

MEDIÇÕES DE VAPOR DE ÁGUA ATMOSFÉRICO E DA PRESSÃO DE SUPERFÍCIE A PARTIR DE IMAGENS DO SENSOR AVIRIS E SUA RELAÇÃO COM A TOPOGRAFIA NO COMPLEXO DE NIQUELÂNDIA

**Osmar Abílio de Carvalho Júnior¹; Ana Paula Ferreira de Carvalho²;
Renato Fontes Guimarães¹ & Roberto Arnaldo Trancoso Gomes¹**

¹Universidade de Brasília - UnB/GEA/LSIE - Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte - 70910-900, Brasília, DF, Brasil.
{osmarjr, robertogomes, renatofg}@unb.br

²Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA -SBN Quadra 1, bloco “D”, Ed. Palácio do Desenvolvimento, sala 1620 Brasília, DF 70.057-900.
ana.carvalho@incra.gov.br

Recebido 03 de março de 2011, revisado 17 de abril, aceito 28 de maio.

RESUMO - A espectroscopia de imageamento é capaz de detectar as feições de absorção das componentes atmosféricas, fornecendo uma estimativa da quantidade de gases e aerossóis. No presente trabalho a imagem do sensor AVIRIS (Airborne Visible/InfraRed Imaging Spectrometer) é utilizada para estimar a distribuição espacial do vapor d'água e da superfície de pressão. A área de estudo foi o maciço de Niquelândia que apresenta uma acentuada variação altimétrica, com cotas entre 500m e 1.180m. Um modelo digital de terreno (MDT) foi elaborado e comparado com as imagens atmosféricas por meio de regressão linear. A condição de céu límpido, sem presença de nuvens, favoreceu uma alta correlação entre o MDT e os parâmetros atmosféricos. As imagens de erro salientam que as maiores interferências ocorreram nos corpos d'água e no solo exposto.

Palavras chave: espectroscopia de imageamento, hiperespectral, feições de absorção atmosférica, modelo digital de terreno.

ABSTRACT - The imaging spectroscopy is capable to detect the absorption features of the atmospheric components supplying an estimate of the amount of gases and aerosols. In this paper the AVIRIS (Airborne Visible/InfraRed Imaging Spectrometer)

image is used to estimate the spatial distribution of water vapor and surface pressure. The study area was the massive Niquelândia presents a pronounced variation in height, with altitudes between 500m and 1.180m. A digital terrain model (DTM) was developed and compared with atmospheric images using linear regression. The condition of clear sky, without cloud cover, favored a high correlation between the DTM and the atmospheric parameters. The error images show the worst adjustments in water bodies and bare soil.

Keywords: imaging spectroscopy, hyperspectral, atmospheric absorption features, digital elevation model.

INTRODUÇÃO

O advento dos sensores hiperspectrais possibilitou o desenvolvimento de modelos que detectam a pronunciada variabilidade ao longo do tempo, espaço e altitude dos parâmetros atmosféricos. Essa nova concepção foi possível devido à maior resolução espectral que permite reconstituir sua quantidade e seu efeito por meio das feições de absorção dos gases (GREEN, 1990; CARRERE & CONEL, 1993; GAO *et al.*, 1993; SCHMID, 1996). A espectroscopia de imageamento possibilita o desenvolvimento de modelos de correção atmosférica de forma distribuída, em que é realizado um tratamento específico de pixel para pixel. Este avanço foi possível devido à capacidade de detecção das feições de absorção dos elementos atmosféricos pelos sensores hiperspectrais que fornecem uma estimativa da quantidade de gases e aerossóis presentes. Desta forma, é possível descrever, de forma espacial, a distribuição dos componentes atmosféricos como também obter o seu movimento a partir de imageamentos sucessivos em um mesmo local.

Os modelos desenvolvidos para as imagens hiperespectrais geralmente adicionam em sua formulação códigos de transferência radiativa atmosférica (LATORRE, 2002). Os códigos mais difundidos são: 5S - Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum (TANRÉ *et al.*, 1986, 1990), 6S - Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum (VERMOTE *et al.*, 1996), LOWTRAN - Low Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance Model (KNEIZYS *et al.*, 1988) e MODTRAN - Moderate Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance Model (ADLER-GOLDEN *et al.*, 1998; BERK *et al.*, 1989, 1996; GREEN & GAO, 1993). As formulações dos códigos de transferência radiativa atmosférica baseiam-se nas alterações da energia solar durante o percurso Sol-Terra-sensor.

No tratamento de imagens hiperespectrais um dos principais métodos utilizados na correção atmosférica é o método Green (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2002). Esse método 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, 1990, GREEN *et al.*, 1991, 1993a). Inicialmente, Green (1990) utilizou o código de transferência radiativa LOWTRAN (KNEIZYS *et al.*, 1988), que foi posteriormente substituído por Green *et al.* (1993a) pelo MODTRAN 3 (BERK *et al.*, 1989; ANDERSON *et al.*, 1995). Esse algoritmo compensa os seguintes efeitos: absorção dos gases da atmosfera; espalhamento molecular e aerossol; geometria de iluminação solar e geometria de visada da aeronave; e comportamento atmosférico latitudinal e sazonal.

