

DETERMINAÇÃO DO PADRÃO DE RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE DO BRASIL UTILIZANDO IMAGENS DE SATÉLITES EM MICROONDAS

Rodrigo Augusto Ferreira **de SOUZA**¹, Eduardo Jorge **de BRITO BASTOS**², Regina Célia dos Santos **ALVALÁ**³

RESUMO

O padrão de rugosidade da superfície continental foi estabelecido para caracterização de propriedades das superfícies do Brasil. Utilizaram-se dados de temperatura de brilho obtidos a partir do Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I), na frequência de 85 GHz, e dados de temperatura da superfície inferidos pelo sistema Tiros Operational Vertical Sounder (TOVS). O padrão de rugosidade foi estabelecido pela diferença entre os campos de emissividade de polarização vertical e horizontal em 85GHz, na resolução espacial de 0,25°X 0,25°. A emissividade da superfície, nas polarizações vertical e horizontal, foi determinada utilizando-se uma solução da Equação de Transferência Radiativa (ETR). Os resultados mostraram que os padrões regionais e as mudanças sazonais da rugosidade estão consistentes com a topografia de grande escala e com a distribuição espacial da vegetação.

INTRODUÇÃO

Com o advento dos sensores orbitais em microondas, iniciou-se uma fase de estudos com o objetivo de monitorar continuamente a superfície terrestre. A viabilidade de se estimar, com precisão, a emissividade da superfície continental em microondas, oferece inúmeras possibilidades para sua utilização na inferência de parâmetros atmosféricos e de nuvens, e no monitoramento da superfície terrestre.

Diversos estudos têm sido realizados com o intuito de melhor entender os mecanismos responsáveis pela emissão do solo e da vegetação em microondas. A teoria básica dos estudos sobre a umidade do solo, a partir de dados remotos na faixa de microondas, considera a forte dependência entre as propriedades dielétricas do solo e o seu conteúdo de umidade. Dentre esses estudos destacam-se: Choudhury et al. (1979); Schmugge et al. (1980); Wang e Schmugge (1980); Schmugge et al. (1986); e, Jones e Vonder Haar (1990).

¹ Aluno do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia do INPE, Caixa Postal 515, 12201-970, São José dos Campos, SP. E-mail:rodrigo@met.inpe.br. Bolsista CAPES.

² Dr. Pesquisador Visitante da DMS/INPE, Caixa Postal 515, 12201-970, São José dos Campos, SP. E-mail: eduardo@met.inpe.br. Bolsista CNPq.

³ Dra. Pesquisadora da DCM/INPE, Caixa Postal 515, 12201-970, São José dos Campos, SP. E-mail: regina@met.inpe.br.

Por sua vez, Prigent et al. (1997) estimaram a emissividade da superfície continental, em microondas, para os meses de março, julho, outubro e dezembro de 1991, para as regiões da África, grande parte da Europa e oeste da Ásia. Para tal, dados dos sensores SSM/I que opera a bordo do satélite F10/DMSP (Defense Meteorological Satellite Program), dados climatológicos de temperatura da superfície do ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) e perfis de temperatura e umidade inferidos a partir do sistema TOVS/TIROS-N (TIROS Operacional Vertical Sounder). A partir das análises de correlação entre a emissividade em microondas e propriedades da superfície verificaram a existência da vegetação, topografia, cobertura de neve e umidade do solo.

Considerando a importância da estimativa de emissividade da superfície continental para caracterização de propriedades da superfície, o objetivo deste trabalho foi avaliar o padrão de rugosidade do território brasileiro pela diferença entre os campos de emissividade de polarização vertical e horizontal. Para tal foi utilizado dados dos sensores SSM/I a bordo do satélite F14/DMSP e dados remotos obtidos pelo sistema TOVS a bordo dos satélites da série TIROS-N/NOAA, referente aos meses de julho e dezembro de 1997.

