

EFEITOS DA FUMAÇA SOBRE A DETERMINAÇÃO DO NDVI

MARCELO LIMA DE MOURA
LÊNIO SOARES GALVÃO

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{moura, lenio}@ltid.inpe.br

Abstract. AVIRIS (Airborne Visible InfraRed Imaging Spectrometer) data collected over the same study area in central Brazil in three different dates are used to describe the spectral effects of smoke on NDVI determination of savanna vegetation types. An example of the use of image-derived empirical relationships to predict the red band response from the SWIR band response and to minimize such effects on NDVI is presented.

Keywords: smoke, AVIRIS, NDVI, hyperspectral remote sensing, reflectance.

1. Introdução

Durante a estação seca, a determinação do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) na região central do Brasil é afetada pela grande quantidade de aerossóis de fumaça produzida pelas queimadas. Os efeitos da fumaça tendem a ser mais fortes na faixa espectral do visível e sua influência diminui substancialmente na região do infravermelho próximo. No intervalo do SWIR (Shortwave Infrared), especialmente entre 2000 nm e 2500 nm, a fumaça torna-se transparente à radiação solar, porque o comprimento de onda é maior que o tamanho das partículas de aerossóis (Kaufman e Remer, 1994; Kaufman et al., 1997).

Para a vegetação, visto que as bandas do SWIR (não afetadas pela fumaça) normalmente apresentam uma forte correlação com a banda do vermelho (afetada pela fumaça), equações empíricas podem ser desenvolvidas para estimar a resposta espectral da banda do vermelho a partir de dados do SWIR. Conseqüentemente, os efeitos da fumaça sobre o cálculo do NDVI podem ser minimizados. Um exemplo desta abordagem é o índice AFRI (*Aerosol Free Vegetation Index*) proposto por Karnieli et al. (2001).

Neste trabalho, imagens do sensor AVIRIS (Airborne Visible InfraRed Imaging Spectrometer) obtidas em uma mesma área de estudo na região central do Brasil, em três datas distintas, são usadas para descrever os efeitos espectrais da fumaça sobre a determinação do NDVI. Um exemplo do uso de relações empíricas obtidas da própria imagem para minimizar os efeitos da fumaça sobre o cálculo do NDVI é apresentado.

2. Metodologia

A área de estudo (canto superior esquerdo = W 56°17' S 15°30'; canto inferior direito = W 55°58' S 15°36') está localizada próximo à cidade de Cuiabá (MT) e é caracterizada por intensas atividades agrícolas (pasto e pequenas culturas). Os remanescentes de vegetação nativa são compostos por campo limpo, campo sujo e cerrado. Ao longo dos rios, a vegetação de mata de galeria também se destaca. As imagens AVIRIS foram adquiridas em 1995, a partir de uma aeronave (20 km de altitude), em três datas distintas: 25 de agosto (ângulo zenital solar (AZS) de 29°), 27 de agosto (AZS de 45°) e 1 de setembro (AZS de 44°). As imagens foram obtidas em 224 bandas (10 nm de largura), no intervalo de 400 a 2500 nm, com uma resolução espacial de 20 metros. Os dados de radiância foram convertidos para reflectância de superfície, isto é, minimizados para os efeitos de espalhamento e absorção atmosférica, pelo uso da técnica ATREM (Gao et al., 1993).

Para analisar os efeitos da fumaça sobre a reflectância espectral de diferentes tipos de vegetação, espectros de referência foram extraídos da imagem em porções da imagem afetadas pela fumaça e analisados em função das três datas. Para indicar as melhores bandas no intervalo de 1500 nm a 2500 nm para estimar a resposta da banda do vermelho (677 nm), relações de regressões foram obtidas a partir de 245 espectros de pixels representativos dos diferentes tipos de vegetação de cerrado e de solo. Outros 45 espectros de pixels foram extraídos de porções da cena aparentemente com menor nível de contaminação por aerossóis de fumaça (25 de agosto) para validar as equações de regressão.

