

## ANÁLISE COMPARATIVA DOS PRINCIPAIS MÉTODOS PARA CORREÇÃO ATMOSFÉRICA DE IMAGENS HIPERESPECTRAIS AVIRIS

MARCELO LATORRE<sup>1</sup>  
OSMAR ABÍLIO DE CARVALHO JÚNIOR<sup>2</sup>  
LUIZ ALBERTO VIEIRA DIAS<sup>3</sup>  
PAULO ROBERTO MENESES<sup>4</sup>

- 1- Instituto de Estudos Avançados – IEAv – Centro Técnico Aeroespacial – CTA  
Rodovia dos Tamoios, Km 5,5, São José dos Campos, SP, Brazil – latorre@ieav.cta.br
- 2 - Departamento de Geografia - Universidade de Brasília (UnB)- Campus Universitário  
Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF, Brasil osmana@tba.com.br
- 3 - UNIVAP - Universidade do Vale do Paraíba. Rua Shishima Hifumi, 2911, 12244-000  
São José dos Campos, SP, Brasil – vdias@univap.br
- 4 - Instituto de Geociências - Universidade de Brasília (UnB)- Campus Universitário Darcy  
Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF, Brasil

**Abstract:** The present work deals with a comparative analysis of the two main atmospheric correction methods for AVIRIS hyperspectral imagery: 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.

### 1 Introdução

A utilização de imagens de sensores com 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 de correção atmosférica desenvolvidos para imagens multiespectrais caracterizam-se por serem modelos do tipo ordinário discreto onde obtém-se 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, onde é realizado um tratamento específico de pixel para pixel (Carvalho Jr., 2000). Este 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. 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 conceito de absorção diferencial tem sido usado por vários autores com objetivo de restaurar os efeitos da interferência atmosférica para imagens hiperespectrais, principalmente, para os valores de vapor d'água (Green, 1990, Carrere & Conel, 1993, Barducci & Pippi, 1995, Gao *et al.*, 1993a e b). Essa nova concepção foi possível devido ao aumento da resolução espectral das imagens hiperespectrais que permite, por meio das feições de absorção dos gases, reconstituir sua quantidade e seu efeito.

Os modelos desenvolvidos para as imagens hiperespectrais geralmente adicionam em sua formulação códigos de transferência radiativa atmosférica, amplamente utilizados para a correção de imagens multiespectrais. Dentre os códigos de transferência radiativa atmosférica os mais difundidos são: 5S, 6S, LOWTRAN e MODTRAN.

## 2 Métodos para Correção Atmosférica de Imagens Hiperespectrais AVIRIS

Os métodos mais difundidos para a correção atmosférica de imagens hiperespectrais são: a) método Green, b) método ATREM (ATmosphere REMoval program), e c) método de transferência radiativa com adição de um método de ajuste ou calibração de superfície.

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, 1993b,c). Inicialmente, Green (1990) utilizou o código de transferência radiativa LOWTRAN (Kneizys *et al.*, 1988), que foi, posteriormente substituído por Green *et al.* (1993b,c) pelo MODTRAN 3 (Berk *et al.*, 1989; Anderson *et al.*, 1995). Os procedimentos operacionais do método Green é descrito por Latorre (1998).

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.*, 1997 e 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 $\mu\text{m}$  e 1,14  $\mu\text{m}$  (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 $\mu\text{m}$  e 1,14 $\mu\text{m}$ ). Desta forma, Clark *et al.* (1996) propuseram, para determinadas superfícies, bandas específicas para a discriminação do vapor d'água a partir do espectro do AVIRIS. A Tabela 1 apresenta, para as feições de absorção, as posições e larguras centrais, 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<sup>3+</sup> apresentam nos seus espectros uma larga feição de absorção, entre 0,75 $\mu\text{m}$  a 1 $\mu\text{m}$ , não permitindo uma remoção completa do efeito do vapor d'água em 0,94 $\mu\text{m}$  e ocasionando uma adição de 10% de erro para a estimativa. Contudo, o emprego da banda 1,14 $\mu\text{m}$  de absorção d'água ocasiona pouco erro no modelo pois as superfícies ricas em ferro no intervalo de comprimentos de onda 1,0 $\mu\text{m}$  e 1,3 $\mu\text{m}$  são

