

Resposta Espectral dos Solos da Microbacia de Walnut Gulch em Função do Ângulo de Visada, da Umidade e da Rugosidade Superficial

Luciano J. de O. Accioly

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, CNPS- UEP Recife
Rua Antonio Falcão, 402 - Recife, Pe, Brazil 51020-240
oaccioly@elogica.com.br

Alfredo R. Huete

Karim Batchily

The University of Arizona
Soil, Water and Environmental Science Dept.
429 Shantz Bldg. #38 Tucson-AZ 85721
ahuete@ag.arizona.edu
batchily@ag.arizona.edu

Abstract. The characterization of the anisotropic behavior of soils under different conditions of viewing angle, soil moisture and surface roughness is a key factor for delineating soil spectral map units. In this paper the anisotropic behavior of three soils of the Walnut Gulch Experimental Watershed is presented as a function of the illumination/sensor viewing geometry, wavelength, the degree of wetness and surface roughness. The bidirectional reflectance factors (BRF) were measured in the field under dry and wet conditions from 0.45 to 0.90 μm for a solar zenith angle of 30° and viewing angles varying from - 45 to 45°. Lab BRF was measured in the interval between 0.40 and 2.50 μm . The effect of surface roughness on the BRF was measured in a smooth, intermediate and rough conditions for three solar zenith angles: 30, 40, and 50°. All soil surfaces presented high anisotropic behavior which increased in shortwave bands, and in rough surfaces and decreased after wetting. Changes in anisotropic behavior with the wavelength was clearer under lab conditions. Differentiation between rough and smooth surfaces was possible only in the forward scattering direction for any solar zenith angle.

Keywords: Bidirectional reflectance factor, viewing angle, moisture, roughness

Introdução

As variações no comportamento espectral dos solos, levando-se em consideração mudanças na geometria que combinam os ângulos de visada e de incidência da fonte de iluminação têm sido estudadas por vários pesquisadores tanto para dados de laboratório (Coulson, 1966; Coulson et al. 1965) quanto para os dados de campo (Eaton e Dirmhirn, 1979; Coulson e Reynolds, 1971; Kimes, 1983; Kimes e Sellers; 1985; Kimes et al., 1985). Na sua maioria, os solos apresentam um comportamento espectral anisotrópico que é assimétrico em relação à linha do Nadir. O conhecimento deste comportamento (também conhecido como Fator de Reflectância Bidirecional ou FRB) é indispensável para a extração de informações sobre os solos de uma dada região a partir de imagens de satélite. Variações no FRB dos solos dependem da textura, constituição das partículas do solo, rugosidade superficial, teor de umidade, encrostamento, entre outros fatores.

Para um dado solo as curvas características do FRB são diferentes quando são consideradas amostras úmidas e amostras secas. Quando se adiciona água à amostras de solo o efeito é de redução generalizada da radiação refletida no intervalo espectral que vai de 0.4 a 2.6 μm (Hoffer & Johannsen, 1969; Bowers & Hanks, 1965; Curran et al., 1990; Epiphany et al., 1992). Também tem sido demonstrado que o anisotropismo da resposta espectral de um solo está associado à rugosidade superficial característica deste solo (Eaton e Dirmhirn, 1979; Irons e Smith, 1990; Jackson et al., 1990).

Considerando-se que a geometria que combina os ângulos de visada e de incidência da fonte de iluminação, a rugosidade superficial, e a condição de umidade (seco vs. úmido) afetam a resposta espectral dos solos, estes fatores poderão afetar também a interpretação dos mapas espectrais dos solos. Esta pesquisa teve como objetivo a caracterização do FRB dos solos da microbacia experimental de Walnut Gulch em função destes fatores.

Material e Métodos

As medições de FRB foram feitas em seis séries de solos presentes na microbacia experimental de Walnut Gulch no sudeste do Estado do Arizona (31.7° N e 110° W). A nível de campo o FRB foi medido em solo nu na estação seca de 1995/96 durante os meses de Maio e Junho utilizando-se um espectralradiômetro (Spectron modelo SE590) com cobertura espectral que vai de 0,45 a 0,90 μm , 0,01 μm de intervalo amostral e 15° de campo de visada. O espectralradiômetro foi montado a 2,3 m de altura seguindo um procedimento similar ao descrito por Jackson et al.(1990). As medições foram feitas para ângulos de visada variando de - 45° (na direção do retroespalhamento) a 45° (direção do espalhamento) com incrementos de 5 em 5°, no plano principal, e para um ângulo solar zenital de 30° \pm 2°. Para a avaliação do efeito da rugosidade na resposta espectral, foram ainda utilizados os

seguintes ângulos solar zenital: $40^\circ \pm 2^\circ$ e $50^\circ \pm 2^\circ$. Imediatamente após a medição do FRB em solo seco, a superfície do solo foi umedecida e novas medidas espectrais foram feitas. Medições da resposta espectral de uma placa padrão de spectralon foram realizadas imediatamente antes e imediatamente após as leituras sob condição de solo seco e umedecido.

