

Estudo espectral com imagens do sensor aerotransportado MSS

Alessandra Lisita^{1,2}, Romero da Costa Moreira³

¹ Academia Nacional de Polícia – ANP/DGP/DPF
Rodovia DF 001, Km 02, Setor Habitacional Taquari
CEP: 71559-900– Brasília - DF, Brasil
alessandra.al@dpf.gov.br

² Universidade de Brasília – UnB
Instituto de Geociências
Caixa Postal 04465 - CEP: 70.910-900 - Brasília - DF, Brasil

³ Instituto de Estudos Avançados – IEAv/CTA
Caixa Postal 6044 – CEP: 12.231-970 – São José dos Campos - SP, Brasil
moreira@ieav.cta.br

Abstract. This paper describes a spectral assessment of the MultiSpectral Scanner (MSS) image. The MSS is an optical 31 band airborne line scanner, operated on board of Brazilian Air Force R-99 aircraft to Brazilian Amazon Surveillance Program – SIVAM. A radiance image of the Brazilian middle-northeast savanna type region was atmospherically corrected using FLAASH algorithm and the resulting reflectance pixels of natural targets were then investigated. The image was acquired with 2.44 m of spatial resolution and a spectral full mode, but only the 28 firsts bands from de visible to near infrared regions –VIS/NIR were analyzed. An offset and a scale factor were applied to the pre-processed image to provide the correct radiance values to the FLAASH atmospheric correction. The spectral response function needed to FLAASH processing was simulated for each MSS band considering a Gaussian distribution, using parameters of band positioning and bandwidth from the sensor calibration archive of the last calibration, proceed in 2005. An initial data quality assessment was performed through the visual and the statistical assessment of individual bands, and then, band slices and spectral profiles analysis of natural targets were performed. Results shown a general coherent radiometric information of the radiance image and pixel reflectance spectra of the MSS FLAASH corrected image, indicating good performance of the MSS data for spectral analysis, although the time delay of the last sensor calibration.

Palavras-chave: remote sensing, multispectral scanner, imaging spectroscopy, sensoriamento remoto, sensor multiespectral de varredura, espectroscopia com imagem.

1. Introdução

Imagens de alta resolução espectral possibilitam a geração de espectros contínuos de cada pixel da imagem, possibilitando o acesso a uma maior quantidade de informações sobre parâmetros biofísicos da superfície terrestre. Conforme exemplifica Van der Meer et al. (2006), a partir da análise do comportamento espectral dos pixels de uma imagem, pode-se detectar e identificar os constituintes da superfície e da atmosfera; acessar e estimar a concentração desses constituintes; estimar as proporções dos constituintes em materiais misturados espacialmente; delinear a distribuição espacial dos constituintes; monitorar mudanças nos constituintes mediante aquisições periódicas de dados; simular, calibrar e comparar sensores; validar e aprimorar modelos.

Este trabalho descreve a utilização de uma imagem do sensor imageador multiespectral de varredura MSS (*MultiSpectral Scanner*) para o estudo espectral de alvos da superfície. O MSS é um sensor aerotransportado de varredura linear, que é operado pela Força Aérea Brasileira a partir da aeronave tipo R-99, utilizada na coleta de dados para o Sistema de

Proteção da Amazônia (SIPAM). O sensor pode adquirir imagens em dois modos espectrais, sendo um com 11 e o outro com 31 bandas, que abrangem a região espectral do visível ao infravermelho termal. O sensor permite a seleção do campo de visada instantâneo (IFOV) entre as opções de 1,25 e 2,5 mrad e a frequência de varredura de linhas é ajustável entre 1 e 100 Hz, facilidades que proporcionam uma grande tolerância de velocidades e alturas de imageamento.

A imagem radiância fornecida pela Aeronáutica através do CENSIPAM/Brasília foi submetida à correção atmosférica com o aplicativo FLAASH, a fim de ser utilizada para a avaliação dos espectros de reflectância de pixels de alvos naturais comuns, como vegetação sadia, solo e água.

