

Avaliação da temperatura de superfície terrestre sobre a América do Sul derivada do sensor AMSR-E/Aqua

Luciana Rossato¹
Richard de Jeu²
Regina Célia dos Santos Alvalá³

¹ Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 01– 12630-000 – Cachoeira Paulista- SP, Brasil.
luciana.rossato@cptec.inpe.br.

² Vrije Universiteit Amsterdam - VU
De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam - The Netherlands
richard.de.jeu@falw.vu.nl

³ Centro de Ciência do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
regina.alvala@inpe.br

Abstract. Land surface temperature (LST) is an important parameter in a variety of environmental studies, especially in climate modeling. The traditional technique to measure the surface temperature from satellite is the thermal infrared. However, a great disadvantage of this technique is that clouds and other atmospheric phenomena can disrupt and often completely mask the signal. Therefore, the passive microwave remote sensing is a more promising tool, since it affects the atmosphere much less in the microwave signal. According to previous studies, vertical brightness temperature in 37 GHz has a potential to estimate the surface temperature, since the precipitate water in the atmosphere not influence significantly on this band and does not need any additional correction. Based on these considerations, Owe et al. (2001) found a link between the observations at frequency of 37 GHz vertically polarized and soil temperature. From this relationship, land surface temperature derived from AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer) sensor observations was estimated by Land Parameter Retrieval Model (LPRM). For comparison, observations “in situ” and MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data on board Aqua satellite over South America were used. The results showed good agreement between satellite products, showing high correlation. From these results we concluded that the methodology proposal by Owe et al. has a strong potential to retrieve reliable land surface temperature.

Palavras-Chave: brightness temperature, passive microwave, Land Parameter Retrieval Model, Soil Moisture Experiment 2003, MODIS sensor, temperatura de brilho, micro-ondas passiva, Modelo de Inferência dos Parâmetros de Superfície, Experimento de Umidade do Solo 2003, sensor MODIS.

1. Introdução

A temperatura da superfície é um importante parâmetro para uma variedade de estudos ambientais, especialmente em modelagem climática. No entanto, este parâmetro raramente é medido em estações meteorológicas e agrometeorológicas e sua estimativa a partir de modelos numéricos apresenta um baixo nível de precisão; portanto, é, frequentemente, predisposta a grandes erros. Além disso, mesmo com a disponibilidade de medições em campo, elas ainda são pontuais e não fornece a informação distribuída espacialmente, o que normalmente são exigidas em diferentes aplicações.

Desse modo, o sensoriamento remoto é uma ferramenta promissora para a obtenção da representatividade espacial da temperatura de superfície.

A técnica tradicional para medir temperatura da superfície por satélite é a infravermelha térmica. No entanto, uma grande desvantagem desta técnica é que nuvens e outros fenômenos atmosféricos podem perturbar e, muitas vezes, mascarar completamente o sinal. Por essa

razão, o sensoriamento remoto por microondas passiva é uma ferramenta mais promissora, uma vez que a atmosfera afeta muito menos o sinal em microondas.

De acordo com alguns estudos (Owe et al., 2001 e De Jeu, 2003), a temperatura de brilho vertical em 37 GHz possui um potencial para estimar a temperatura de superfície, uma vez que a água precipitável na atmosfera não influencia significativamente nessa banda e não necessita de nenhuma correção adicional.

Baseado nessas considerações, o objetivo deste trabalho é inferir a temperatura de superfície terrestre sobre a América do Sul, utilizando-se dados de temperatura de brilho em microondas do sensor AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer), na frequência de 37 GHz.

2. Metodologia de Trabalho

Neste estudo, os dados de temperatura de brilho obtidos por sensores passivos em microondas, para a América do Sul, foram utilizados para a determinação da temperatura de superfície obtida através do modelo de inferência dos parâmetros de superfície (Land Parameter Retrieval Model – LPRM). Este modelo foi desenvolvido para a obtenção de informações de temperatura de superfície, de profundidade óptica da vegetação e umidade do solo através de observações remotas de diferentes sensores.

Neste trabalho, os dados de temperatura de brilho (37 GHz) foram extraídos do sensor AMSR-E durante o ano de 2003. Este ano específico foi selecionado para fins de validação com os dados do Experimento de Umidade do Solo (Soil Moisture Experiment – SMEX03), o qual foi realizado na cidade de Barreiras, BA, Brasil.