DADOS UTILIZADOS

Neste trabalho utilizaram-se dados de temperaturas de brilho obtidas a partir do sensor SSM/I na frequência de 85 GHz, que opera a bordo do satélite F14/DMSP, os quais foram cedidos pelo Global Hydrology Resource Center (GHRC) do Global Hydrology and Climate Center em Huntsville, Alabama (EUA). Além disso, utilizaram-se dados de temperatura da superfície (surface skin temperature) obtidos a partir do sistema TOVS/TIROS-N (TIROS Operational Vertical Sounder). Os dados do sistema TOVS foram coletados pela antena da Divisão de Satélite Ambiental (DSA) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) em Cachoeira Paulista (São Paulo), abrangendo a região compreendida entre as latitudes 5°S e 40°S e longitudes 30°W e 80°W. Os dados utilizados correspondem aos meses de julho e de dezembro de 1997 e a área estudada abrange todo o território brasileiro.

METODOLOGIA

Considerando uma superfície plana, a solução da ETR, para uma atmosfera plano paralelo sem espalhamento, pode ser expressa em termos de temperatura de brilho para cada polarização ortogonal P (P pode representar a polarização horizontal, P_H , ou a polarização vertical, P_V). Assim, a partir dessa versão da ETR a emissividade da superfície continental pode ser estimada pela seguinte expressão:

$$\epsilon_P = \frac{TbP - T_{atm}^{\uparrow} - T_{atm}^{\downarrow} e^{-\tau(0,s_1)\sec\theta}}{e^{-\tau(0,s_1)\sec\theta} (T_S - T_{atm}^{\downarrow})} \quad (3.1)$$

e, daí a rugosidade da superfície continental pode ser determinada pela equação:

$$\epsilon_{P_V} - \epsilon_{P_H} = \frac{TbP_V - TbP_H}{e^{-\tau(0,s_1)\sec\theta} (T_S - T_{atm}^{\downarrow})}. \quad (3.2)$$

onde

$$T_{atm}^{\downarrow} = \int_0^{s_1} T(z) \rho k(z) e^{-\tau(0,z)\sec\theta} dz \quad (3.3)$$

e

$$T_{atm}^{\uparrow} = \int_0^{s_1} T(z) \rho k(z) e^{-\tau(z,s_1)\sec\theta} dz, \quad (3.4)$$

sendo TbP a temperatura de brilho para a polarização P; T_S a temperatura da superfície (surface skin temperature); ϵ_P a emissividade da superfície para a polarização P; θ o ângulo de visada do satélite; ρ a densidade atmosférica; $k(z)$ o coeficiente de absorção atmosférica para uma dada altitude z; $T(z)$ a temperatura atmosférica para a altitude z;

e, $t(z_0, z_1) = \int_{z_0}^{z_1} \rho k(z) dz$ a opacidade atmosférica de z_0 a z_1 .

APLICAÇÃO DO MÉTODO

Para selecionar as imagens sobre o Brasil, fez-se a leitura dos arquivos correspondentes às passagens do satélite F14/DMSP (SSM/I). Selecionadas as imagens, elaborou-se um programa para leitura dos arquivos de temperatura de brilho e transformação da projeção de satélite em ponto de grade. Uma vez executado este programa, navegou-se linha e coluna de cada uma das passagens do SSM/I, criando

arquivos com dados de latitude, longitude e temperatura de brilho nas resoluções espaciais correspondentes à frequência de 85 GHz.

De acordo com os horários das passagens do satélite F14/DMSP sobre o Brasil, selecionou-se as sondagens TOVS, de passagens do NOAA-12 e NOAA-14. Utilizando o programa ITPP5.0 (International TOVS Processing Package – 5) efetuou-se o processamento das sondagens TOVS, gerando arquivos de dados de temperatura da superfície para áreas de céu aberto (sem nuvens). Em seguida, utilizou-se um outro programa para leitura dos arquivos de temperatura da superfície e transformação dos dados de projeção imagem para pontos de grade, a partir de interpolação linear na resolução de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. Utilizando o método Kriging de interpolação criaram-se os campos médios mensais de temperatura da superfície (Vieira et al., 1983). Além disso, utilizou-se uma “máscara” para interpolar os dados de temperatura da superfície somente para os pontos de grade que se encontravam sobre o continente brasileiro.

Para obtenção dos parâmetros $T_{\text{atm}}^{\uparrow}$, $T_{\text{atm}}^{\downarrow}$ e τ , efetuou-se simulações com o modelo ATM (Atmospheric Transmission at Millimetric and submillimetric wavelengths) – (Pardo, 1996). Utilizou-se o modo satélite de observação em 85 GHz, considerando uma atmosfera tropical padrão para todo o território brasileiro.