2. Metodologia de Trabalho

A imagem utilizada neste trabalho foi adquirida na região do sertão nordestino, na data de 16/05/2008, final da estação chuvosa, no modo espectral de 31 bandas do sensor e na resolução espacial linear de 2,4 m.

Selecionou-se, para o tratamento, dois recortes da cena sem influência de nuvens ou sombras que foram reamostrados espectralmente para a exclusão das bandas 29 e 30, referentes ao infravermelho de ondas curtas, e da banda 31, referente ao infravermelho termal, com o intuito de manter apenas os dados correspondentes ao visível e infravermelho próximo (VIS/NIR) do espectro eletromagnético.

A calibração radiométrica dos dados do VIS/NIR, isto é, a transformação dos valores digitais dos pixels em unidades de radiância foi executada implementando-se uma redução de *offset* de 32.768 níveis de cinza da imagem, e aplicando-se um fator de escala de 10^{-3} para a conversão das bandas 1 a 28 em unidades de $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}\cdot\text{sr}^{-1}$. Tal transformação foi implementada de uma só vez, em um processamento matemático utilizando a seguinte relação:

$$RU = \frac{(PV - 32.768)}{1.000}, \quad (1)$$

onde PV é o valor do pixel e RU o valor de radiância.

Segundo Van der Meer et al. (2006), a relação empírica entre os números digitais da imagem e a radiância é dada pelos parâmetros de calibração do sensor, mencionando que o sinal medido não é somente uma função dos fótons e da radiância espectral incidente mas, também, é relacionada às características do sensor. Ainda segundo estes autores, ao invés de captar apenas fótons de um comprimento de onda específico, a banda espectral mede a radiância de uma faixa de comprimento de onda que varia de alguns nanômetros abaixo a alguns nanômetros acima do comprimento de onda central da banda. A curva que descreve o declínio dos níveis de radiância ao redor do comprimento de onda central de cada banda é conhecida como Função de Resposta Espectral – FRE, que permite estimar a contribuição relativa de cada porção do espectro eletromagnético ao sinal de uma banda do sensor.

Considerando a necessidade de empregar as FREs para a correção atmosférica e viabilizar a utilização das imagens para a análise espectral de alvos neste estudo, em virtude dessas funções não estarem disponíveis no arquivo auxiliar de calibração da imagem, as FREs do MSS utilizado no imageamento foram, alternativamente, simuladas, considerando-se uma distribuição gaussiana, tomadas as informações de centro e largura espectrais de bandas da calibração de 2005 como parâmetros para essa distribuição.

Outras informações necessárias à restituição da reflectância de imagens de sensores remotos, como a irradiância solar e a transmitância atmosférica, também podem ser estimados, assim como as FREs, através de modelos matemáticos pré-estabelecidos, disponibilizados nas opções de aplicativos de correção de imagens como o FLAASH. (*Fast*

Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes), utilizado neste estudo para a correção atmosférica da imagem MSS.

Conforme descrito no seu Guia do Usuário, ITT Visual Information Solutions (2008), o FLAASH emprega o código de transferência radiativa MODTRAN-4 (*Moderate Resolution Transmittance*), corrigindo comprimentos de onda no visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, até 3 μm . Nas opções do FLAASH, a coluna de vapor d'água pode ser restaurada com base no processamento pixel-a-pixel, usando a radiância média de dois conjuntos de canais. Um conjunto de canais relaciona-se à absorção por vapor d'água e o outro é um conjunto de referência, posicionado em janelas atmosféricas sem influências de absorção. Se as imagens multiespectrais incluem a presença dos canais apropriados, então a coluna de vapor d'água pode ser estimada através da razão dos valores desses dois conjuntos de canais. O espalhamento também pode ser estimado em uma abordagem similar de razão de bandas disponibilizada no FLAASH, com a proposta de uma melhor adequação da correção.

