

# RADIÔMETRO SOLAR PARA DETERMINAR ALBEDO DE UMA SUPERFÍCIE

Gilberto LAGE<sup>1</sup>, Antonio A. Aguilar DANTAS<sup>2</sup>, João Francisco ESCOBEDO<sup>3</sup>

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi projetar, construir, calibrar e submeter a testes de campo um radiômetro solar para medir simultaneamente as radiações solar global e sua parcela refletida para se determinar o albedo de uma superfície. Seu sistema sensor é composto por duas termopilhas do tipo preto montadas de forma opostas e obtidas por processos fotolitográfico e de evaporação de metais (Bi/Sb). As termopilhas apresentaram linearidade com  $r^2$  de 0,99 e constante de tempo de 6,0s. Para a termopilha superior obteve-se sensibilidade de resposta de 50,2  $\mu\text{V}\cdot\text{m}^2/\text{W}$  e para a inferior 41,7  $\mu\text{V}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ . São apresentadas, ainda, curvas de radiação solar global e refletida e a variação diária do albedo.

## INTRODUÇÃO

Em estudos do sistema solo-planta-atmosfera, o conhecimento dos termos do balanço de radiação e sua variabilidade durante o dia, tem-se revelado de grande importância para a caracterização de ambientes agrônômicos. ANDRÉ & VISWANADHAN (1983) mostraram as diferenças ocorridas nos termos do balanço de radiação, inclusive para o albedo de duas superfícies diferentes, como solo nú e com vegetação.

O albedo é de particular importância, pois influencia o saldo de radiação onda curta disponível na superfície da Terra para ser utilizado em processos de fotossíntese e evaporação. Para superfícies das culturas agrícolas o albedo não é constante e em caso de superfícies com cobertura vegetal, depende também do tipo de planta, fase de vegetação, densidade de plantio, umidade, etc. No início do ciclo vegetativo, o albedo é determinado principalmente pelas características das partículas do solo, pela estrutura da superfície do solo e conteúdo de umidade. No final do ciclo vegetativo, o albedo é determinado pelas condições físicas das folhas e pela estrutura do dossel vegetativo (JACOBS e VAN PUL, 1990).

O albedo ou poder refletor de uma superfície qualquer é definido como a fração da radiação solar global refletida por essa superfície, e é calculado a partir dos dados de radiação solar refletida e radiação solar global obtidos simultaneamente, sendo que essas medidas são realizadas por piranômetros. O albedômetro, um aparelho específico para essas medidas, surgiu recentemente no mercado fabricado pela KIPP & ZONEN, o qual apresenta uma complexidade e alto custo, pois seu projeto consiste em uma combinação de vários sensores e um circuito eletrônico inteligente.

Os piranômetros quando utilizados na forma invertida para obtenção de medidas da fração de radiação solar refletida, inserem nestas medidas algumas fontes de erro referentes à diferente composição espectral das radiações solar global e refletida, aos diferentes ângulos que estas estão submetidas, já que a global é praticamente direta e unidirecional, e a radiação refletida é totalmente difusa. Os dados numéricos encontrados em tabelas representam médias, que se forem comparadas com medidas individuais podem representar desvios consideráveis, levando a erros básicos (ROBINSON, 1966).

---

<sup>1</sup> Dr. Energia na Agricultura, Prof. do Depto. Ciências Exatas/UFLA, Cx. P. 37, Lavras/MG. E-mail: glage@ufla.br

<sup>2</sup> Dr. Energia na Agricultura, Prof. do Depto. Engenharia/UFLA, e-mail: aadantas@ufla.br

<sup>3</sup> Dr. Ciências Físicas Aplicada, Prof. do Depto. Ciências Ambientais/FCA/UNESP-Botucatu, SP.

O objetivo principal deste trabalho foi projetar, construir, calibrar e testar no campo um radiômetro solar específico para medir a radiação solar global e simultaneamente sua fração refletida.

## MATERIAL E MÉTODOS

O aparelho é composto por duas cúpulas de vidro; um sistema sensor composto por duas termopilhas do tipo preto montadas opostas, uma em cada hemisfério; corpo principal usinado em alumínio e vedado com anéis (o ring); dois chapéus protetores; reservatório de sílica-gel; conector elétrico; nível de bolha e suporte articulado.