Os valores de NDVI foram então comparados antes e após o uso das equações de regressão, obtidas a partir da própria imagem, para avaliar o desempenho do uso de dados do SWIR na estimativa da reflectância da banda do vermelho e na minimização dos efeitos da fumaça no cálculo deste índice.

3. Resultados

A **Figura 1** ilustra os efeitos espectrais da fumaça em diferentes bandas do AVIRIS na cena do dia 25 de agosto, em que uma pluma de fumaça foi observada próximo à cidade de Cuiabá. Conforme pode ser observado nesta figura, a contribuição espectral aditiva da fumaça diminui do vermelho (**Figura 1a**) para o infravermelho próximo (**Figura 1b**). Na banda do SWIR (2121 nm) (**Figura 1c**), os efeitos são desprezíveis e é possível observar os componentes de cena ou parte da cidade abaixo da pluma de fumaça.

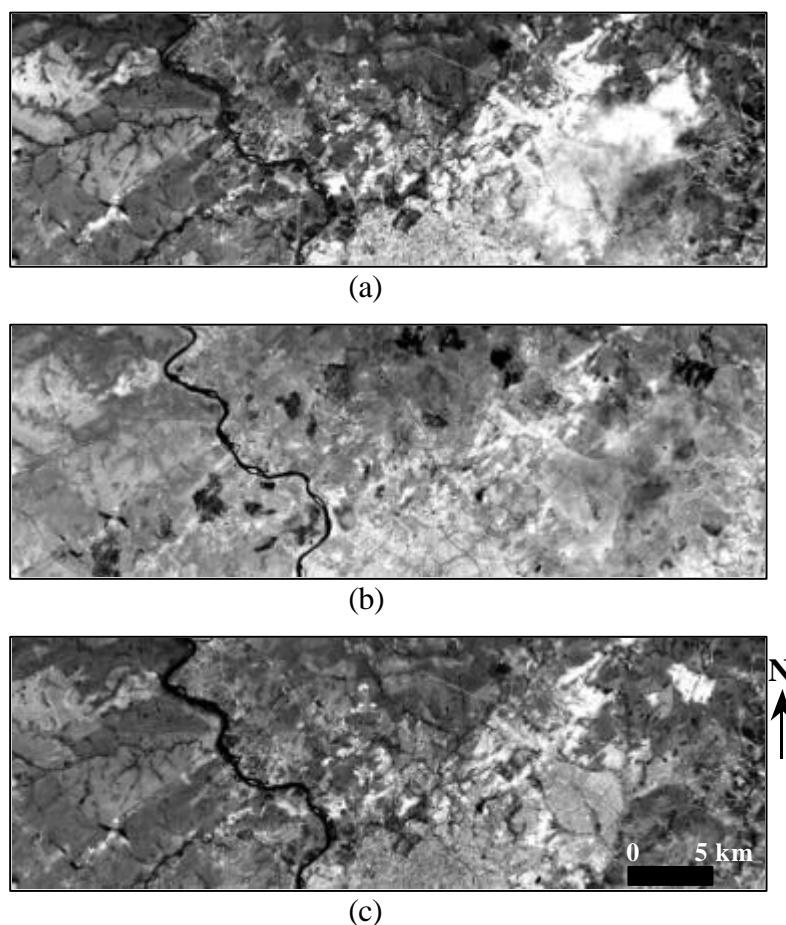


Figura 1 - Efeitos espectrais da fumaça na área de estudo nas bandas AVIRIS do vermelho (677 nm) (a), do infravermelho próximo (864 nm) (b), e do SWIR (2121nm) (c).

Em função dos fortes efeitos espectrais da fumaça na faixa do visível, o uso de composições coloridas normais torna-se praticamente inviável para o estudo dos componentes de cena (**Figura 2a**). Entretanto, o contrário ocorre quando composições coloridas falsa-cor são utilizadas, especialmente com bandas AVIRIS do SWIR. Na **Figura 2b**, além da melhor visualização dos componentes de cena abaixo da pluma de fumaça, as linhas de fogo que produzem tal pluma também podem ser observadas em cores azuladas.