No método Green o modelo para o cálculo do vapor d'água utiliza a radiância

medida em 0,94mm 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 (GREEN *et al.*, 1988, 1991, 1993c, 1995; GREEN & CONEL, 1995).

No entanto, 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). Green *et al.* (1991) incorporaram no modelo o cálculo da absorção da água foliar baseando-se na assimetria proveniente da absorção relativa entre a água atmosférica (0,94mm) e a água foliar (0,98mm).

Uma estimativa da pressão de superfície é requerida para compensar a absorção atmosférica devido à mistura de gases e do espalhamento atmosférico molecular. Essa estimativa pode ser obtida com o emprego da radiância medida pela banda de absorção de oxigênio em 0,76 mm (GREEN *et al.*, 1991; GREEN *et al.*, 1993b; GOETZ *et al.*, 1995). O modelo efetua um ajuste não linear entre a banda de oxigênio obtida pela imagem hiperespectral 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.

O presente trabalho tem como objetivo demonstrar as relações existentes entre a pressão de superfície e do vapor d'água provenientes de imagens do sensor Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) com a

topografia obtida pelo Modelo Digital de Terreno. A área de estudo corresponde ao Maciço Máfico-Ultramáfico de Niquelândia, localizado no município de Niquelândia (GO), contendo significativa variação topográfica (**Figura 1**). Durante a missão SCAR-B (Smoke, Clouds and Radiation - Brazil) (KAUFMAN *et al.*, 1998), o sensor AVIRIS sobrevoou a região de Niquelândia no dia 16 de agosto de 1995.

METODOLOGIA

A metodologia pode ser subdividida em três etapas: (a) confecção do modelo digital de terreno (MDT); (b) processamento da imagem AVIRIS pelo método Green gerando as imagens de vapor d'água e pressão de superfície; e (c) comparação por regressão linear entre as imagens dos parâmetros atmosféricos e o MDT.

CONFECÇÃO DO MODELO DIGITAL DE TERRENO

O Modelo Digital de Terreno (MDT) da área foi confeccionado a partir das curvas de nível da carta 1:100.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), adensadas a partir de três cartas topográficas 1:10.000 confeccionadas pela Companhia Rio Tocantins para a unidade geológica ultramáfica, visando o detalhamento para fins prospectivos (**Figura 2**). Esses dados foram corrigidos e posteriormente interpolados pelo módulo TOPOGRID desenvolvido por Hutchinson (1989) e presente no programa ArcInfo (ESRI, 1990). As unidades geológicas do maciço estabelecem um forte controle geomorfológico para a área. O complexo de Niquelândia apresenta um comportamento fisiográfico bem destacado, com cotas entre 500m e 1.180m, em relação às áreas