Amostras dos solos foram retiradas dos locais onde foram feitas as medições de FRB no campo, secas ao ar, peneiradas na malha de 2 mm e encaminhadas ao Reflectance Laboratory (RELAB) na Universidade de Brown. As curvas espectrais do RELAB foram obtidas para a faixa espectral de 0,4 a 2,5 μm com intervalo amostral espectral de 0.005 μm , para os ângulos de visada de -35° e 35° , ângulo de iluminação de 25° e no plano principal.

Devido ao fato de que só foi possível observar níveis de rugosidade superficiais contrastantes na série de solo Epitaph, esta unidade foi escolhida para avaliação dos efeitos da rugosidade superficial sobre as curvas espectrais deste solo.

Resultados e Discussão

Os dados de campo do FRB processados para as bandas do TM são apresentados na Figura 1 para as condições de solo seco e umedecido para 3 das 6 séries de solo: Stronghold (Coarse-loamy, mixed, thermic Ustollic Calciargids), McAllister (Fine-loamy, mixed, thermic Ustollic Calciargids) e Epitaph (Fine, montmorillonitic, thermic Leptic). Estes dados foram normalizados para a resposta espectral para o ângulo de visada do Nadir e expressos como FRB relativo. As três séries de solo apresentaram forte comportamento anisotrópico, assimétrico em relação ao Nadir. O grau de anisotropismo diminuiu após o umedecimento da superfície dos solos mostrando a dependência do FRB em relação à condição da umidade do solo. Após o umedecimento houve uma tendência generalizada ao achatamento das curvas do FRB relativo. Para todas as bandas do TM e para ambas condições (seco e umedecido), o FRB relativo aumentou à medida em que se aumentou o ângulo de visada na direção do retroespalhamento até atingir um valor máximo (para aproximadamente -35°), e diminuiu gradualmente à medida em que o ângulo de visada aumentou no sentido do espalhamento da radiação refletida. Um maior anisotropismo foi apresentado pela série de solo Epitaph, seguido por McAllister e Stronghold. Além de ser influenciado pela umidade o comportamento anisotrópico dos solos McAllister e Epitaph foi também dependente da faixa espectral considerada, com o grau de anisotropismo decrescendo da banda 1 para a banda 4 (Figura 1). O maior grau de anisotropismo apresentado pela série de solo Epitaph pode ser atribuído a maior rugosidade superficial apresentada por este solo (rugosidade relativa de 1,18 contra 1,11 e 1,07 para os solos McAllister e Stronghold, respectivamente).

Os dados do RELAB confirmaram as observações de campo e mostraram que o grau de anisotropismo das curvas espectrais decresceu à medida em que se aumentou o comprimento de onda (Figura 2) sendo maior para o solo Epitaph do que para os demais solos. Para o solo Epitaph, por exemplo, os valores do FRB na banda azul do Landsat TM para um ângulo de visada de 35° foram, respectivamente, 40% maior na direção do retroespalhamento e 20% menor na direção do espalhamento quando comparadas ao valor do FRB obtido para o Nadir. Para a banda 7, localizada no infravermelho médio, estes números caem para cerca de 15% a mais e 5% a menos, respectivamente, da resposta espectral obtida no Nadir.

O efeito dos diferentes níveis de rugosidade presentes em áreas ocupadas pelo solo Epitaph sobre o FRB relativo é apresentado na Figura 3 para a banda azul do TM (banda 1) e para os três ângulos zenitais solar. O ângulo de visada para o qual os valores de FRB foram máximos pode ser visto apenas para os ângulos zenitais solar dentro do range do aparelho de FRB (-45° a 45°). A Figura 3 mostra que mesmo para a superfície considerada “plana ou sem rugosidade” (rugosidade relativa 1,03) ainda houve suficiente rugosidade em relação à faixa espectral considerada. Esta resposta pode ser atribuída a influência das frações mais finas de fragmentos de rochas que não foram detectados pelo medidor de rugosidade descrito por Simaton et al. (1971). A Figura 3 mostra ainda que uma melhor discriminação da superfície mais rugosa (rugosidade relativa 1,32) das demais foi obtida na direção do espalhamento da radiação refletida. O fato de que o material original da série Epitaph (basalto) apresentou valores de reflectância inferiores aos deste solo fez com que houvesse uma compensação do aumento do FRB na direção do retroespalhamento pela baixa reflectância desta rocha. Na direção do espalhamento as sombras presentes em maior intensidade na superfície mais rugosa foram responsáveis pela sua diferenciação em relação às superfícies “sem rugosidade” ou com rugosidade intermediária (rugosidade relativa 1,16).

