

AVALIAÇÃO DA ESTIMATIVA DA EMISSIVIDADE DA SUPERFÍCIE ATRAVÉS DO MÉTODO DA CAIXA

André Luiz Farias de Souza¹, Luiz Augusto Toledo Machado¹

RESUMO: O presente estudo foi conduzido para obter a emissividade da superfície para uma amostra representativa de grama seca. As medidas foram feitas com um radiômetro Cimel CE312-1 de infravermelho termal com uma banda larga (8-14 μm) e três estreitas (11.5-12.5, 10.3-11.3, e 8.2-9.2 μm) para uma superfície normal. Os resultados mostram que o canal de 8.2-9.2 μm é mais sensível a temperatura, mostrando grande amplitude de variação e facilitando a tarefa de determinar a emissividade da superfície.

ABSTRACT: The present study was conducted to provide emissivity measurements for one representative sample of dry grass. The measurements are made in Cimel CE312-1 thermal IR with one broadband (8-14 μm) and three narrower bands (11.5-12.5, 10.3-11.3, and 8.2-9.2 μm) to the surface normal. The results show that emissivity in the 8.2-9.2 μm channel is the most sensitive to temperature showing the greatest variation and .

PALAVRAS-CHAVE: Emissividade, método da caixa, grama seca.

1. INTRODUÇÃO

A estimativa da emissividade para objetos na superfície através de dados de sensores passivos, tem utilizado diferentes técnicas. Entre estas técnicas estão os métodos de emissividade normalizada, índices térmicos espectrais (BECKER & LÍ, 1990), razões espectrais (WATSON, 1992), índice de vegetação (VALOR & CASELLES, 1997), estimativa baseada em classificação (SNYDER *et al.*, 1998), e o método de separação temperatura-emissividade (GILLESPIE *et al.*, 1998). A ausência de informações sobre a emissividade pode introduzir erros da ordem entre 0,2 a 1,2 K, para as condições de verão em médias latitudes e de 0,8 a 1,4 K para condições de inverno com uma emissividade de 0,98 (DASH *et al.*, 2002). Em superfícies vegetadas, a emissividade pode variar significativamente com o a estrutura e rugosidade do tipo de vegetação, densidade e estágio de crescimento (SNYDER *et al.*, 1998).

Padrões específicos de emissividade da superfície são fatores adicionais que têm sido investigados através de vários métodos, na região do infravermelho. Os trabalhos iniciais foram propostos por BUETTNER & KERN (1965) e LYON (1964). Desde então, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas e envolvem aspectos relacionados aos métodos e aos experimentos, principalmente no que diz respeito à determinação da emissividade dos materiais e suas várias

¹ Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, DSA, CPTEC/INPE, 12630-000, Cachoeira Paulista, SP, Brazil. (andrelfs.machado@cptec.inpe.br).

aplicações (PACHECO, 1995 & 2002). O objetivo deste trabalho é testar método de medida da emissividade da superfície terrestre, o método da caixa e todos os seus componentes, usando como referência inicial uma amostra de grama seca.

2. ÁREA DE COLETA E CARACTERÍSTICAS DO RADIÔMETRO CIMEL CE312-1

O experimento de coleta de dados da emissividade da superfície está sendo realizado na área de instrumentos meteorológicos do Laboratório de Instrumentação e Calibração Meteorológica (LIM) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) em Cachoeira Paulista. O radiômetro de infravermelho utilizado na coleta de dados é um Cimel CE312-1 possui quatro canais espectrais, sendo um em banda larga ($8 - 14 \mu\text{m}$) e três em banda estreita ($11,5 - 12,5 \mu\text{m}$; $10,3 - 11,3 \mu\text{m}$; $8,2 - 9,2 \mu\text{m}$). Dois destes canais encontram-se no intervalo espectral correspondente aos canais de infravermelho dos sensores AVHRR da série NOAA.

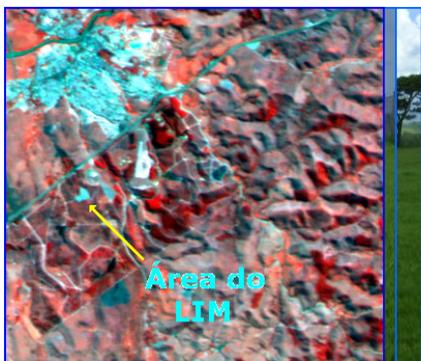


Figura 1: Área do CPTEC/INPE em Cachoeira Paulista-SP, com destaque para a área de instrumentos meteorológicos do LIM.