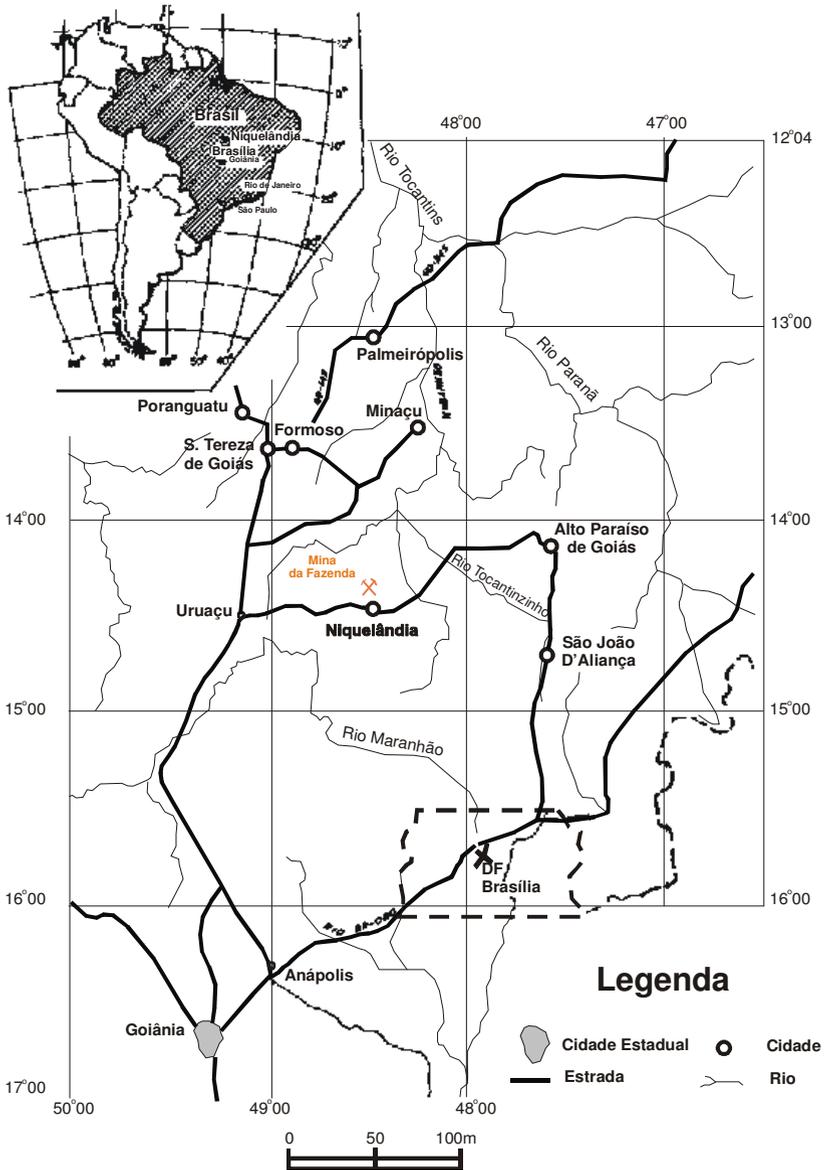


Figura 1. Mapa de localização do Maciço Máfico - Ultramáfico de Niquelândia.

circunvizinhas do Grupo Araxá, a leste, e a sequência vulcano - sedimentar de Indaianópolis, a oeste, com cotas entre 400m e 500m.

As conformações das duas principais serras com as unidades geológicas são bastante nítidas. A serra da Mantiqueira, situada a leste, posiciona-se sobre a unidade ultramáfica que, devido a processos supergênicos, gerou silcretos

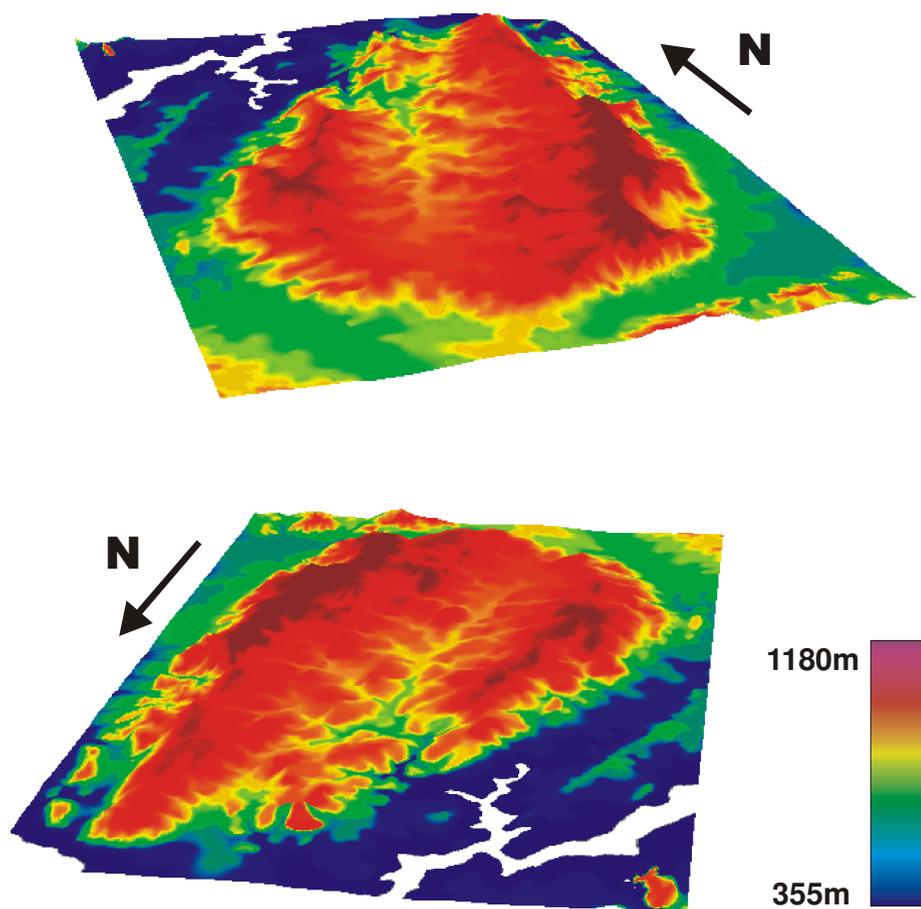


Figura 2. Modelo Digital de Terreno do Complexo de Niquelândia.

resistentes ao intemperismo. A serra dos Borges posiciona-se sobre a unidade geológica homônima, constituída por rochas anortosíticas. Entre as duas serras desenvolveu-se um vale sobre a unidade máfica, que é mais susceptível aos processos intempéricos, com cotas entre 600m a 700m. Os lineamentos relativos às feições tectônicas com direção N e N10E controlam a rede de drenagem.