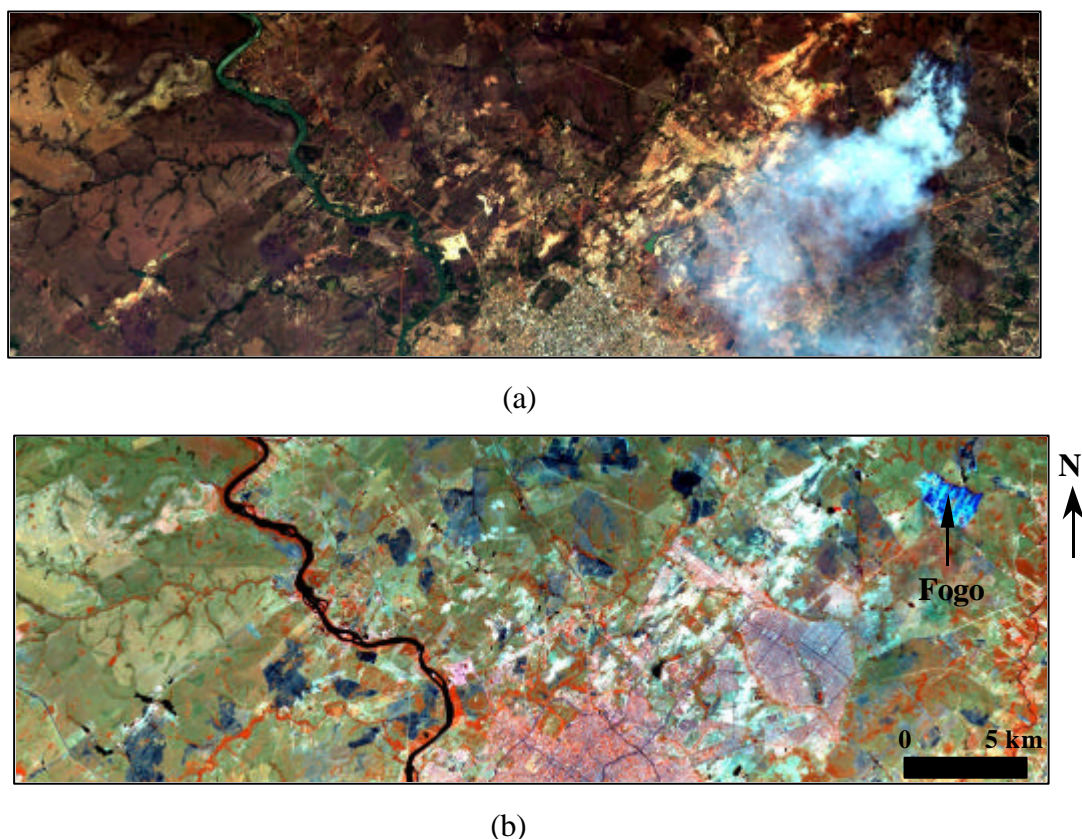


Figura 2 - (a) Composição colorida normal, obtida a partir das bandas AVIRIS centradas em 677 nm (vermelho), 559 nm (verde) e 480 nm (azul). (b) Composição colorida falsa-cor, obtida a partir das bandas AVIRIS centradas em 864 nm (vermelho), 1650 nm (verde) e 2121 nm (azul).

Na **Figura 3**, espectros de reflectância de uma área de cerrado (média de 5 x 5 pixels) são mostrados em função das três datas de aquisição das imagens AVIRIS e de diferentes condições de fumaça. Conforme observado nesta figura, sob os efeitos da fumaça em 25 de agosto de 1995, o espectro da vegetação de cerrado mostra um substancial acréscimo da reflectância na faixa do visível e menor modificação no restante do intervalo espectral, especialmente na faixa do SWIR (1500 nm a 2500 nm). De fato, os efeitos espectrais da fumaça nas faixas do visível e do infravermelho próximo são dependentes do tipo de alvo, sendo mais fortes para superfícies escuras (Miura et al., 1998). No SWIR, estes efeitos não são significantes.