Conclusões

Todos os solos estudados apresentaram alto grau de anisotropismo que se mostrou mais intenso na série de solo Epitaph. O anisotropismo apresentado pelos três solos foi dependente da condição de umidade do solo (seco vs úmido), e da faixa espectral considerada. Desta forma, o anisotropismo dos solos decresceu nos solos umedecidos e nos intervalos de maiores comprimentos de onda. A distinção de superfícies com diferentes níveis de rugosidade no solo Epitaph foi melhor na direção do espalhamento da energia refletida.

Literatura Citada

- Bowers, S.A., and R.J. Hanks. 1965. Reflection of radiant energy from soils. *Soil Science*, 100:130-138.
- Coulson, K.L. 1966. Effects of reflection properties of natural surfaces in aerial reconnaissance. *Appl. Opt.* 5:905-917.
- Coulson, K.L., and D.W. Reynolds. 1971. The spectral reflectance of natural surfaces. *J. Appl. Meteorol.* 10:1285-1295.
- Coulson, K.L., G.M. Bouricius, and E.L. Gray. 1965. Optical reflection properties of natural surfaces. *J. Geophys. Res.* 70:4601-4611.
- Curran, P.J, G.M. Foody, K.Ya. Kondratyev, V.V. Kozoderov, and P.P. Fedchenko. 1990. *Remote Sensing of Soils and Vegetation in the USSR*. Taylor & Francis, London
- Eaton, F.D., and I. Dirmhirn. 1979. Reflected irradiance indicatrices of natural surfaces and their effect on albedo. *Applied Optics*, 18:995-1008.
- Epiphanyo, J.C.N., A.R. Formaggio, M.M Valeriano, and J.B. Oliveira. 1992. Spectral behavior of the soils of Sao Paulo State (in portuguese). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sao Paulo, Brazil. INPE publication 5424-PRP/172
- Hoffer, R.M., and C.J. Johannsen. 1969. Ecological potentials in spectral signature analysis. p.1-19. *In Johnson, P.L. (ed.) Remote sensing in ecology*. University of Georgia Press, Athens.
- Irons, J.R., and J.A. Smith. 1990. Soil surface roughness characterization from light scattering observations. p. 1007-1010. *In Proceedings of IGARSS*.
- Jackson, R.D., P.M. Teillet, P.N. Slater, G. Fedosejevs, M.F. Jasinski, J.K. Aase, and M.S. Moran. 1990. Bidirectional measurements of surface reflectance for view angle corrections of oblique imagery. *Remote Sens. Environ.* 32:189-202.
- Kimes, D.S. 1983. Dynamics of directional reflectance factor distributions for vegetation canopies. *Appl. Opt.* 22:1364-1372.
- Kimes, D.S. and P.J. Sellers 1985 Inferring hemispherical reflectance of the earth's surface for global energy budgets from remotely sensed nadir or directional radiance values. *Remote Sens. Environ.* 18:205-223.
- Kimes, D.S., W.W. Newcomb, C.J. Tucker, I. S. Zonneveld, W. Van Wijngaarden, J. De Leeuw, and G.F. Epema. 1985. Directional reflectance factor distributions for cover types of northern Africa. *Remote Sens. Environ.* 18:1-19.
- Simanton, J.R., R.M. Dixon, and I. McGowan. 1971. A microroughness meter for evaluating rainwater infiltration. *Hidrology and Water Resources in Arizona and the Southwest* 11:171-174.