EMPREGO DO MÉTODO GREEN

No presente trabalho foram utilizadas duas cenas do AVIRIS, abrangendo uma área de 12.280m por 20.240m. O sensor AVIRIS adquire espectros praticamente contínuos ao longo da faixa espectral do visível e infravermelho refletido, ou seja, de 0,4 a 2,5 μm (VANE *et al.*, 1984). O método Green foi aplicado nestas imagens gerando as imagens de reflectância corrigidas do efeito atmosférico (reflectância de superfície) e imagens denominadas de vapor, líquido e sólido (VLS).

Uma das formas de avaliar a eficiência da correção atmosférica é por meio da análise das imagens VLS. As imagens de vapor d'água e da pressão de superfície devem apresentar um padrão homogêneo, sem a existência de mudanças bruscas. Desta forma, quanto maior for o grau de homogeneidade, melhor será o processo de correção (LATORRE, 1998).

COMPARAÇÃO ENTRE O VAPOR D'ÁGUA E A PRESSÃO DE SUPERFÍCIE COM O MDT

As imagens relativas ao vapor d'água e a pressão de superfície foram comparadas com o MDT a partir do emprego de regressão linear. Para uma análise mais acurada das localidades com menor ajuste foi confeccionado uma imagem do erro padrão da regressão linear. Desta forma, foram comparados

os valores de vapor d'água obtidos com o sensor AVIRIS com os valores previsíveis de vapor d'água segundo a regressão linear utilizando o MDT. A equação que descreve o erro padrão é descrita como:

$$E = \sqrt{\sum (y_r - y_t)^2} \quad (1)$$

Em que o valor de “E” é o erro padrão, “ y_r ” é o elemento real obtida pela imagem do AVIRIS, e “ y_t ” é o valor teórico obtido pela regressão linear.

RESULTADOS

A correção das imagens AVIRIS pelo método Green apresenta pequenas interferências provenientes dos materiais da superfície. As maiores interferências estão situadas nos corpos d'água e nas estradas (solo exposto) que se apresentam como lineamentos na imagem.

As imagens de vapor d'água e da pressão de superfície apresentam comportamentos antagônicos, isto é, quanto maior a quantidade de vapor d'água, menor a pressão de superfície. Pelo emprego do gráfico de dispersão observa-se que a banda da pressão de superfície apresenta uma íntima relação matemática com a banda de vapor d'água. A função polinomial de segunda ordem é a que melhor descreve essa relação (**Figura 3**).

Devido a inexistências de nuvens durante a aquisição da imagem, observa-se pela simples sobreposição das imagens atmosféricas sobre o MDT da área o ajuste destas variáveis (**Figura 4**). Observa-se uma correlação positiva entre o relevo e a pressão de superfície e uma correlação negativa com o vapor d'água. As imagens evidenciam que as áreas de menor concordância estão restritas aos lagos e aos solos expostos. As áreas de vegetação apresentaram um melhor

ajuste devido ao tratamento específico que elimina a influência da água foliar. A partir de uma regressão linear entre estes parâmetros observa-se um coeficiente de correlação de 0,80 (**Figura 5**).

A imagem de erro padrão evidencia que as principais áreas que não tiveram um bom ajuste estão contidas na porção oeste da imagem e nas superfícies relativas às represas, lago de rejeito e solo exposto (**Figura 6**). Utilizando o diagrama de dispersão entre as variáveis atmosférica e o MDT observa-se que as áreas com erros provenientes dos materiais superficiais possuem uma alta

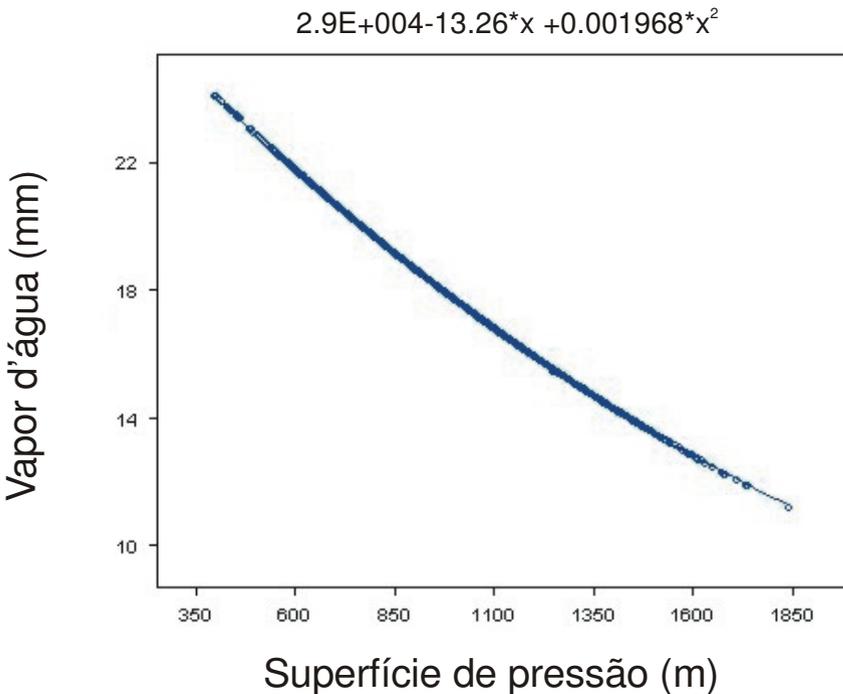


Figura 3 – Gráfico de dispersão entre a banda de vapor d'água e a banda da elevação por pressão de superfície conforme uma equação polinomial de segunda ordem.