próximas da função linear. Desta forma, Gao *et al.* (1999) sugeriram para essas superfícies a utilização apenas da banda de 1,14 $\mu$ m, desconsiderando a banda de 0,94 $\mu$ m.

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.*,1997). A elaboração de métodos de correção com emprego de modelo digital de terreno poderão fornecer melhores resultados.

No terceiro procedimento, que adiciona-se um método de ajuste ou calibração de superfície, destaca-se o emprego do algoritmo EFFORT (Empirical Flat Field Optical Reflectance Transformation) que possibilita amenizar os eventuais erros ainda remanescentes da etapa da correção. Esse método possui a opção de utilizar ou não espectros de campo.

Desta forma, o presente trabalho compara o Método Green e o ATREM e como procedimento complementar de ajuste é avaliado o método EFFORT.

Tabela 1 - Parâmetros para a derivação da coluna do vapor d'água para diferentes superfícies								
	Gao <i>et al.</i> (1997)		Clark <i>et al.</i> (1996)					
	Padrão recomendado		Vegetação		Neve		Rocha solo e minerais (sem Fe <sup>3+</sup> )	
	Centro	Largura	Centro	Largura	Centro	Largura	Centro	Largura
<b>Feição 0,94 mm</b>								
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
<b>Feição 1.14 mm</b>								
Janela1	1.087	3	1.050	3	1.065	3	1.050	3
Janela2	1.1730	3	1.230	3	1.250	3	1.235	3
Absorção	1.125	3	1.130	5	1.140	7	1.1375	7

### 3 Comparação dos Espectros Obtidos pelo Método de Green e pelo Método ATREM

A Figura 1 compara espectros de vegetação e caulinita corrigidos pelo método ATREM segundo diferentes superfícies e o método Green. Observa-se que os espectros corrigidos pelo método ATREM considerando várias superfícies apresentam uma grande similaridade

entre si com intensa presença de resíduos de feições atmosféricas. Os espectros obtidos pelo método Green apresenta uma melhor performance dos que os obtidos pelo método ATREM.

A maior eficiência do método Green é proveniente de sua formulação mais robusta que considera maior números de parâmetros.

#### 4 Análise do Emprego do EFFORT

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).