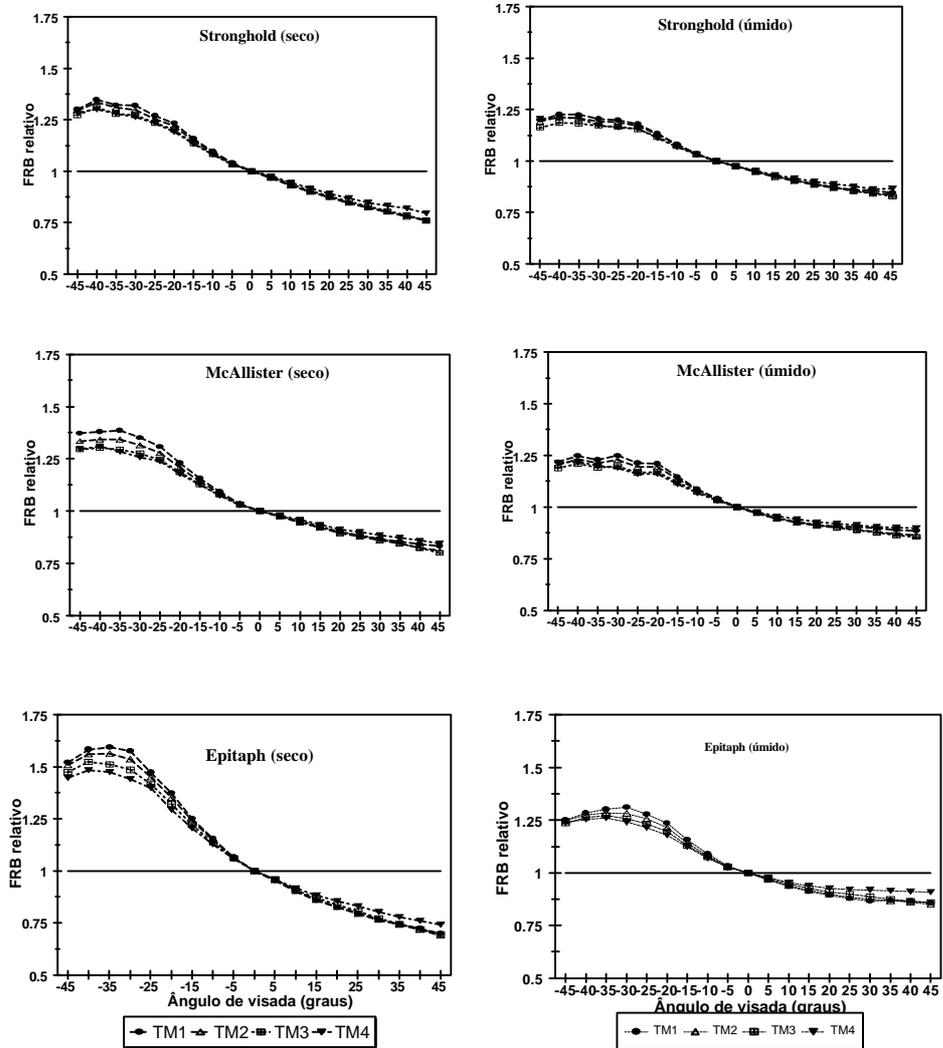


Figura 1 Variação do fator de Reflectância Bidirecional (FRB) obtido no campo para as condições de solo seco e úmido, em função de diferentes ângulos de visada. Os dados foram normalizados em relação ao nadir. Os símbolos indicam a resposta espectral das primeiras 4 bandas do sensor TM-Landsat5, simulados a partir dos dados espectrorradiométricos