No processamento dos dados com o FLAASH, é necessário definir a data, a hora, a localização, a elevação da superfície, a altitude do vôo, o modelo atmosférico, a visibilidade inicial e as funções de resposta espectral do sensor, além das opções dos métodos para a estimação do vapor d'água e do espalhamento por aerossóis.

Na correção atmosférica realizada neste trabalho, a imagem de reflectância foi gerada definindo-se o tipo de sensor como desconhecido (*unknown MSI*) e inserindo-se as curvas de resposta espectral simuladas para o sensor MSS. Os parâmetros de latitude e longitude do pixel central da área foram extraídos da imagem e a altitude da aeronave foi extraída a partir do arquivo auxiliar (.aux) no campo "*scanline altitude*". Nessa mesma linha do arquivo auxiliar, é possível verificar a altitude em pés do sensor em relação ao nível médio dos mares, assim como, a data e o horário internacional "GMT" da aquisição da linha de vôo, que constam das informações da unidade GPS de bordo.

Em função da latitude da região imageada, foi escolhido o modelo atmosférico correspondente à região tropical, a partir da tabela disponibilizada no guia do aplicativo FLAASH, e o modelo de aerossol rural, que representa áreas não afetadas significativamente por fontes urbanas ou industriais. Foi inserida a visibilidade inicial de 80 km, tendo em vista as boas condições de visibilidade estimadas para a imagem analisada e implementados testes com o algoritmo *Water retrieval* que estima a quantidade de água para cada pixel, testando-se diferentes combinações de bandas de absorção e de referência, e, também, a não implementação dessa correção.

3. Resultados e Discussão

Na análise preliminar da imagem radiância, realizada por meio de inspeção visual, análise de histogramas e estatística de bandas, verificou-se uma boa qualidade dos dados gerados com o MSS, sem presença de ruídos ou aberrações espaciais visíveis, como pode ser observado no recorte da imagem apresentado na Figura 1.

Os espectros observados na imagem radiância refletem as feições de absorção por vapor d'água, tipicamente observadas nas proximidades dos comprimentos 0,940 e 1,100 μm como pode ser observado na Figura 2. Comparativamente, os espectros dos mesmos alvos, observados na imagem corrigida, como pode ser verificado na Figura 3, apresentam a devida restituição das feições de absorção de vapor d'água observadas na imagem radiância



Figura 1. Recorte da imagem MSS adquirida em maio de 2008, em composição colorida natural R-668,9 μm , G-564,1 μm , B-497,4 μm (modo de 31 bandas).

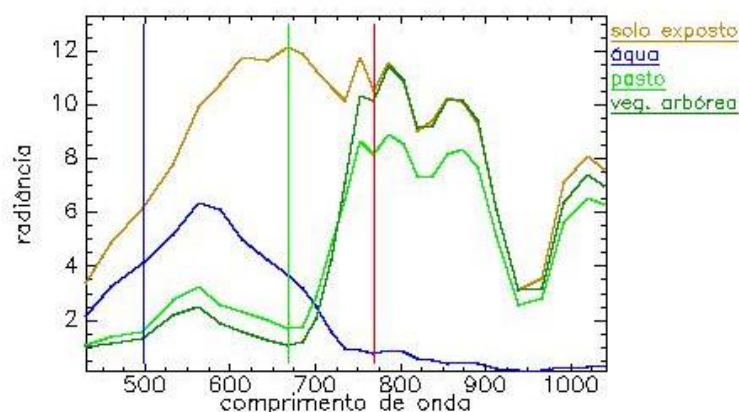


Figura 2. Espectros de radiância ($\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}\cdot\text{sr}^{-1}$) de pixels de alvos naturais.