O sensor AMSR-E, a bordo do satélite Aqua desde 2002, é um radiômetro passivo em microondas, de varredura cônica em 12 canais, que mede as radiações polarizadas verticalmente e horizontalmente nas frequências de 6,9, 10,7, 18,7, 23,8, 36,5 e 89,0 GHz. Ele é uma versão melhorada dos sensores dos satélites anteriores em microondas passiva. O satélite Aqua opera em órbita polar heliosíncrona, com passagem pelo Equador às 13h30min e ângulo de incidência de 54,8° (Parkinson, 2003).

2.1 Modelo de inferência dos parâmetros de superfície (LPRM)

O LPRM está baseado nas metodologias de Owe et al., 2001; de De Jeu, 2003 e de Meesters et al., 2005, as quais foram propostas para estimar a umidade do solo e a profundidade óptica da vegetação a partir de microondas passiva, de modo similar ao proposto pelo algoritmo de inferência SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity).

A base do LPRM é o modelo de transferência de ordem zero omega-tau (Mo et al., 1982) como o modelo de transferência radiativa. Este modelo utiliza vários parâmetros de entrada para estimar a temperatura de brilho, incluindo a temperatura da vegetação, temperatura efetiva da camada emissora da superfície do solo, albedo de espalhamento simples, emissividade da superfície do solo e transmissividade da vegetação. Matematicamente, neste modelo, a temperatura de brilho é calculada pela Equação 1.

$$T_{b(t)} = T_s e_{r(t)} \Gamma_{(t)} + (1 - \omega_{(t)}) T_c (1 - \Gamma_{(t)}) + (1 - e_{r(t)}) (1 - \omega_{(t)}) T_c (1 - \Gamma_{(t)}) \Gamma_{(t)} \quad (1)$$

em que T_s e T_c são as temperaturas do solo e do dossel, respectivamente, ω é o albedo de espalhamento simples e Γ a transmitância do dossel.

O primeiro termo do lado direito da Equação 1 define a radiação do solo; o segundo, a radiação direta ascendente da vegetação; e o terceiro, a radiação descendente da vegetação, refletida para cima pelo solo e atenuada pelo dossel.

Temperatura da vegetação: A vegetação absorve, emite e espalha a radiação de microondas e pode ser modelada como uma única camada homogênea acima do solo. Em

baixas frequências, os efeitos do espalhamento na interface ar-vegetação e no volume da vegetação são pequenos e muitas vezes são negligenciados. A temperatura de brilho de um meio solo-vegetação de duas camadas pode ser escrita como:

$$Tb = eT_e \exp(-\tau) + T_c[1 - \exp(-\tau)][1 + r \exp(-\tau)] \quad (2)$$

em que T_c é a temperatura da vegetação, T_e é a temperatura efetiva do solo, τ é a profundidade óptica da vegetação, e e r são as emissividade e refletividade, respectivamente, da superfície do solo. Esta expressão é obtida considerando os diferentes caminhos de transferência radiativa com o meio.

Para quantificar o espalhamento da vegetação, o termo que inclui T_c na Equação 1 deve ser modificado por um fator igual a $(1 - \omega)$, em que ω é o albedo de espalhamento simples. No entanto, ω consiste de um valor pequeno.

Outro importante parâmetro é a profundidade óptica da vegetação (τ). Para pequenos valores de τ (baixa densidade de vegetação), a Eq. 2 se reduz a $Tb = eT_e$, ou seja, a temperatura de brilho observada é aproximadamente igual à temperatura de brilho do solo, enquanto que para as grandes τ (vegetação densa), a temperatura de brilho observada se aproxima de $Tb = T_c$, ou seja, a temperatura de brilho se aproxima da temperatura do dossel, que aparece como um corpo negro de emissividade unitária. Neste último caso, o solo é completamente mascarado pela vegetação (Njoku e Entekhabi, 1996).

Dadas as considerações teóricas acima, a distribuição espacial da temperatura dentro do dossel no LPRM não foi quantificada. Assim, assume-se que o solo e a vegetação possuem a mesma temperatura ($T_s = T_c$).