3. A ESTIMATIVA DA EMISSIVIDADE DA SUPERFÍCIE

O método da caixa para a obtenção da emissividade em campo foi proposto inicialmente por BUETTNER & KERN (1965) para ser aplicado em medidas obtidas em laboratório. Este método faz uso do conceito de planos paralelos infinitos. A aplicação do método em experimentos de campo foi proposta por DANA (1969) e recentemente, foi utilizado por NERRY *et al.* (1990) e SOBRINO & CASELLES (1993). Este método tem como objetivo, solucionar dois problemas fundamentais nas medidas de emissividade no infravermelho em experimentos de campo. O primeiro é permitir medidas diretas da temperatura da superfície e o segundo, controlar influência do meio ambiente na troca de energia dentro do sistema, visto que estas perdas podem não ser desprezíveis (NERRY *et al.*, 1990). Neste método, a emissividade é obtida através de uma

seqüência de três medidas de radiâncias feitas com a caixa e suas tampas: tampa espelhada (L_{s2}), tampa aquecida (L_{s1}) e temperatura da tampa aquecida (L_{t1}).

A medida radiométrica é o resultado de duas contribuições: emissão do meio a ser estudado e a reflexão da radiância lateral. A contribuição lateral é eliminada através da utilização de paredes revestidas de material isolante. Um radiômetro que possui uma função resposta espectral $f(\lambda)$ é inserido no sistema através de um orifício e mede a radiância ascendente em dado intervalo espectral $\Delta\lambda$. A radiância procedente da amostra quando a caixa encontra-se sobre a área é:

$$L_{\lambda} = \varepsilon_{s\lambda} L_{\lambda}^0(T_s) \quad (1), \text{ onde } \varepsilon_{s\lambda} \text{ é a emissividade da amostra e } T_s \text{ é a temperatura da amostra.}$$

Inicialmente, assume-se que o sistema é ideal, onde as paredes interiores da caixa são refletores perfeitos (lambertianos). O “teto” e o “fundo” da caixa são considerados planos paralelos infinitos, e desta forma, as contribuições das componentes laterais do sistema são desprezadas. Considerando que a reflexão na amostra da radiação emitida pelo teto (L_t), a radiância medida pelo instrumento é expressa como: $L_s = \varepsilon_s B_s + (1 - \varepsilon_s) L_t$ (2). De forma análoga, para o “teto”, tem-se: $L_t = \varepsilon_t B_t + (1 - \varepsilon_t) L_s$ (3), onde, ε_t é a emissividade do teto e ε_s é a emissividade da superfície. Rearranjando-se os termos das equações (2) e (3), têm-se:

$$\varepsilon_s = 1 - \frac{L_{s1} - L_{s2}}{[\varepsilon_{t1} B_{t1} + (1 - \varepsilon_{t1}) L_{s1}] - [\varepsilon_{t2} B_{t2} + (1 - \varepsilon_{t2}) L_{s2}]} \quad (4).$$

A equação (4) é a fórmula obtida por BUETTNER & KERN (1965) para os experimentos em laboratório. Considerando que a emissividade da tampa quente é 1 ($\varepsilon_{t1} = 1$) e que a emissividade da tampa de brilho é igual a zero ($\varepsilon_{t2} = 0$) (reflete toda a energia que recebe, $B_{t1} = L_{s1}$), a equação (4)

se reduz para: $\varepsilon_s = \frac{L_{t1} - L_{s1}}{L_{t1} - L_{s2}}$ (5). As medidas L_t são os valores da radiância efetiva medida pelo

radiômetro nas três configurações. Onde L_{t1} é a medida com a tampa aquecida para calibração, L_{s1} é a medida com a tampa aquecida, L_{s2} é a medida com a tampa espelhada. O fator de correção para a emissividade foi calculado de acordo com Rubio et al., (1997):

$$\delta\varepsilon = (1 - \varepsilon_s) * \left\{ \frac{[L_{t1} - L_{s1}] * (1 - \varepsilon_{t2})}{[L_{t1} - L_{s2}] - [L_{t1} - L_{s1}] * P + [L_{s1} - B_{t2}] * Q} \right\} \quad (5), \text{ onde } P = F^2 * (1 - \varepsilon_{t2}) * (1 - \varepsilon_{t1}) \text{ e}$$

$Q = 1 - F^2 * (1 - \varepsilon_{t2})^2$. Os parâmetros P e Q são fatores de transferência de energia dentro da caixa e F representa a proporção de energia da base que atinge o topo e a energia do topo que atinge a

base. Este parâmetro depende das dimensões da caixa e das emissividades do alumínio polido e anodizado.