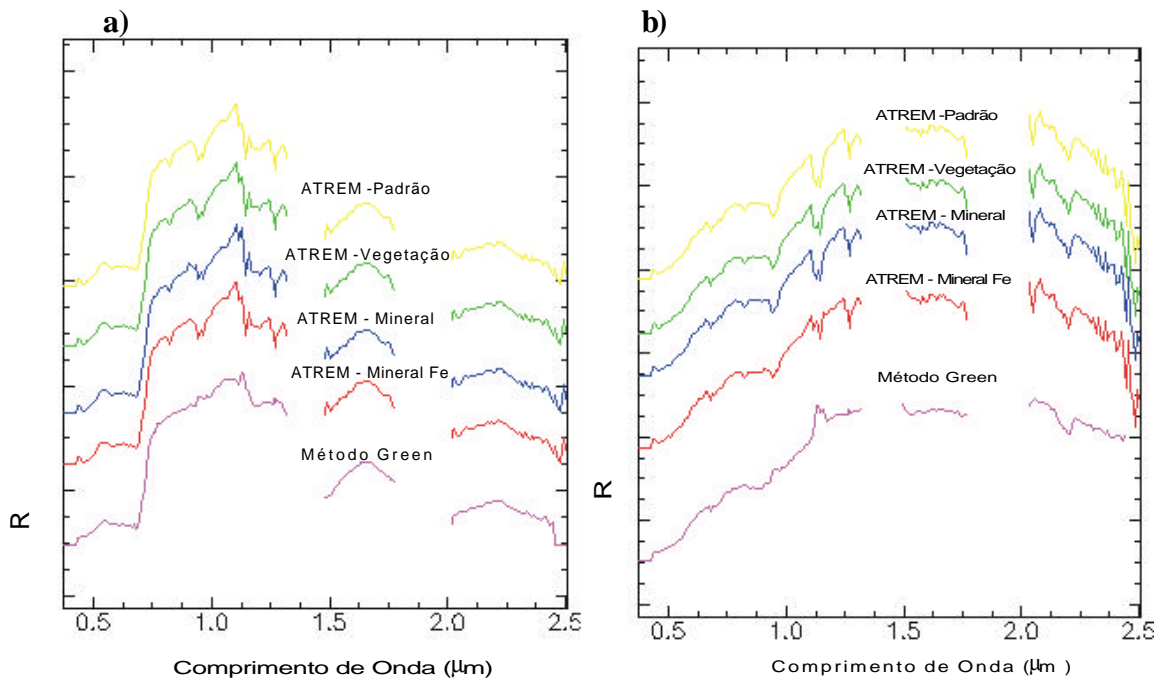


Figura 1 - Espectros corrigidos pelo método Green e ATREM considerando as diferentes superfícies para os seguintes alvos: a) vegetação e b) solos caulínicos.

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 ajustam-se 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 a banda de vapor d'água 1,4 $\mu$ m e 1,9 $\mu$ m e às bandas de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> 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 a curva espectral, porém podem também ajustar-se à 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<sup>o</sup>, 10<sup>o</sup>, 15<sup>o</sup> e 20<sup>o</sup>) com a finalidade de encontrar o grau ideal para cada faixa do espectro. A Figura 2 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 proporciona uma intensa suavização do espectro diminuindo efetivamente o efeito do ruído presente. A utilização do polinômio de 5<sup>o</sup> ocasiona uma suavização muito intensa obliterando, em alguns, casos a feição de absorção, enquanto que o de 20<sup>o</sup> retém ainda muito ruído. Desta forma, o grau de polinômio mais adequado situa-se entre os valores 15<sup>o</sup> e 10<sup>o</sup>.

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<sup>o</sup> e 15<sup>o</sup>. Desta forma, o melhor método de correção atmosférica é o Green, que pode ser aperfeiçoado pelo emprego do EFFORT.

A adição no método EFFORT de espectros de referência de campo ou bibliotecas espectrais ocasionam uma pequena melhora no resultado final (Figura 3).

## 5 Conclusões

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

- método Green obtém uma melhor estimativa para o espectro observado do que o método ATREM.
- 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 disposição das imagens e aos seus pesquisadores Moacir Godoy Jr e Júlio Cesar Lima D'Alge pelo apoio dispensados durante o emprego do método Green.