Finalmente, estimou-se as emissividades nas polarizações vertical e horizontal para cada passagem do satélite F14/DMSP, utilizando-se a Equação (3.1). Daí, efetuou-se a subtração dos campos de emissividade na polarização horizontal dos campos na polarização vertical (conforme a Equação 3.2), com a finalidade de verificar o padrão de rugosidade da superfície.

RESULTADOS

O campo da diferença de emissividade de julho, em 85 GHz (Figura 1), apresenta os menores valores sobre a região Norte do país (Floresta Amazônica), apesar de se observar sobre essa região uma estreita faixa, estendendo de Oeste até o Oceano Atlântico, com valores máximos. Outros máximos são também observados sobre as regiões do Pantanal (Centro Oeste), Norte da Bahia e Sudoeste da região Sudeste. Os valores máximos de diferença de emissividade estão associados às características de superfícies planas (água, áreas não vegetadas ou esparsamente vegetadas), enquanto os menores valores estão associados as superfícies rugosas (áreas vegetadas e/ou

montanhosas). Essas características também foram observadas por Prigent et al. (1997) para o continente africano e estão consistentes com o padrão de Índice de Área Foliar (IAF) obtidos por Ranga et al. (1997). Padrão similar foi observado para o campo de dezembro (Figura 2).

De modo geral, nos campos em 85 GHz verificam-se uma diferença no padrão de rugosidade entre julho e dezembro. Em dezembro, observa-se um aumento considerável na rugosidade da superfície; no entanto, para a região Norte esta diferença não é tão significativa se comparada com as demais regiões do país. Assim, com o decréscimo da densidade de biomassa, a polarização horizontal diminui e a polarização vertical aumenta, resultando num aumento da diferença entre as polarizações. Essa característica também foi observada por Prigent et al. (1997).

As regiões com vegetação esparsa ou solo rochoso apresentaram baixa emissividade para a polarização horizontal ($0.80 < \epsilon < 0.88$) e alta diferença de emissividade ($\epsilon_v - \epsilon_h > 0.015$) se comparadas com as áreas de vegetação densa. Nas escalas espacial utilizada, as superfícies rochosas ou com vegetação esparsa atuam como uma superfície plana (homogênea) produzindo alta diferença de emissividade. Por outro lado, as áreas de vegetação densa (floresta tropical) apresentaram altos valores de emissividade para a polarização horizontal e baixa diferença de emissividade, devido ao espalhamento provocado pela vegetação. Assim, com o decréscimo da densidade de biomassa a polarização horizontal diminui e a polarização vertical aumenta, resultando num aumento da diferença de polarização. Outra característica verificada, foi a presença de baixos valores de diferença de emissividade associados as características topográficas da região (região montanhosa). A diferença de emissividade diminui com o aumento da topografia (rugosidade). As áreas cobertas com água (rios e lagos) apresentaram baixa emissividade.

CONCLUSÕES

Na ausência de medidas diretas de emissividade em microondas para grandes escalas espaciais, os resultados mostraram que os padrões regionais e as mudanças sazonais da rugosidade estão consistentes com a topografia de grande escala e com a distribuição espacial da vegetação.

Finalmente, pode-se afirmar que estimar a emissividade da superfície continental em microondas oferece a possibilidade de monitorar a superfície terrestre.