4. RESULTADOS

O tipo de amostra utilizada para testar o método da caixa foi a grama. Para este tipo de amostra, dados das bibliotecas de emissividade disponibilizadas pelo UCSB MODIS e JPL ASTER foram utilizados como referencial para as medidas obtidas em campo.

As coletas na amostra de grama totalizaram 72 foram realizadas considerando limiares de temperatura para a medida com tampa quente: 50, 55, 60, 65 e 70 °C. A aplicação do fator de correção (equação 5), que considera a geometria da caixa utilizada nas medidas mostrou que o mesmo em geral não é desprezível, principalmente no que diz respeito às temperaturas da tampa quente, sendo inversamente proporcional. Desta forma, as medidas realizadas com as temperaturas da caixa acima de 30 °C apresentaram as menores correções e os menores desvios-padrão. O canal que apresentou o maior desvio-padrão foi o canal 4 do CE312-1. Este canal corresponde ao banda entre 8,2 -9,2 μm . Em todas as coletas realizadas e não mostradas aqui, este foi o canal que apresentou os maiores desvios, mostrando se mais sensível a variação da temperaturas.

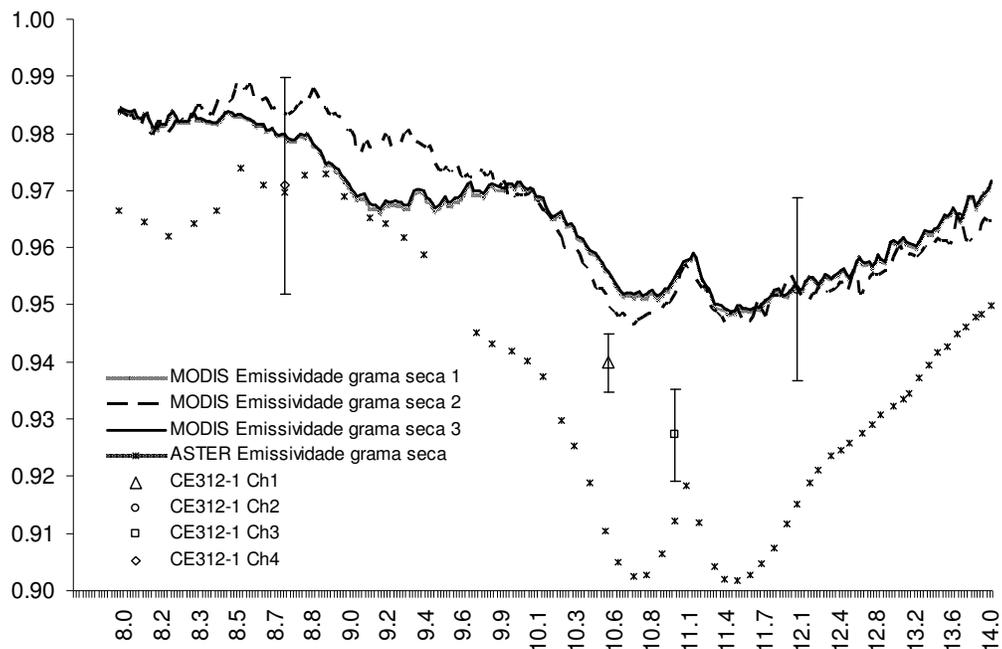


Figura 2: Emissividade de amostras de grama seca das bibliotecas UCSB MODIS e JPL ASTER e obtidas pelo radiômetro Cimel CE312-1, nos comprimentos de onda centrais das quatro bandas.

Em relação às amostras de grama seca obtidas nas bibliotecas UCSB MODIS e JPL ASTER, as medidas coletadas na área experimental do LIM ficaram entre ambos, como pode ser observado na Figura 2, ou seja, mostraram-se coerentes.