Cada termopilha foi projetada com diâmetro de 20 mm contendo 30 termopares dispostos de forma radial. As termopilhas foram produzidas por processos fotolitográficos e de deposição de filmes finos por evaporação de bismuto e antimônio (LAGE, 1991), em substrato de Kapton 200 MT de espessura 50  $\mu\text{m}$  (filme de poliimida) e dopado com alumínio. A face externa de cada termopilha recebeu um filme de alumínio refletor e uma camada de tinta preta para atuar como absorvedor térmico. As junções ativas da termopilha ficaram sob o absorvedor térmico e as passivas sob o filme de alumínio, produzindo assim, um diferencial térmico entre elas, que definiria um sinal de tensão em seus terminais pelo efeito Seebeck.

A constante de tempo de uma termopilha é definida como o tempo necessário para que esta atinja 63,2% do valor de equilíbrio térmico para qualquer estímulo luminoso na fase de aquecimento, ou 36,8% do valor do equilíbrio térmico na fase de resfriamento. Para sua determinação o aparelho foi submetido a estímulos luminosos (luz solar) que produziram curvas de aquecimento e resfriamento. Para a calibração, o radiômetro proposto foi colocado lado a lado com um piranômetro Kipp & Zonen, utilizado como referência e os ensaios feitos em dia de céu aberto, registrando-se assim, dados simultâneos para se obter a linearidade e a sensibilidade de resposta. Nos testes de campo o radiômetro foi instalado sobre uma extensa área gramada, com as curvas de radiação solar global  $R_G$  e refletida  $R_R$ , plotadas em um registrador potenciométrico de dois canais LINEAR 1200. O albedo foi calculado pela relação:  $A = R_R/R_G$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A constante de tempo é um parâmetro importante de uma termopilha, pois caracteriza sua velocidade de resposta. Ambas as termopilhas, superior e inferior, apresentaram constante de tempo da ordem de 6,0 segundos, tanto na fase de aquecimento, como na fase de resfriamento. Esta configuração de termopilha mostrou um excelente balanço térmico, evidenciando a eficiência das trocas de calor proporcionadas pelo substrato Kapton 200 MT dopado com alumínio.

Outra característica importante dos sensores térmicos é a sua linearidade, cujas curvas ajustadas são mostradas nas Figuras 1 e 2. Essas curvas apresentaram um coeficiente de determinação  $r^2 = 0,998$  para a termopilha superior e 0,999 para a inferior. Esses coeficientes demonstraram uma alta correlação entre os sinais gerados pelo radiômetro proposto e o radiômetro de referência.

A partir das curvas ajustadas de linearidade foram obtidas as sensibilidades de resposta de cada termopilha, obtendo-se o valor de 50,2  $\mu\text{V.m}^2/\text{W}$  para a termopilha superior e 41,7  $\mu\text{V.m}^2/\text{W}$  para a inferior, sensibilidades estas, que permitem um sinal de saída satisfatório sem necessidade de amplificação, principalmente para as medidas de radiação refletida, cujo valor de tensão é da ordem de 15 a 25% do valor da radiação solar global incidente.

Os testes de campo foram realizados na Estação Climatológica da UFLA/Lavras - MG (21° 14' S, 45° 00' W). A Figura 3 mostra as curvas registradas de radiação solar global (G) e a fração refletida (R) em um dos testes de campo, em uma área extensamente gramada, sendo que nesse dia o céu se apresentou totalmente nublado. Pode-se observar, que a termopilha inferior respondeu de forma idêntica às variações da intensidade da radiação solar global incidente.

Para ilustrar o desempenho do radiômetro, o albedo e sua variação diária, calculou-se seus valores a partir dos dados simultâneos obtidos dos registros das curvas de radiação solar global e refletida, os quais são apresentados na Figura 4. O valor médio encontrado para o albedo da grama foi de 0,19, compatível com valores encontrados em tabelas.

De uma forma geral, o albedo é de grande importância, pois influencia o saldo de radiação ondas curtas nos balanços de radiação. A partir do conhecimento de sua variação, pode-se alterar a intensidade da radiação solar refletida. Como exemplo, a presença da palhada em uma cultura, além de alterar o poder refletor dessa superfície, contribui para a proteção da superfície porosa do solo, de sua microbiologia, da erosão, no controle de pragas daninhas, manutenção da umidade do solo, etc.