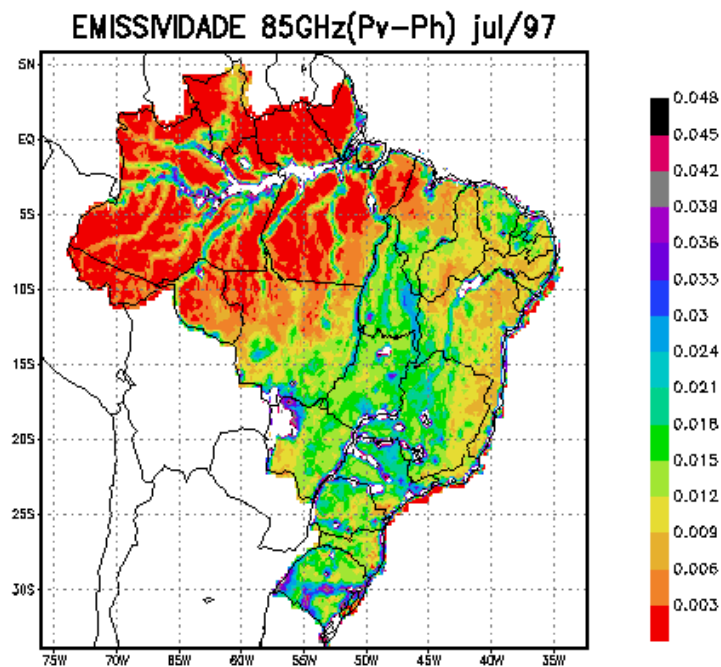


Fig. 1 – Diferença de Emissividade ($\epsilon_v - \epsilon_h$) para a frequência de 85 GHz (julho).

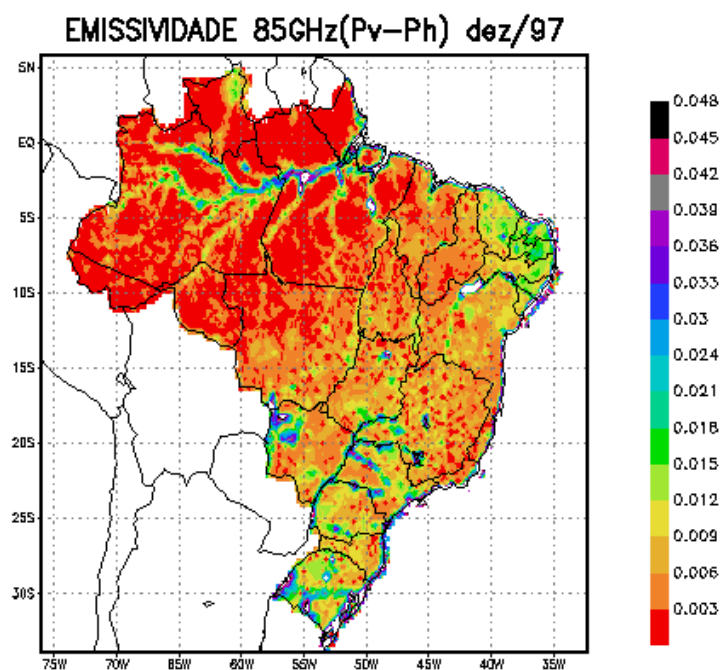


Fig. 2 – Diferença de Emissividade ($\epsilon_v - \epsilon_h$) para a frequência de 85 GHz (dezembro).

BIBLIOGRAFIA

- CHOU DHURY, B. J.; T. J. SCHMUGGE; R. W. NEWTON; A. CHANG. Effect of surface roughness on the microwave emission from soils. **Journal of Geophysical Research**, v. 84, p. 5699-5706, 1979.
- JONES, A. S.; H. T. VONDER HAAR. Passive microwave remote sensing of cloud liquid water over land regions. **Journal of Geophysical Research**, v. 95, p. 16673-16683, 1990.
- PARDO, J. R. **Études de l'atmosphère terrestre au moyen d'observations dans les longues d'onde millimétriques et submillimétriques**. Université PARIS. 202 p. Tese de Doutorado - Universidad Complutense de Madrid, 1996.
- PRIGENT, C.; W. B. ROSSOW; E. MATTHEWS. Microwave land surface emissivities estimated from SSM/I observations. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, No.D18, p. 21867-21890, 1997.
- RANGA, B. M.; R. R. NEMANI; S. W. Running. Estimation of Global Leaf Area Index and Absorbed Par Using Radiative Transfer Models. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35 (n. 6), p. 1380-1393, 1997.
- SCHMUGGE, T. J.; T. J. JACKSON; H. L. McKim. Survey of methods for soil moisture determination. **Water Resources Research**, v. 16, p. 961-979, 1980.
- SCHMUGGE, T. J.; P. E. O'NEILL; J. R. WANG. Passive microwave soil moisture research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 24, p. 12-22, 1986.
- VIEIRA, S. R.; J. L. HATFIELD; D. R. NIELSEN; J. W. BIGGAR. Geostatistical Theory and Application to Variability of Some Agronomical Properties. **Journal of Agricultural Science**, v. 51, p. 1-49, 1983.
- WANG, J. R.; T. J. SCHMUGGE. An empirical model for the complex dielectric permittivity of soils as a function of water content. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, GE-18, p. 288-295, 1980.