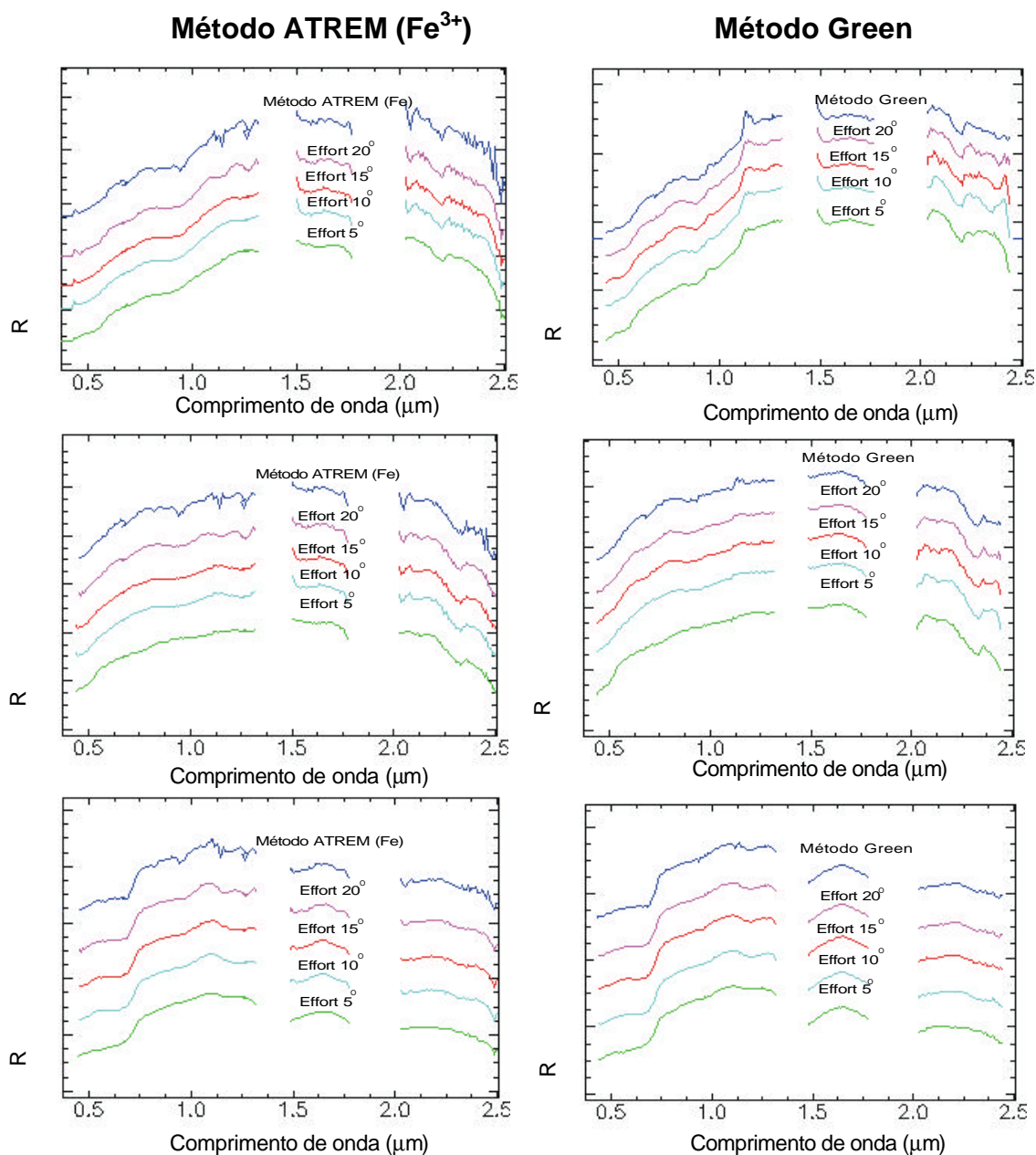


Figura 2 - Efeitos do emprego do EFFORT sobre espectros corrigidos pelo método Green e o ATREM considerando superfícies com Fe<sup>3+</sup>.