Temperatura efetiva da camada emissora da superfície do solo: Neste estudo, a temperatura da camada de emissão foi estimada a partir da metodologia proposta por Owe et al. (2001), a qual estima a temperatura efetiva a partir das observações de temperatura de brilho na frequência de 37 GHz. Para comparar a temperatura de brilho em 37 GHz com medidas de temperatura do solo, torna-se necessário dispor de observações de campo e da passagem do satélite ao mesmo tempo. Assim, Owe et al. (2001) coletaram dados de temperatura do solo para a profundidade de 5 cm em 8 sítios de Oklahoma (EUA). Estes dados foram comparados com a temperatura de brilho do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) em 37 GHz, cujas passagens são próximas aos sítios selecionados. Uma relação linear entre a temperatura do solo a 5 cm e a temperatura de brilho em 37 GHz foi obtida, a qual é descrita abaixo:

$$Ts_{[5cm]} = 0.754Tb_{(37GHz)} + 82.043 \quad (3)$$

Essa relação tem um coeficiente de correlação de 0,84 e um erro padrão de 3,64 K, para 1881 pontos. Segundo Owe et al. (2001), as diferenças na umidade do solo e o tipo de solo não parecem ter uma influência considerável nesta relação, mas as discrepâncias observadas foram devido à resolução espacial dos dados (pontuais para os dados observados e média do pixel para aqueles derivados de satélite).

No entanto, as temperaturas do solo a 5 cm de profundidade não são representativas da umidade do solo em 6,6 GHz. Assim, uma relação entre a temperatura do solo em 5 e 1,25 cm foi calculada utilizando-se outro conjunto de observações (em solos nu e com vegetação) para obter a relação final entre as temperaturas do solo em 1,25 cm e as observações por satélite em 37 GHz.

$$Ts_{[1.25cm]} = 1.142Ts_{[5cm]} - 41.143 \quad (4)$$

Combinando as Equações 3 e 4, Owe et al. (2001) encontraram uma relação entre as observações na frequência em 37 GHz polarizada verticalmente e a temperatura do solo (em 1,25 cm), cuja equação é dada por:

$$T_s = 0,861T_{b(37GHz[v])} + 52.55 \quad (5)$$

A equação acima foi utilizada para calcular a temperatura de emissão da camada da superfície para a profundidade de 1,25 cm. Esta equação pode ser utilizada em escala global para calcular a temperatura da camada emissora em 6,6 GHz. No entanto, deve-se ressaltar que essa relação baseou-se apenas em medidas em alguns sítios dos Estados Unidos.

Albedo de espalhamento simples: Um valor médio para w de 0,06 foi utilizado, baseado em resultados do estudo de De Jeu (2003) e valores citados na literatura.

Emissividade da superfície do solo: A emissividade da superfície foi estimada com o modelo de Choudhury et al. (1979), em combinação com o modelo de mistura dielétrica de Wang e Schmugge (1980).

Mais detalhes sobre o algoritmo de inferência dos parâmetros de superfície estão descritos em Rossato (2009).

3. Resultados e Discussão

A Figura 1 ilustra a distribuição espaço-temporal da temperatura de superfície terrestre derivada a partir das informações do sensor AMSR-E para toda a América do Sul.