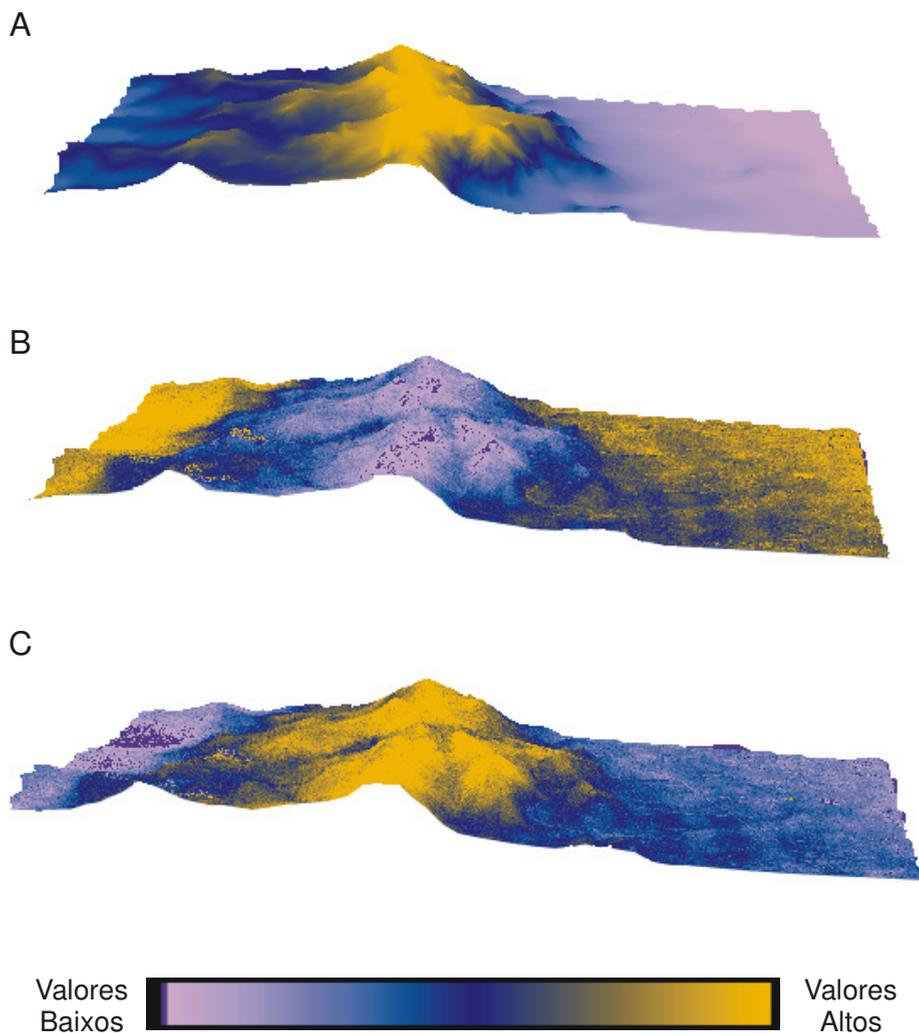


Figura 4. Modelo Digital de Terreno da área de estudo com sobreposição: a) da hipsometria da área, b) da imagem de vapor d'água e c) da imagem da elevação da pressão de superfície. Observa-se uma forte correlação inversa entre os dois primeiros parâmetros.

variância no eixo dos parâmetros atmosféricos e valores constantes de altitude, adquirindo um aspecto linear perpendicular ao eixo da altimetria (**Figura 7**). Em contraposição, a porção oeste apresenta uma segunda distribuição de pontos paralela à distribuição principal da imagem representando um aumento local da concentração de vapor d'água.

A partir do conhecimento dos dois conjuntos de dados podem-se realizar novas regressões específicas para cada conjunto de dados (**Figura 8 e Figura 9**). A nova regressão linear para o conjunto com maior quantidade de dados adquire um valor de correlação de 90%. A faixa restrita à porção oeste obtém uma correlação de 60%.

CONCLUSÃO

A análise das feições de absorção dos gases atmosféricos permite considerar a variabilidade espacial dos parâmetros atmosféricos proporcionando uma correção que varia de pixel para pixel. Para a área de estudo as imagens de vapor d'água e pressão de superfície foram obtidos utilizando o método Green. Detecta-se nas imagens dos parâmetros atmosféricos uma ligeira interferência dos materiais superficiais como estradas (solo exposto) e corpos d'água. As imagens de vapor d'água e da pressão de superfície apresentam um comportamento inverso segundo uma função polinomial de segunda ordem.