Em virtude dos resultados obtidos nos testes de parâmetros com o algoritmo *Water retrieval*, selecionou-se a banda de absorção 0,939 μm e a banda de referência 0,873 μm , que possibilitaram a correção adequada da banda de absorção de vapor d'água da região de 0,94 μm . Nesta correção, entretanto, verificou-se que as feições de absorção não foram completamente removidas nas bandas do vapor d'água.

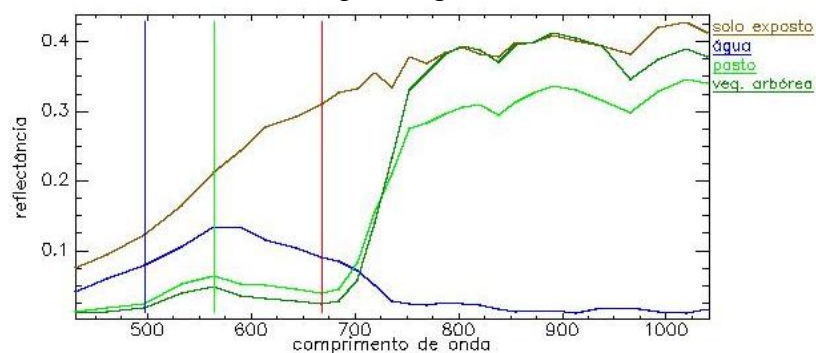


Figura 3. Espectros de reflectância de pixels de alvos naturais na imagem resultante do processamento FLAASH.

Em análises mais específicas, um espectro de solo analisado apresentou albedo alto e forma convexa indicando baixos teores de matéria orgânica e de óxidos de ferro. A análise textural de amostra de solo coletada no local apresentou 69% de areia fina, 15% de silte, 16% de argila e 1,4% de matéria orgânica confirmando a expectativa espectral. O espectro da amostra de solo medido em laboratório com o radiômetro Fieldspec com 2.151 bandas

espectrais na faixa de 0,35 μ m a 2,5 μ m e reamostrado para a resolução espectral das imagens MSS apresentou albedo compatível com o espectro extraído da imagem demonstrando a possibilidade de emprego das imagens MSS para estudos espectrais, como pode ser verificado na Figura 4.

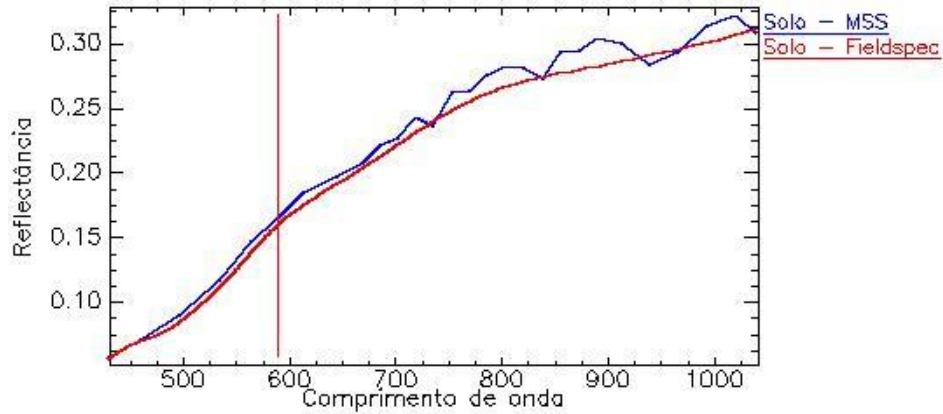


Figura 4. Espectros de reflectância absoluta de solo obtido em laboratório e extraído da imagem MSS, em maio de 2008.

Os espectros correspondentes a uma área de fruticultura voltada à produção de bananas, floresta ripária, vegetação herbácea, água e solo foram analisados a partir de áreas de treinamento extraídas da imagem MSS. Todos os espectros de vegetação apresentaram comportamento típico de vegetação saudável apresentando apenas variações do albedo. Persistiram, nesses espectros, as feições residuais de absorção por vapor d'água, anteriormente relatadas.