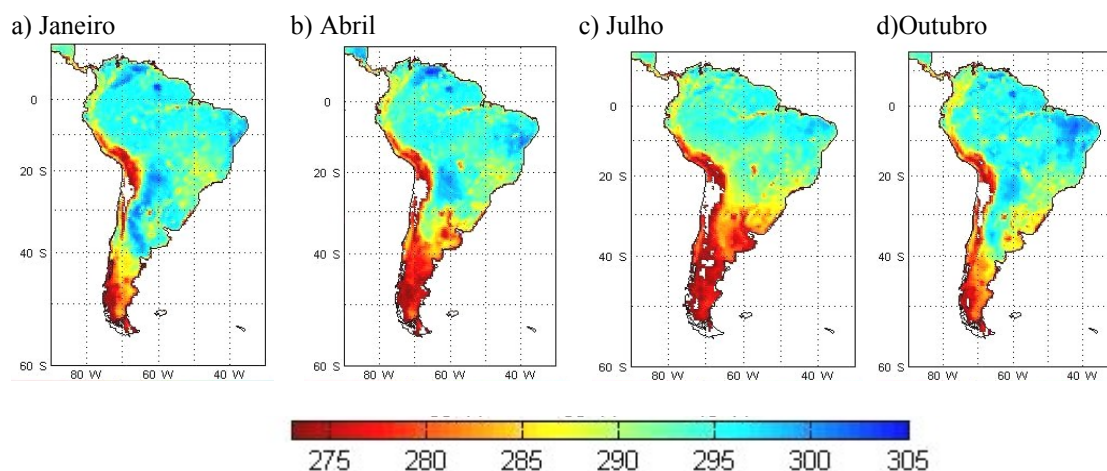


Figura 1: Distribuição espaço-temporal da temperatura de superfície (K) para a América do Sul, a qual foi derivada das observações do sensor AMSR-E durante os meses de janeiro a dezembro de 2003.

Analisando os resultados, observa-se que temperaturas mais altas são encontradas nos meses de janeiro a abril para algumas regiões do Nordeste do Brasil, da Bolívia, da Argentina, do extremo Norte da América do Sul. No mês de julho, as temperaturas permanecem baixas em grande parte da América do Sul (principalmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste), período este que coincide com a estação outono-inverno do Hemisfério Sul. No mês de outubro, as regiões afetadas com baixas temperaturas são reduzidas, observando-se novamente um aumento das temperaturas, principalmente para as regiões Leste, Oeste e Norte do continente sulamericano. Além disso, ressalta-se que a região da costa oeste da América do Sul (região da Cordilheira dos Andes, a qual é coberta por montanhas e neve) apresenta baixos índices durante o ano todo.

No entanto, a qualidade dos produtos de temperatura de superfície derivados do sensor AMSR-E depende da validação com dados medidos. Assim sendo, para este estudo foram utilizados dados de umidade do solo coletados durante o SMEX03, experimento realizado no município de Barreiras, localizado no Estado da Bahia.

Os dados de temperatura do solo (5 cm) do SMEX03 foram cedidos por Angélica Giarola, integrante da campanha mencionada. A base de dados coletados do SMEX03 também inclui dados de precipitação e de umidade do solo durante o período de 2 a 8 de dezembro de 2003.

Para a validação, foram coletadas as médias diárias das varreduras do satélite Aqua durante o período de 2 a 8 de dezembro de 2003 para a América do Sul. Considerando que os dados de satélites são obtidos em grade regular de 0.5° , os valores de temperatura de superfície foram extraídos para um pixel próximo a região dos sítios do SMEX03, cujas coordenadas geográficas são -12° de latitude e -45.2° de longitude.

Para analisar o grau de associação entre os dados de satélite e os observados, calculou-se o coeficiente de correlação entre a temperatura observada e a derivada pelo sensor AMSR-E para o sítio BA-10 do SMEX03, cujo resultado obtido foi igual a 0,74. Outrossim, considerando o curto período de dados de umidade, uma análise mais detalhada dos produtos do AMSR-E torna-se necessária.

Por essa razão, na ausência de dados medidos de temperatura do solo, os produtos de temperatura de superfície derivada do sensor AMSR-E também foi comparado com o produto de temperatura do sensor MODIS a bordo do satélite Aqua. O produto utilizado foi o MOD11, o qual contém dados de temperatura de superfície com resolução espacial de 5 km para a superfície global sob condições de céu claro. Tal produto foi desenvolvido para diversos estudos climáticos, hidrológicos, ecológicos e biológicos e encontra-se disponível em: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/dataproducts.php?MOD_NUMBER=11.

Para comparação, calculou-se o valor médio dos 10 pixels vizinhos dos dados do produto MOD11 para obter resultados na mesma resolução espacial. O coeficiente de correlação obtido entre as séries de temperatura de superfície (média anual do ano de 2003) derivada do sensor AMSR-E e do produto MOD11 foi igual a 0,79. Este resultado indica que o LPRM possui grande potencial de recuperação da temperatura de superfície utilizando dados do sensor AMSR-E.

Em outro estudo, De Jeu (2003) recuperou a temperatura de superfície para a América do Norte a partir do LPRM, utilizando dados de temperatura de brilho do sensor SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer)/Nimbus na frequência de 37 GHz. Os resultados mostraram boa comparação e indicou que o algoritmo pode ser utilizado em modelos baseados na transferência radiativa para a recuperação da umidade do solo e da profundidade óptica da vegetação.