Em condições de céu límpido pode-se obter uma boa correlação dos parâmetros atmosféricos com a altimetria. Os pontos da regressão linear que apresentaram menor ajuste são: (a) interferências de alguns alvos superficiais, e (b) concentração local de vapor d'água que não é possível ser modelado

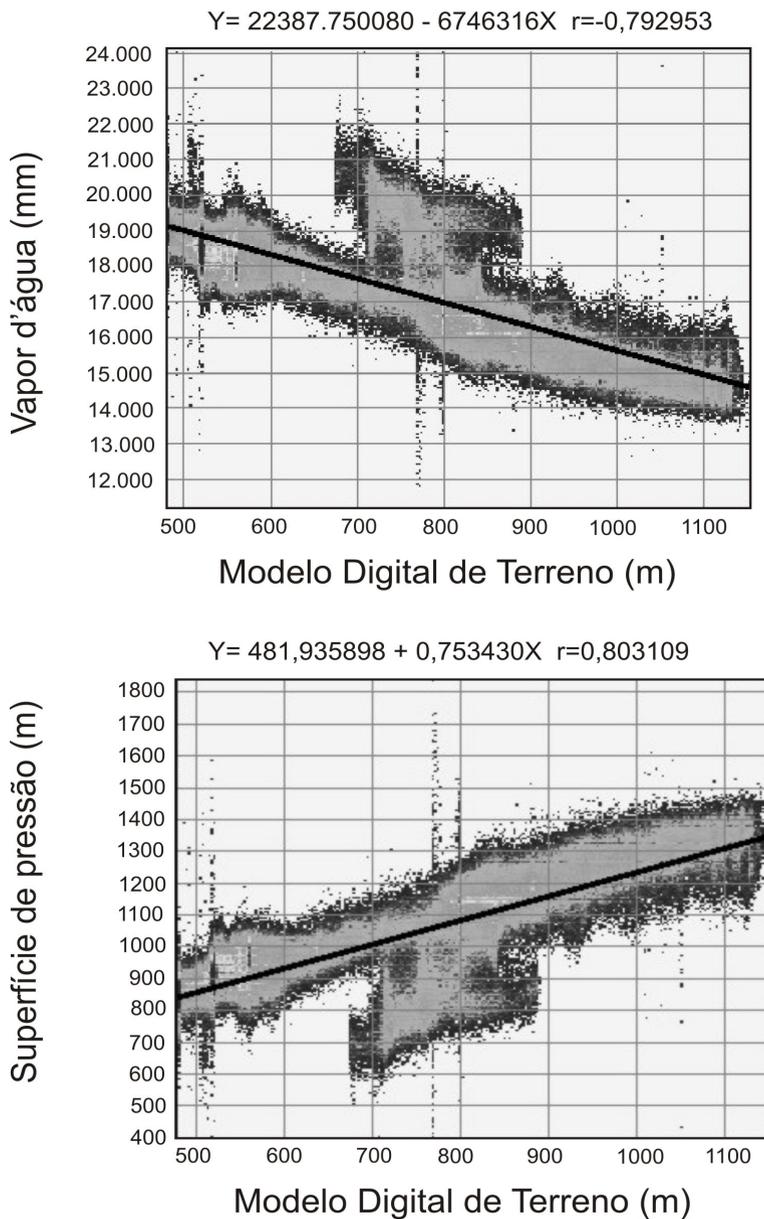


Figura 5. Regressão linear entre: a) altitude e o vapor d'água e b) altitude e a elevação por pressão de superfície. A distribuição dos dados evidencia um ajuste segundo uma função linear.



Figura 6. Imagem do erro padrão da regressão linear entre o MDT e a imagem de vapor d'água. As áreas com tonalidades mais brancas representam locais com pior ajuste na regressão.

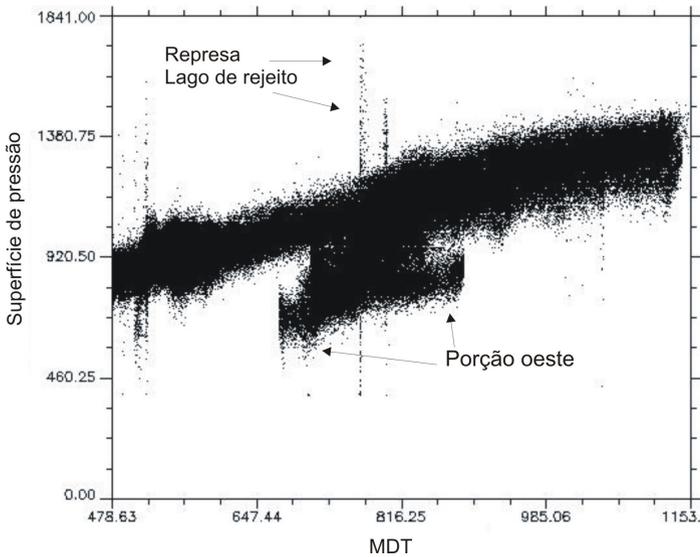


Figura 7. Digrama de dispersão entre a pressão de superfície e o MDT evidenciando as localidades com maior erro padrão.