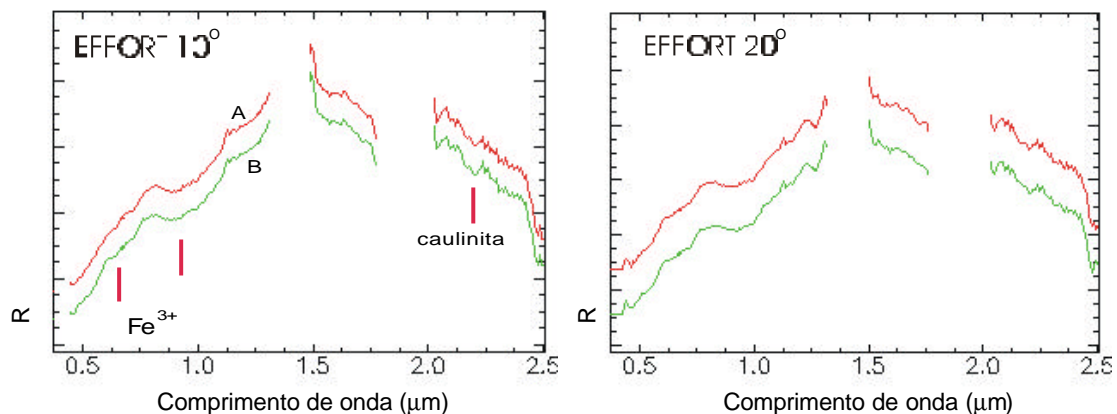


Figura 3 - Comparação do método EFFORT com e sem o emprego de curvas de referência sobre espectros corrigidos pelo método ATREM considerando superfícies com  $\text{Fe}^{3+}$ : a) sem o emprego de curvas de referência e b) com o emprego de curvas de referência.

### Referências Bibliográficas

- Anderson, G. P.; Wang, J. & Chetwynd, J. H., 1995, MODTRAN3: An Update and Recent Validations Against Airborne High Resolution Interferometer Measurements. *Summaries of Fifth Annual JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL 95-1, Vol. 1: AVIRIS Workshop, pp. 5-8.
- Barducci, A. & Pippi, I., 1995, Retrieval of Atmospheric Parameters from Hyperspectral Image Data, *IEEE*, pp.138-140.
- 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, 42pp.
- Boardman, J. W., 1993, Automated spectral unmixing of AVIRIS data using convex geometry concepts: In: *Summaries of the 4<sup>th</sup> Annual JPL Airborne Geoscience Workshop*, JPL Publication 93-26, Vol. 1, pp.11-14.
- 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 Jr., 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 (inédito)
- Clark, R. N.; Swayze G. A.; Heidebrecht, K. B.; Green, R. O. & Goetz, A. F. H., 1996a, Calibration to surface reflection of terrestrial imaging spectrometry data: comparison of methods, submetido para *Applied Optics*
- ENVI ®, 1999, ENVI Extensions User's Guide, Better Solutions Consulting Limited Liability Company. Lafayette, Colorado, USA, 9 pp.

- Gao, B.-C.; Goetz A. F. H. & Zamudio, J. A., 1993a 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.
- Gao, B.-C.; Heidebrecht, K. B. & Goetz, A. F. H., 1993b, Derivation of scaled surface reflectances from AVIRIS data. *Remote Sens. Environ.* 44:165-178.
- Gao, B.-C.; Hiedebrecht, K. B., & Goetz, A. F. H., 1997, Atmosphere Removal Program (ATREM) User's Guide version 3.0 pp.21.
- Gao, B.-C.; Hiedebrecht, K. B., & Goetz, A. F. H., 1999, Atmosphere Removal Program (ATREM) User's Guide version 3.1 pp.101.
- 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 Pub. 90-54, pp. 167-175.
- Green, R. O.; Conel, J. E. & Roberts, D. A., 1993b, Estimation of Aerosol Optical Depth, Pressure Elevation, Water vapor and Calculation of Apparent Surface Reflectance from Radiance measured by the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Using a Radiative Transfer Code", SPIE vol. 1937, Imaging Spectrometry in the Terrestrial Environment, G. Vane Editor, 2.11.
- Green, R. O.; Conel, J. E. & Roberts, D. A., 1993c, 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 Public 93-26, pp.83-86.
- 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 Publication 91-28, pp. 51-61.
- Kneizys, F. X.; Shettle, E. P. & Abreu, L. W., 1988, Users guide to LOWTRAN7, AFGL-TR-8-0177, Air Force Geophys. Lab. Bedford, MA.
- 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.
- 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.