M., Jackson, R. D. & Moran. M. S. (1988). In-flight radiometric calibration of the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS), in: *Proceedings SPIE Conference on Recent Advances on Sensors, Radiometry and Data Processing for Remote Sensing*, 924, 168-178.
- ENVI®. (1999). ENVI Extensions User's Guide, Better Solutions Consulting Limited Liability Company. Lafayette, Colorado, USA, 9p.

- Gao, B.-C. & Goetz, A. F. H. (1990). Column atmospheric water vapor and vegetation liquid water retrievals from airborne imaging spectrometer data, *J. Geophys. Res.*, 95, 3549-3564.
- Gao, B.-C., Heidebrecht, K. B. & Goetz, A. F. H. (1993). Derivation of scaled surface reflectances from AVIRIS data. *Remote Sens. Environ.* 44:165-178.
- Gao, B.-C., Hiedebrecht, K. B., & Goetz, A. F. H. (1999). Atmosphere Removal Program (ATREM). User's Guide version 3.1. 101p.
- Goetz, A. F. H., Heidebrecht, K. B. & Chrien, T. G. (1995). High Accuracy In-Flight Wavelength Calibration of Imaging Spectrometry Data, in: *Proc. Fifth Annual Airborne GeoScience Workshop*, JPL Publ. 95-1, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, Vol.1, p. 67-70.
- Green, R. O. (1990). Retrieval of Reflectance from Calibrated Radiance Imagery Measured by the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) for Lithological Mapping of Clark Mountains, California, in: *Proceedings of the Second Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop*, JPL Publ. 90-54, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, Vol. 1, p. 167-175.
- Green, R. O. & Conel, J. E. (1995). Movement of Water Vapor in The Atmosphere Measured by an Imaging Spectrometer at Roger Dry Lake, CA, in: *Proc. Fifth Annual Airborne GeoScience Workshop*, JPL Publ. 95-1, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, Vol. 1, p. 79-82.
- Green, R. O., Conel, J. E., Margolis, J. S., Bruegge, J. & Hoover, G. L. (1991). An inversion algorithm for retrieval at atmospheric and leaf water absorption from AVIRIS radiance with compensation for atmospheric scattering, In: *Proceedings of the Third Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop*, JPL Publ. 91-28, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, Vol.1, p. 51-61.

- Green, R. O., Conel, J. E. & Roberts, D. A. (1995). Measurement of Atmospheric Water Vapor, Leaf, Liquid Water and Reflectance with AVIRIS in the Boreal Exosystem – Atmosphere Study: Initial Results, in: *Proc. Fifth Annual Airborne GeoScience Workshop*, JPL Publ. 95-1, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, Vol. 1, p.87-90.
- Green, R. O., Eastwood, M. L., Sarture, C. M., Chrien, T. G., Aronsson, M., Chippendale, B. J., Faust, J. A., Pavri, B. E., Chovit, C. J., Solis, M., Olah, M. R. & Williams O. (1998). Imaging Spectroscopy and the Airborne Visible / Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS). *Remote Sens. Environ.* 65:227-248
- Green, R. O., Conel, J. E. & Roberts, D. A. (1993). Estimation of Aerosol Optical Depth, and Additional Atmospheric Parameters for the Calculation of Apparent Reflectance from Radiance Measured by the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer, in: *Proc. Fourth Annual Airborne GeoScience Workshop*, JPL Pub. 93-26, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, Vol.1, p.83-86.
- Green, R. O., Vane, G. & Conel, J. E. (1988). Determination of aspects of the in-flight spectral, radiometric, spatial and signal to noise performance of Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer over Mountain Pass, CA, in: *Proceeding of the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop*, JPL Pub. 88-38, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, Vol.1, p.162-184.
- Kaufman, Y. J., Hobbs, P. V., Kirchoff, V. W. J. H., Artaxo, P., Remer, L. A., Olben, B. N., King, M. D., Ward, D. E., Prins, E. M., Longo, K. M., Mattos, L. F., Nobre, C. A., Spinhirne, J. D., Ji, Q., Thompson, A. M., Gleason, J. F., Christopher, S. A. & Tsay S.-C. (1998). Smoke, Clouds and Radiation-Brazil (Scar-B) experiment. *J. Geophys. Res.*, Vol. 103, No. D24. p.31.783-31.808.
- Kneizys, F. X., Shettle, E. P. & Abreu, L. W. (1988). Users guide to LOWTRAN7, AFGL-TR-8-0177, Air Force Geophys. Lab. Bedford, MA, 136p.

- Latorre, M. F. (1998). Utilização de um método de correção atmosférica para o processamento de dados hiperespectrais do sensor AVIRIS em regiões tropicais. Tese de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos (SP), Brasil, 202p.
- Malkmus, W. (1967). Random Lorentz band model with exponential-tailed S line intensity distribution function, *J. Opt. Soc. Am.*, 57: 323-329.
- Tanré, D., Deroo, C., Duhaut, P., Herman, M., Morcrette, J. J., Perbos, J. & Deschamps, P. Y. (1990). Description of a Computer Code to Simulated the Satellite Signal in the Solar Spectrum: The 5S Code. *Int. J. Remote Sens.*, 11(4):659-668.
- Vane, G., Chrisp, M., Enmark, H., Macenka, S. & Solomon, J. (1984). Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS): an advanced tool for earth remote sensing, in: *Proc. Int. Geosci. Remote Sensing Symp.*, SP215, IEEE, New York, p. 751-757.
- Vane, G. (1987). First results from the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS), *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng. (SPIE)*, 834:166-174.
- World Meteorological Organization - WMO. (1986). A preliminary cloudless standard atmosphere for radiotion computation. World Climatic Program, WCP-112, WMO/ TD n° 24.