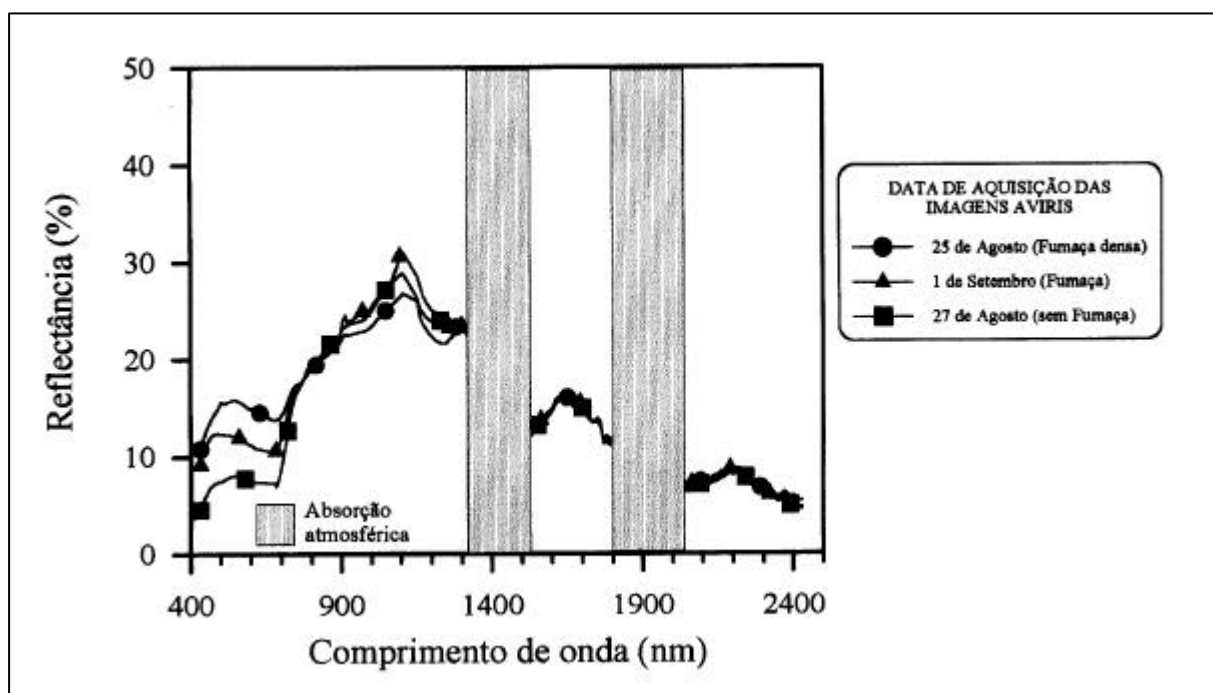


Figura 3 - Modificações produzidas pela fumaça na resposta espectral da vegetação de cerrado.

Valores altos de coeficiente de correlação foram obtidos entre a banda AVIRIS do vermelho, posicionada em 677 nm, e as bandas AVIRIS do SWIR localizadas nos intervalos 1500-1750 nm e 2000-2500 nm, quando pixels representativos de diferentes classes de cobertura, sob condições livres de aerossóis, foram considerados na análise. A **Figura 4** ilustra o melhor resultado, obtido para a banda centrada em 2121 nm ($r = 0,982$). Para a vegetação, a alta correlação entre as bandas do vermelho e do SWIR é produzida pela relação de covariância positiva entre a clorofila e o conteúdo de água das folhas, constituintes que absorvem radiação principalmente nos comprimentos de onda do vermelho e do SWIR, respectivamente. Quando 45 novos espectros de diferentes classes de cobertura foram utilizados para testar o poder de predição da equação de regressão, os resultados foram bons.