## CONCLUSÕES

O radiômetro proposto foi projetado, construído, calibrado e testado no campo apresentando um desempenho satisfatório. As termopilhas apresentaram constante de tempo de 6,0 s e alta linearidade com coeficiente de determinação de 0,99. A sensibilidade de resposta da termopilha superior foi de 50,2  $\mu\text{V} \cdot \text{m}^2/\text{W}$  e da inferior 41,7  $\mu\text{V} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ . Segundo os critérios estabelecidos pela Organização Mundial de Meteorologia, este radiômetro pode ser classificado com segunda classe.

## BIBLIOGRAFIA

- ANDRE, R.G.; VISWANADHAN, Y. Radiation balance of soybeans grown in Brazil. *Agric. Meteorol.*, 30:157-173.1983.
- ROBINSON, N. The radiation reaching the earth. In: *Solar Radiation*. Amesterdan Elsevier, 1966. C.4, p. 111-160.
- COULSON, K.L. *Solar and terrestrial*. New York: Academic Press, 1975. 479p.
- JACOBS, A.F.G.; VAN PUL, W.A.J. Seasonal changes in the albedo of a maize crops during two seasons. *Agricultural and Forest Meteorology*. V.49, p.351-360. 1990.
- LAGE, G.; ESCOBEDO, J. F.; ZILIO, S. C. Obtenção de termopilhas full black de filmes finos por evaporação de metais. I. Metodologia. *Anais da 43ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência*. UFRJ. Rio de Janeiro. Jul/1991. P604-605.

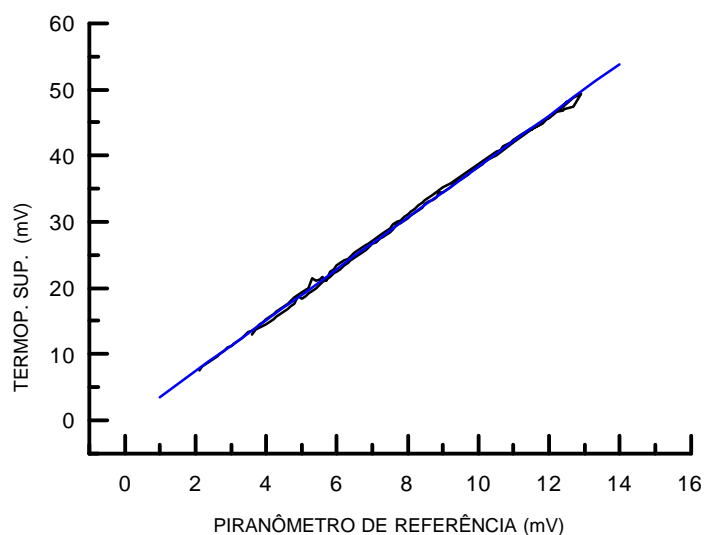


Figura 1. Curva de linearidade ajustada para a termopilha superior em relação ao piranômetro de referência Kipp & Zonen.

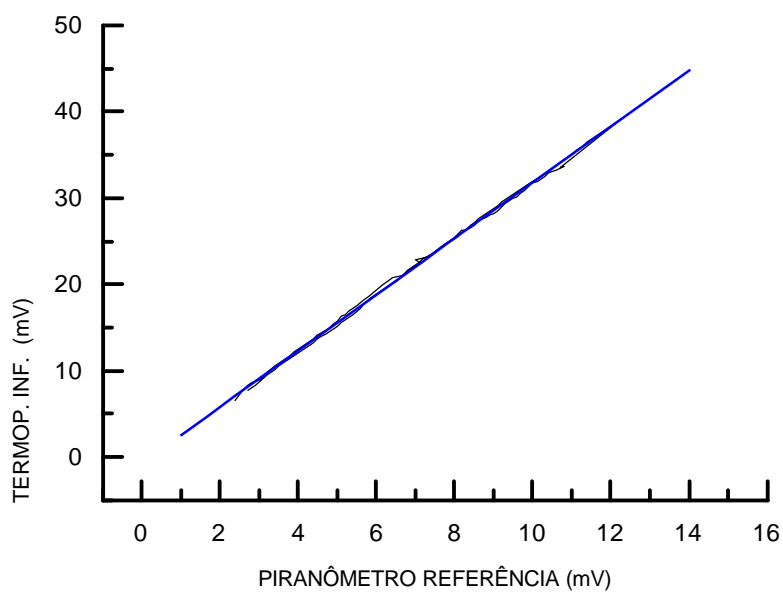


Figura 2. Curva de linearidade ajustada para a termopilha inferior em relação ao piranômetro de referência Kipp & Zonen.