Tabela 1: Emissividades obtidas para a grama seca acima do limiar de 70 °C com o método da caixa e emissividades da grama seca das amostras das bibliotecas da UCSB MODIS e JPL ASTER nos canais do radiômetro Cimel CE312-1.

	$\epsilon \pm \Delta\epsilon$	$\epsilon_{\text{MODIS 1}}$	$\epsilon_{\text{MODIS 2}}$	$\epsilon_{\text{MODIS 3}}$	ϵ_{ASTER}
Ch1	0.940 ± 0.005	0.965	0.967	0.965	0.935
Ch2	0.953 ± 0.016	0.952	0.952	0.953	0.914
Ch3	0.927 ± 0.008	0.953	0.95	0.953	0.907
Ch4	0.971 ± 0.019	0.978	0.984	0.978	0.968

CONCLUSÃO

As maiores fontes de erro na aplicação deste método está na imposição dos limites de temperatura impostos na tampa aquecida e no processo de troca de tampas. Além disto, as emissividades do alumínio polido e anodizado devem ser consideradas nestas estimativas. Fatores como vento, umidade e temperatura do solo devem ser considerados além do tempo de espera entre duas medidas consecutivas. As temperaturas da tampa quente devem ser maiores que a temperatura ambiente por um fator de 30 °C para que os desvios-padrão e os fatores de correção sejam mais reduzidos.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo Processo FAPESP: 04/15692-6. Aos membros da equipe do Laboratório de Instrumentos e Calibração Meteorológica: José Celso Thomaz Jr, Jesarela Fonseca, José Carlos Andrade, Nilson Luiz Rodrigues e Paulo Rogério Aquino Arlino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKER, F., and Z.-L. LI. Towards a local split window method over land surfaces. *Int. J. Rem. Sens.*, **3**, 369–393, 1990.

BUETTNER, K.J., and, C.D. KERN. The determination of infrared emissivities of terrestrial surfaces. *Journal of Geophysical Research*, **70(6)**, 1329-1337, 1965.

CASELLES, V., C. COLL, E. VALOR, and E. RUBIO. Mapping land surface emissivity using AVHRR data: Application to La Mancha, Spain. *Rem. Sens. Reviews*, **12**, 311–3330, 1995.

DANA, R.W. Measurement of 8–14 micron emissivity of igneous rock and mineral surfaces. M. S. thesis. Univ. of Washington. Seattle, 1969.

DASH, P., F.-M. GOTTSCHKE, F.-S. OLESEN, and H. FISCHER. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice-current trends. *Int. J. Rem. Sens.*, **23(13)**, 2563–2594, 2002.

GILLESPIE, A.R., S. ROKUGAWA, T. MATSUNAGA, J.S. COTHERN, S.S. HOOK, and A.B. KAHLE. A temperature and emissivity separation algorithm for advanced spaceborn thermal emission and reflection radiometer (ASTER) images. *IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens.*, **36**, 1113–1126, 1998.

LYON, R.J.P. Evaluation of Infrared Spectrophotometry for Compositional Analysis of Lunar and Planetary Soils. Part II: rough and powdered surfaces, Nasa Contractor Report CR-100, 262 pp, 1964.

NERRY, F., J. LABED, and M.P. STOLL. Spectral Properties of Land Surfaces in the Thermal Infrared Field Method for Spectrally Average Emissivity Measurements. *Water Resources Research*, **95(B5)**, 7045–7054, 1990.

RUBIO, E., V. CASELLES, and C. BADENAS. Emissivity measurements of several types in the 8 – 14 mm wave-band: analysis of two field methods. *Rem. Sens. Environ.*, **59**, 490–521, 1997.

SNYDER, W.C., W. ZHENGMING, Y. ZHANG and Y.-Z. FENG. Classification-based emissivity for land surface temperature measurement from space. *Int. J. Rem. Sens.*, **19**, 2753–2774, 1998.

SOBRINO, J.A., and V. CASELLES. A field method for measuring the thermal infrared emissivity. *ISPR. J. Photogramm. Remote Sens.*, **48**, 24–31, 1993.

VALOR, E., and V. CASELLES. Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. *Rem. Sens. Environ.*, **57**, 167–184, 1997.

WATSON, K. Spectral ratio method for measuring emissivity. *Rem. Sens. Environ.*, **42**, 113–116, 1992.