Considerando outra abordagem física, Gao et al. (2008) também desenvolveram um algoritmo para inferir a temperatura de superfície sobre a floresta Amazônica utilizando dados de baixas frequências do sensor AMSR-E. Os resultados observados durante a estação chuvosa para a floresta tropical sugerem que o algoritmo é eficaz sob todas as condições meteorológicas e demonstra alta correlação com dados meteorológicos ($r = 0,70$). Este trabalho subsidia os resultados encontrados pelo LPRM na recuperação da temperatura de superfície, em que se observou que a distribuição espacial e temporal da temperatura é mais bem representada pelas informações obtidas do sensor AMSR-E.

Desse modo, pode-se afirmar que o LPRM possui um grande potencial para a recuperação da temperatura de superfície, uma vez que sua abordagem física pode ser aplicada em qualquer frequência em microondas e não exige nenhuma informação de campo da umidade do solo ou das propriedades biofísicas do dossel para fins de calibração.

4. Conclusões

Analisando os resultados obtidos da temperatura de superfície, média mensal, derivada das observações do AMSR-E, verificou-se que a estimativa da temperatura utilizando o LPRM é bem representativa sobre a América do Sul. Logo, pode-se inferir dos resultados obtidos que o algoritmo constitui-se numa importante ferramenta para obtenção de informações de temperatura da superfície que pode ser utilizada para diferentes fins, como por exemplo, para assimilação de dados em modelos de previsão numérica de tempo. Além disto, este trabalho constituiu-se num dos primeiros passos para uma melhor compreensão da qualidade dos produtos AMSR-E sobre a América do Sul.

Outrossim, para garantir a confiabilidade dos resultados e, principalmente, da aplicação do algoritmo de recuperação da temperatura de superfície, torna-se necessário avaliar com mais detalhes a capacidade de recuperação do algoritmo considerando as características da superfície terrestre do Brasil e, conseqüentemente, em posterior ajuste do LPRM, trabalho este em andamento. Ressalta-se, também, a necessidade de obtenção de dados de temperatura da superfície medidos em campo, em diferentes regiões do país, para posterior comparação com os dados recuperados.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo as Pesquisas do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro (Processo 2010/09841-0).

Referências Bibliográficas

- Choudhury, B. J.; Schmugge, T. J.; Chang, A.; Newton, R. W. Effect of surface roughness on the microwave emission from soils. **Journal Geophysical. Resource**, v. 84, n. C9, p. 5699–5706, 1979.
- De Jeu, R. A. M. Retrieval of land surface parameters using passive microwave remote sensing, 2003, 141 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdã, 2003.
- Gao, H.; Fu, R.; Dickinson, R. E.; Juarez, R. N. A practical method for retrieving land surface temperature from AMSR-E over the Amazon Forest. **IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing**, v. 46, n. 1, p. 193-199, 2008.
- Meesters, A. C. G. A.; De Jeu, R. A. M.; Owe, M. Analytical derivation of the vegetation optical depth from the microwave polarization difference index. **IEEE Geoscience Remote Sensing Letter**, v. 2., n. 2, p. 121-123, 2005.
- NJOKU, E. G.; ENTEKHABI, D. Passive microwave remote sensing of the soil moisture. **Journal of Hydrology**, v. 184, n. 1-2, p. 101-129, 1996.
- Owe, M.; De Jeu, R.; Walker, J. P. A methodology for surface soil moisture and vegetation optical depth retrieval using the microwave polarization difference index, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 39, n. 8, p. 1643-1654, 2001.
- Parkinson, C. L. Aqua: an earth –observing satellite mission to examine water and other climate variables. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 2, p. 173-183, 2003.
- Rossato, L. Estimativa da umidade superficial do solo a partir de sensoriamento remoto por microondas passiva sobre a América do Sul. 2009. 177 p. (INPE-16657-TDI/1615). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2010.
- Wang, J. R.; Schmugge, T. J. An empirical model for the complex dielectric permittivity of soil as a function of water content. **IEEE Transactions Geoscience Remote Sensing**, n. GE-18, p. 288-295, 1980.