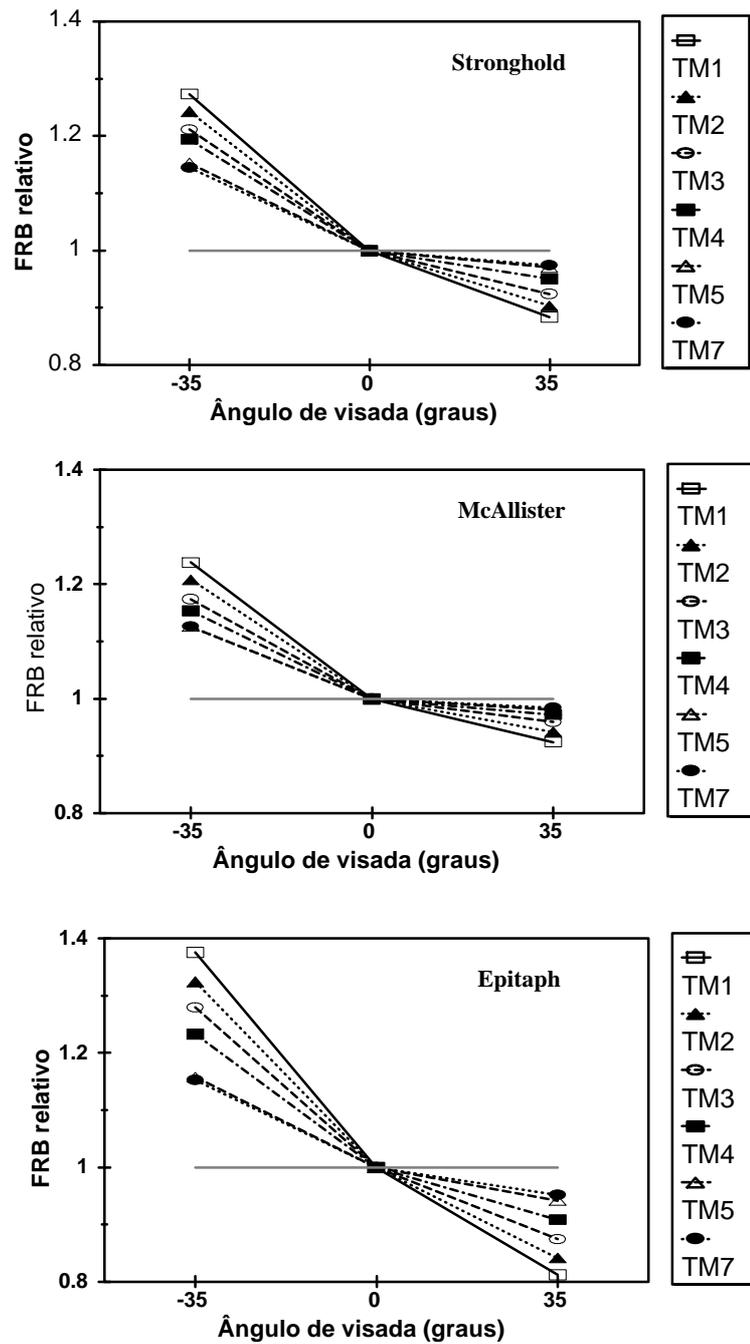


Figura 2 Variação do Fator de Reflectância Bidirecional (FRB) obtido em laboratório para condições de solo seco, em função do ângulo de visada. Os dados foram normalizados em relação ao nadir

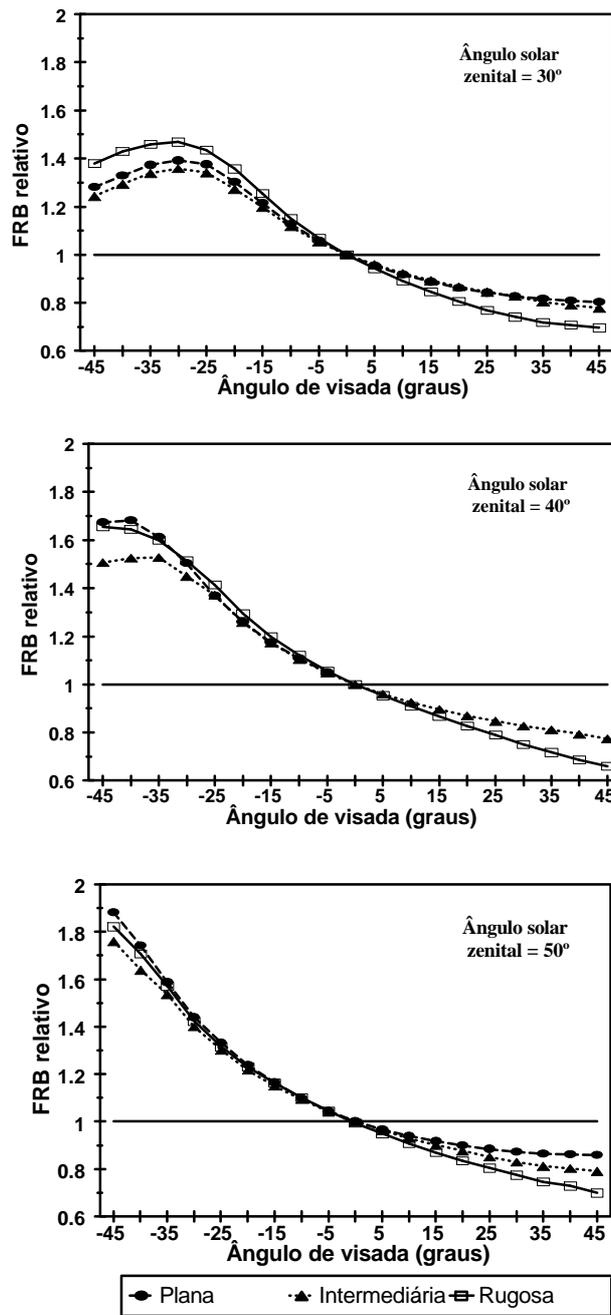


Figura 3 Efeito dos ângulos de visada e solar zenital sobre o Fator de Reflectância Bidirecional (FRB) para diferentes níveis de rugosidade do solo Epitaph. Os resultados são apresentados para a banda 1 do TM (0,45 - 0,52 μm) e foram normalizados em relação ao nadir