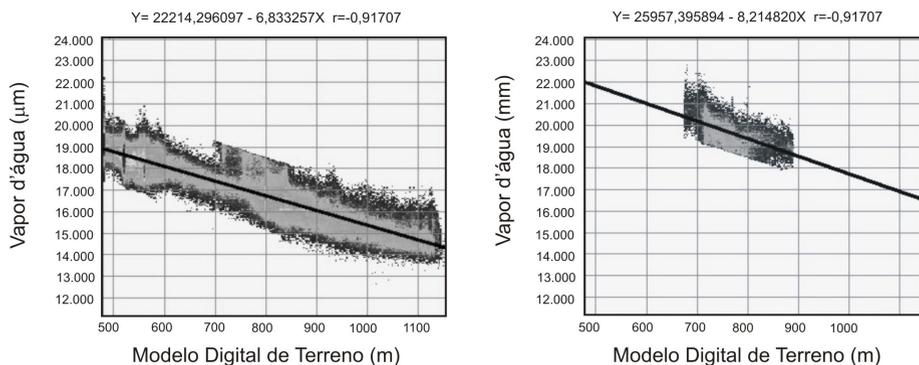


Figura 8 – Regressões lineares entre altitude e o vapor d'água considerando dois subconjuntos distintos.

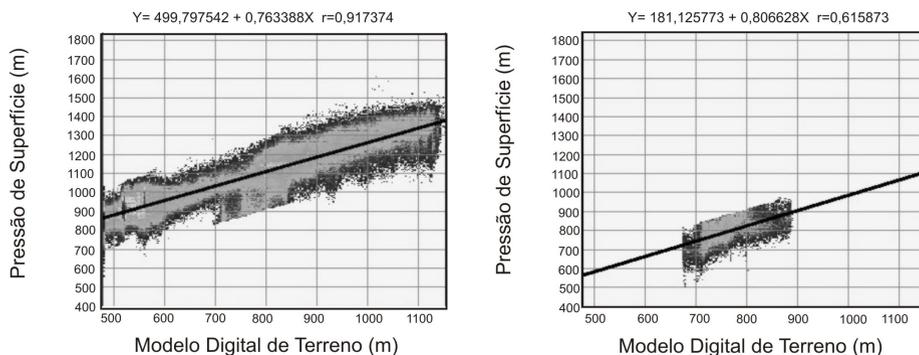


Figura 9 – Regressões lineares entre a altitude e a elevação por pressão de superfície considerando dois subconjuntos distintos.

apenas pela variável topográfica. Portanto pode-se estabelecer, em determinadas condições atmosféricas, valores relativos de altimetria pelas imagens de vapor d' água ou vice-versa. Para a área de estudo a contraposição das variáveis atmosféricas com as topográficas permitiu salientar as áreas de maior erro do modelo de correção pela interferência superficial. Uma maior precisão dos

resultados altimétricos poderá ser obtida desenvolvendo um procedimento de correção que seja dependente do tipo de superfície imageada. Desta forma, a espectroscopia de imageamento demarca uma nova fase para adquirir e de espacializar os elementos atmosféricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLER-GOLDEN, S.; BERK, A.; BERNSTEIN, L. S.; RICHTSMEIER, S.; ACHARYA, P.K.; MATTHEW, M. W.; ANDERSON, G. P.; ALLRED, C. L.; JEONG, L. S. & CHETWYND, J. H. (1998). Flaash, A MODTRAN4 Atmospheric Correction Package for Hyperspectral Data Retrievals and Simulations. In: Annual JPL Airborne Earth Science Workshop, 7., Pasadena. *Summaries...* Pasadena: NASA. JPL Publication 97-21, v.1, p.9-14,
- ANDERSON, G. P.; WANG, J. & CHETWYND, J. H. (1995). MODTRAN3: An Update and Recent Validations Against Airborne High Resolution Interferometer Measurements. In: Annual JPL Airborne Earth Science Workshop, 5., Pasadena. *Summaries...* Pasadena: NASA. JPL Publication 95-1, v. 1, p. 5-8.
- 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.
- BERK, A.; BERNSTEIN, L. S.; ANDERSON, G. P.; ACHARYA, P.K.; ROBERTSON, D. C.; & CHETWYND, J. H. & ADLER-GOLDEN S. M. (1996). MODTRAN Cloud and Multiple Scattering Upgrade with Application. *Remote Sensing Environment*, 65: 367-375.
- CARRERE, V. & CONEL, J. E. (1993). Recovery of Atmospheric Water Vapor Total Column Abundance from Imaging Spectrometer Data Around 940 nm Sensitivity analysis and Application to Airborne Visible / Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) data.

Remote Sensing Environment, 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)*. Brasília, 262 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; LATORRE, M. L.; DIAS, L. A. V.; CARVALHO, A. P. F.; GUIMARÃES, R. F. & MENESES, P. R. (2002). Comparação dos métodos Green e ATREM para correção atmosférica de imagens hiperespectrais AVIRIS. *Espaço & Geografia*, 5 (1): 179-197.