Na **Figura 5a**, os efeitos da fumaça, reduzindo os valores de NDVI, são claramente observados através da presença de pixels mais escuros em torno da pluma. Quando a equação de regressão da **Figura 4** foi aplicada para estimar a resposta espectral da banda do vermelho, os novos valores de NDVI calculados minimizam estes efeitos ou removem os pixels escuros em torno da pluma na **Figura 5b**. Entretanto, visto que as correlações entre as bandas do vermelho e do SWIR não são válidas para a água, pois a mesma tende a absorver toda a radiação no SWIR, os valores de NDVI produzidos para os corpos de água são altos ou discrepantes na **Figura 5b**. Este problema poder facilmente solucionado através do uso de máscaras para isolar os corpos d' água.

Quando os valores originais de NDVI e NDVI corrigidos para a fumaça são comparados entre as três datas, diferenças observadas de até 0,30 para a vegetação de cerrado, antes da correção, são reduzidas para valores inferiores a 0,05 após a correção. Isto demonstra o bom desempenho da presente abordagem na minimização dos efeitos da fumaça sobre o cálculo deste índice.

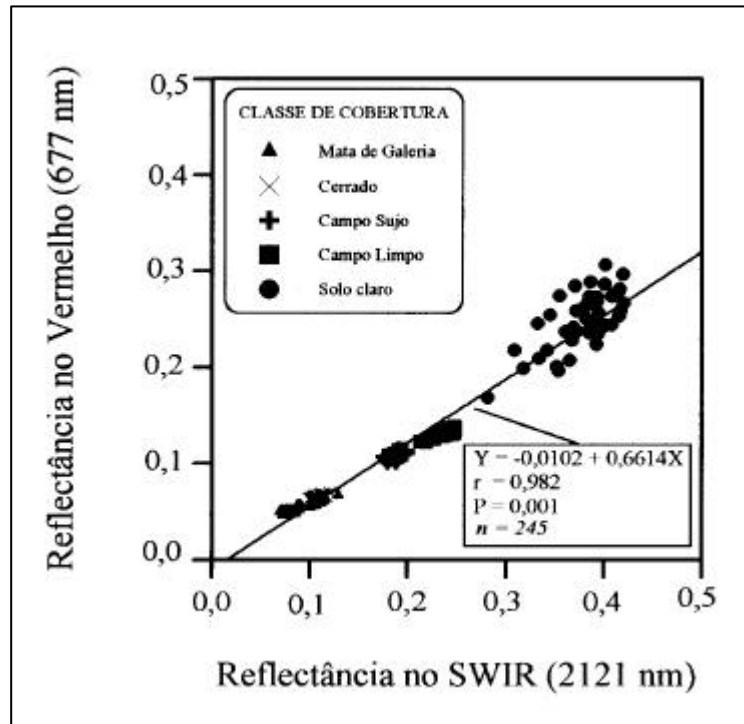
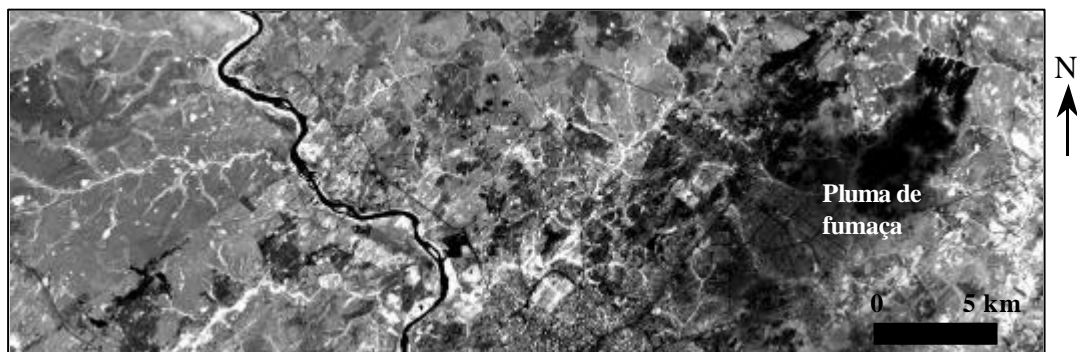
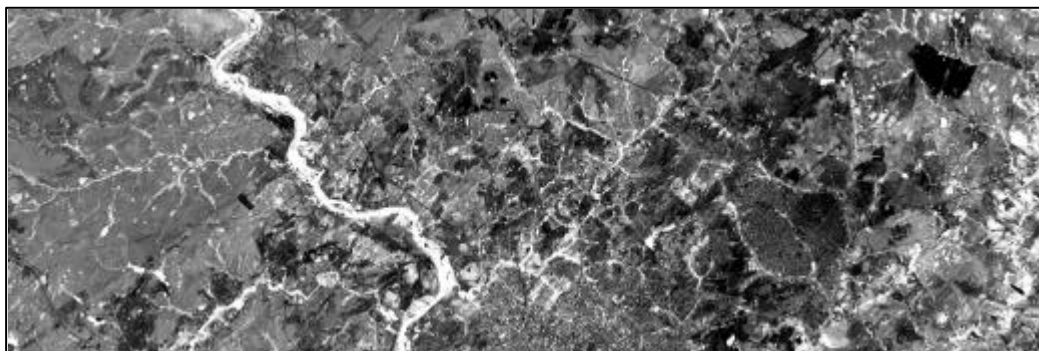