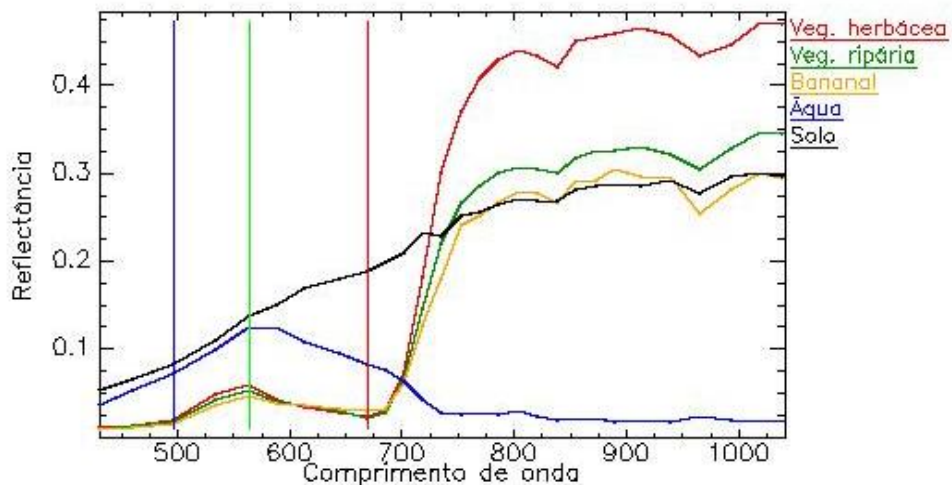


Figura 5. Espectros de reflectância absoluta de alvos naturais extraídos da imagem MSS, em maio de 2008.

Os valores de reflectância das áreas de treinamento também foram plotados em diagrama espacial das bandas 3 - 497,4 μ m; 9 - 668,9 μ m e 15 - 770 μ m. O diagrama tridimensional possibilitou a individualização das amostras como pode ser verificado na figura 6.

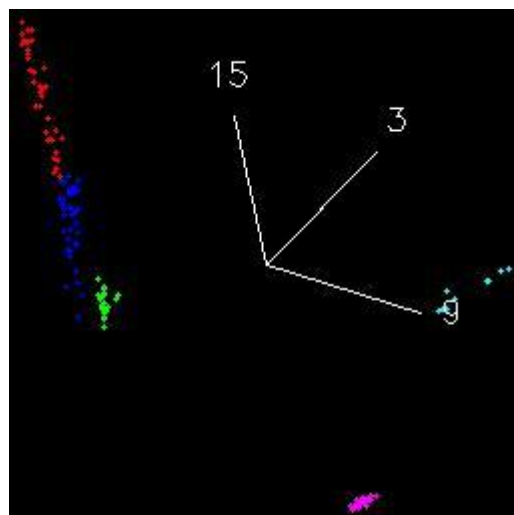


Figura 6– Diagrama de espalhamento obtido com as bandas 3 – 0,497 μm ; 9 – 0,669 μm e 15 – 0,770 μm da imagem reflectância para as seguintes classes de alvos: floresta ripária em azul; fruticultura em verde; ,vegetação herbácea em vermelho; água, em magenta; e solo, em ciano.

A área de vegetação herbácea apresentou, por ocasião do levantamento de campo, elevada quantidade de biomassa, o que explica a reflectância proporcionalmente alta na região do infravermelho próximo. A reflectância proporcionalmente menor do plantio de bananas pode ser explicada pela arquitetura do dossel mais erectifólia que, segundo Galvão et al. (2005) , favorece o sombreamento mútuo dos componentes do dossel, além de uma maior absorção interna da radiação neles incidente e, também, da detecção pelo sensor de constituintes não fotossinteticamente ativos no interior do dossel como palha e outros.