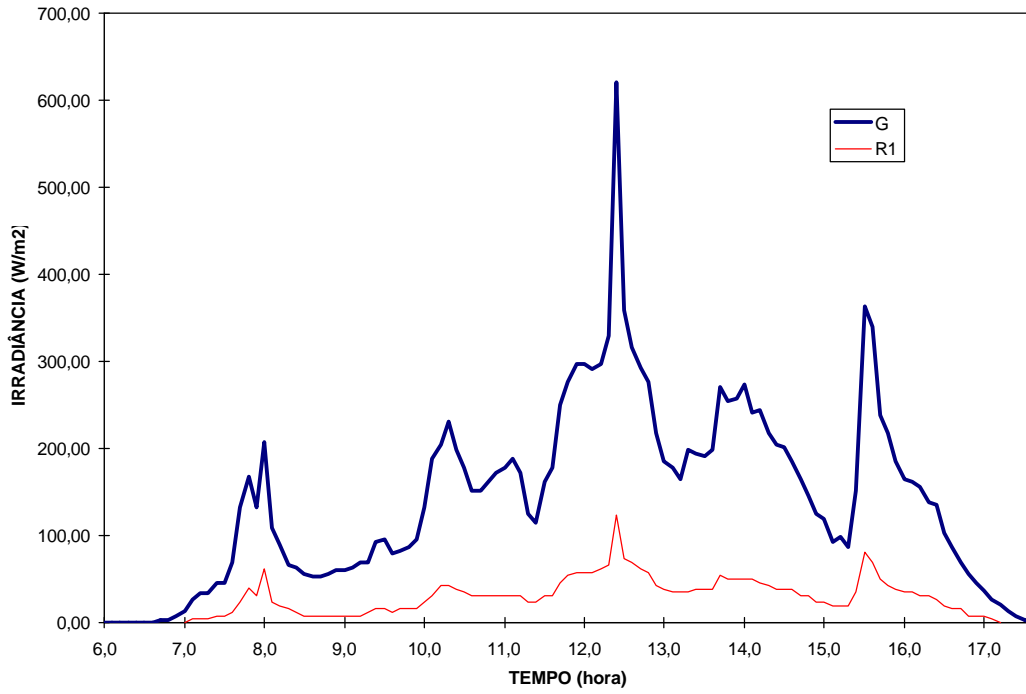


Figura 3. Curvas de irradiância solar global G e refletida R.

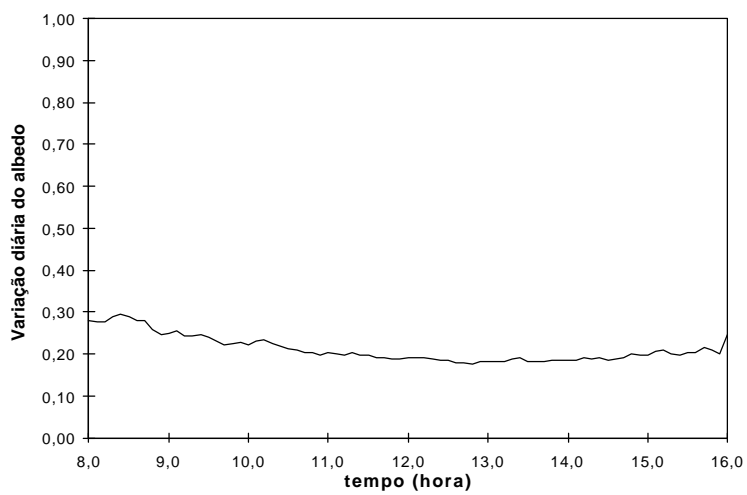


Figura 4. Variação diária do albedo.