Figura 4 - Coeficiente de correlação linear entre as bandas AVIRIS do vermelho



(a)



(b)

Figura 5 - (a) Imagem NDVI da área de estudo, obtida com as bandas AVIRIS do vermelho (677 nm) e infravermelho próximo (864 nm). (b) Imagem NDVI obtida a partir da estimativa da resposta da banda do vermelho (677 nm) através da banda do SWIR (2121 nm).

4. Conclusões

Os efeitos produzidos pela fumaça são dependentes do alvo, especialmente nas faixas do visível e do infravermelho próximo. No intervalo do SWIR, estes efeitos não são significantes. Os resultados deste estudo confirmam observações anteriores feitas por Karnieli et al. (2001), que mostram ser possível estimar a resposta espectral da banda do vermelho (afetada pela fumaça) através de dados do SWIR (não afetados pela fumaça) e, portanto, minimizar os efeitos da fumaça sobre o cálculo do NDVI. O poder de predição desta relação é melhor para superfícies com vegetação e diminui para solos. Na obtenção das relações de regressão, melhores resultados são verificados quando somente espectros de vegetação são considerados na análise.

Visto que as correlações entre as bandas do vermelho e do SWIR tendem a ser altas ao longo de todo o intervalo 2100-2400 nm, estas relações podem ser estendidas para dados multiespectrais como os obtidos pelo sensor ETM+/Landsat 7.

Referências

Gao, B.; Heidebrecht, K. B.; Goetz, A. F. H. Derivation of scaled surface reflectance from AVIRIS data. *Remote Sensing of Environment*, v. 44, p. 165-178, 1993.

Karnieli, A.; Kaufman, Y. J.; Remer, L.; Wald, A. AFRI - aerosol free vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, v. 77, p. 10-21, 2001.

Kaufman, Y. J.; Remer, L. A. Detection of forests using mid-IR reflectance: an application for aerosol studies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 32, p. 672-683, 1994.

Kaufman, Y. J.; Wald, A. E.; Remer, L. A.; Gao, B.; Li, R.; Flynn, L. The MODIS 2.1 μm channel - correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 35, p. 1286-1298, 1997.

Miura, T., Huete, A. R., van Leeuwen, W. J. D., and Didan, K. Vegetation detection through smoke-filled AVIRIS images: an assessment using MODIS band passes. *Journal of Geophysical Research*, v. 103, p. 32001-32011, 1998.0