O espectro da água, com alta reflectância na região do verde, com pico em 0,600 μm e valores decrescentes nos comprimentos de onda acima do infravermelho próximo, tem comportamento compatível com o matiz visualizado na imagem cor natural apresentada na Figura 1, refletindo uma possível concentração de algas e de sedimentos inorgânicos em suspensão. As algas reduzem a reflectância no azul e no vermelho, sem aumentar a reflectância do infravermelho próximo, enquanto os sedimentos inorgânicos aumentam a reflectância na região do vermelho. Conforme constatado durante levantamento de campo, a água apresentava grande quantidade de sólidos em suspensão. Ressalte-se que o período que antecedeu os trabalhos de campo foi caracterizado pela ocorrência de chuvas acima da média histórica da região favorecendo o transporte de partículas de solo pelo escoamento superficial.

4. Conclusões

O sensor MSS possui resolução espectral detalhada nas regiões do visível e infravermelho próximo, permitindo uma análise continuada nessa região espectral. A possibilidade de aquisição de dados com resolução espacial inferior a 3 metros é vantajosa para a análise espectral de alvos de dimensões reduzidas, evitando uma maior mistura espectral. Os dados analisados não apresentaram distorções radiométricas nas bandas espectrais do visível e do infravermelho próximo e forneceram espectros de reflectância de alvos naturais compatíveis com a literatura e os dados de campo e laboratório. Nesse aspecto, foi verificada maior reflectância no NIR para alvos com elevada biomassa foliar, coerentemente proporcional ao aumento do espalhamento esperado para o aumento do índice de área foliar. Os espectros analisados também indicam potencial aplicação para a análise de corpos d'água, já que a região do VIS/NIR reflete adequadamente a presença de vegetação macrófita, algas e

sedimentos em suspensão. Adicionalmente, foi constatada a coerência no posicionamento das bandas de absorção por vapor d'água, um indício de boa calibração espectral do sensor, bem como da magnitude dos valores de reflectância, o que estaria relacionado a uma calibração radiométrica adequada.

Conseqüentemente, verificou-se que as imagens MSS, devido às suas características de alta resolução espectral e espacial e da boa qualidade dos dados, mostraram-se promissoras para atividades de espectroscopia por imageamento voltadas à identificação e quantificação de materiais na superfície terrestre.

Agradecimentos

Este trabalho não teria sido possível sem o apoio do COMAER, do Departamento de Polícia Federal, do IEAv, do COMGAR e do 2º/6º GAv, que cederam instalações, equipamentos e dados para a realização deste trabalho.

Os autores agradecem também ao Dr. Edson Eyji Sano pelas sugestões e revisão do artigo.

Referências Bibliográficas

Galvão, L.S. ; Formaggio, A.R.; Tisot, D. A. Discriminação de variedades de cana de açúcar com dados hiperespectrais do sensor Hyperion/EO-1. **Revista Brasileira de Cartografia** n°. 57/01, p. 7-14, 2005.

Geophysical and Environmental Research Corp. – GER. **MSS Ground Processing Specification**. SDRL No. A015, 2000a.

Geophysical and Environmental Research Corp. – GER. **MSS Interface Control Document**. SDRL No. A003, 2000b.

Geophysical and Environmental Research Corp. – GER. **EPS-A 31T Operator's Manual**. DOC52A006, 2002.

ITT Visual Information Solutions. **FLAASH Module User's Guide Version 4.5.**, April, 2008 Disponível em: <http://www.ittvis.com/portals/0/pdfs/envi/flaash_module.pdf>. Acesso em: 10.nov. 2008.

Van der Meer, F. D.; De Jong, S. M.; Baaker, W. Analytical Techniques in Spectrometry. In: Van der Meer, F. D.; De Jong, S. M. (eds.). **Imaging spectrometry – Basic Principles and Prospective Applications**. Netherlands: Springer, 2006. *Chap.* 2, p. 17 – 61.