ESRI. (1990). *Understanding GIS: the ArcInfo method*. Redlands, CA, USA: ESRI Press.

GAO, B.-C. & GOETZ, A. F. H (1990). Column atmospheric water vapor and vegetation liquid water retrievals from airborne imaging spectrometer data, *Journal Geophysical Research*, 95: 3549-3564.

GAO, B.-C.; HEIDEBRECHT, K. B. & GOETZ, A. F. H. (1993). Derivation of scaled surface reflectances from AVIRIS data. *Remote Sensing Environment*, 44: 165-178.

GOETZ, A. F. H.; HEIDEBRECHT, K. B. & CHRIEN, T. G. (1995). High Accuracy In-Flight Wavelength Calibration of Imaging Spectrometry Data. In: Annual Airborne GeoScience Workshop, 5., Pasadena. *Proceedings...* Pasadena: NASA. JPL Publication 95-1 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: Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop, 2., Pasadena. *Proceedings...* Pasadena: NASA. JPL Publication 90-54, 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: Annual Airborne

- GeoScience Workshop, 5., Pasadena. *Proceedings...* Pasadena: NASA. JPL Publication 95-1 p. 79-82.
- GREEN, R. O. & GAO, B.-G. (1993). A Proposed Update to the Solar Irradiance Spectrum Used in LOWTRAN and MODTRAN. In: Annual Airborne GeoScience Workshop, 4., Pasadena. *Proceedings...* Pasadena: NASA. JPL Publication 93-26 p. 81-84.
- 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: Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop, Pasadena. *Proceedings...* Pasadena: NASA. JPL Publication 88-38, p. 162-184.
- 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: Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop, 3., Pasadena. *Proceedings...* Pasadena: NASA. JPL Publication 91-28, p. 51-61.
- GREEN, R. O., CONEL, J. E.; HELMLINGER, M.; BOSCH, J.; CHOVIK, C. & CHRIEN, T. (1993a). Inflight Calibration of AVIRIS in 1992 and 1993. In: Annual Airborne GeoScience Workshop, 4., Pasadena. *Proceedings...* Pasadena: NASA. JPL Publication 93-26, p. 69-72.
- GREEN, R. O.; CONEL, J. E. & ROBERTS, D. A. (1993b). 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: Annual Airborne GeoScience Workshop, 4., Pasadena. *Proceedings...* Pasadena: NASA. JPL Publication 93-26, p.83-86.
- 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: Annual Airborne GeoScience Workshop, 5., Pasadena. *Proceedings...* Pasadena: NASA. JPL Publication 95-1 pp.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., CHOVI, C. J., SOLIS, M., OLAH, M. R. & WILLIAMS O. (1998). Imaging Spectroscopy and the Airborne Visible / Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS). *Remote Sensing Environment*, 65: 227-248.
- HUTCHINSON, M. F. (1989). A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 106: 211-232.
- KAUFMAN, Y. J.; HOBBS, P. V.; KIRCHHOFF, V. W. J. H.; ARTAXO, P.; REMER, L. A.; HOLBEN, B. N.; KING, M. D.; WARD, D. E.; PRINS, E. M.; LONGO, K. M.; MATTOS, L. F.; NOBRE, C. A.; SPINHIRNE, J. D.; QJI; THOMPSON, A. M.; GLEASON, J. F.; CHRISTOPHER, S. A. & TSAY S.-C. (1998). Smoke, clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B) experiment. *Journal Geophysical Research*, 103 (D24): 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.
- LATORRE, M. F. (1998). *Utilização de um método de correção atmosférica para o processamento de dados hiperespectrais do sensor AVIRIS em regiões tropicais..* 202 f. Tese (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo.
- LATORRE, M. L.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; SHIMABUKURO, Y. E. (2002). Correção atmosférica: conceitos e fundamentos. *Espaço & Geografia*, 5 (1): 153-178.
- SCHMID, B. (1996). Comparison of modeled and empirical approaches for retrieving columnar water vapour from solar transmittance measurements in the 0.94 mm region. *Journal of Geophysical Research*, 101 (D5): 9.345-9.358.
- TANRÉ, D., DEROO, C., DUHAUT, P., HERMAN, M., MORCRETTE, J. J., PERBOS, J. &

DESCHAMPS, P. Y. (1986). *Simulation of the Satellite Signal in Solar Spectrum. User's Guide*, L.O.A., Lille, 264 p.

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. *International Journal Remote Sensing*, 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: International Geoscience Remote Sensing Symposium IGARSS, Strasbourg, França. *Proceedings...* New York: IEEE. SP215, p.751-757.

VERMOTE, E.; TANRE, D.; DEUZE, J. L.; HERMAN, M. & MORCRETTE, J. J. (1996). *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S), 6S User's Guide Version 1*. NASA-GSFC, Greenbelt, Maryland, 134 p.