

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE CALIBRAÇÃO DE UM PIRELIÔMETRO DE FILME FINO

José Roberto Corrêa SAGLIETTI¹, Carlos Cesar MOURA²

RESUMO

Para determinar o fator de calibração (ou sensibilidade de resposta) de um pireliômetro, que utiliza uma termopilha de filme fino como detector de radiação solar, foi usado um pireliômetro Eppley, tipo NIP, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas/USP, previamente calibrado no Instituto Nacional de Meteorologia, que serviu como padrão de comparação. De acordo com a metodologia recomendada pela Organização Mundial de Meteorologia o valor obtido foi $(9,57 \pm 0,38) \times 10^{-6} \text{V.m.W}^{-1}$. Numa segunda fase, fez-se também a determinação do fator de calibração por meio de equação de regressão linear, considerando o parâmetro estimado de b . O valor obtido por este último método apresentou uma diferença em torno de 2% em relação ao pireliômetro padrão, quando submetido ao teste t de Bonferrone, no nível de 5%. Para confirmar as medidas experimentais do pireliômetro de filme fino, as curvas de radiação foram integradas, fornecendo as energias médias diárias, que apresentaram uma variação entre -3,5% a 2,0%, em relação àquelas obtidas por meio do pireliômetro Eppley.

INTRODUÇÃO

Na maioria das Estações de Radiometria Solar, as medidas de radiação solar direta, são obtidas pela diferença entre a radiação global e difusa, com a utilização de dois piranômetros. Isto se deve ao alto custo dos pireliômetros e também à dificuldade de manejo destes instrumentos. Dentre os aparelhos mais simples atualmente desenvolvidos, os que vem apresentando melhores resultados são aqueles que utilizam termopilhas de filme fino como receptoras da radiação solar, pois permitem melhor relação entre leitura e resposta de sinais elétricos, e boa precisão nas medidas. Os equipamentos construídos a partir dessas termopilhas têm sensibilidade e linearidade de resposta compatíveis aos importados e custam três vezes menos (ESCOBEDO, 1987). Entretanto, como qualquer novo instrumento, esses aparelhos devem ser calibrados para que se garanta a fidelidade das medidas realizadas e também sua futura comercialização.

A calibração de um instrumento é sempre feita em relação a um aparelho padrão tomado como referência e, tem como finalidade a determinação de um fator numérico, que permita a expressão da mesma grandeza em medidas feitas por equipamentos diferentes. No caso de pireliômetros, o fator de calibração permite que os sinais obtidos por diferença de potencial, em milivolts, possam ser transformados num valor de energia incidente, em watts por metro quadrado.

Os pireliômetros considerados padrões absolutos são os de Ångström e o Smithsonian, mas COULSON (1975), sugere que um bom instrumento de padrão secundário, aferido cuidadosamente, pode servir como parâmetro para calibração de um pireliômetro operacional.

Neste estudo, o objetivo de avaliação de um pireliômetro de filme fino, desenvolvido inicialmente por ESCOBEDO (1990), foi conseguido pela comparação de suas características com um pireliômetro Eppley tipo NIP.

MATERIAL E MÉTODOS

Um pireliômetro, utilizando uma termopilha de filme fino, foi instalado no Departamento de Física e Biofísica do Instituto de Biociências, da Universidade Estadual Paulista (UNESP), na cidade de Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, localizada na latitude de 22°54' Sul e longitude de 48°27' Oeste, para verificação de sua funcionalidade.

¹Dr., Professor Assistente, Departamento de Física e Biofísica, IB/UNESP, Caixa Postal 510, 18618-000, Botucatu, SP.

²Ms., Aluno de Doutorado do Curso de Pós-graduação em Agronomia/ Energia na Agricultura, FCA/UNESP, Botucatu, SP.

As principais características deste pireliômetro são: corpo cilíndrico de aço inoxidável com 200 mm de comprimento, diâmetro externo de 23 mm, diâmetro interno de 17,5 mm, altura da abertura até o centro da termopilha, 170 mm e, em função dessas medidas, possui ângulo de abertura igual 5,89°, MOURA (1996). A termopilha usada é do tipo “preto e branco”, construída conforme tecnologia descrita por ESCOBEDO (1987). Ela é constituída por um conjunto de 36 termopares de Antimônio-Bismuto sob um substrato de Kapton 100, com 12 mm de diâmetro e foi instalada na base do tubo colimador para funcionar como sensor de radiação. O pireliômetro de filme fino foi fixado a estrutura de acompanhamento do movimento relativo do sol (solar track ST3) do pireliômetro Eppley de Incidência Normal. Esse rastreador sofreu ajustes de direção norte-sul, latitude, declinação e hora do dia, para o correto acompanhamento do sol.

As leituras obtidas pelos pireliômetros foram transmitidas para um sistema de aquisição de dados, composto de uma “multiplexadora” AM 416 de 32 canais, ligada a uma “datalogger” do tipo 21X marca Campbell Scientific, Inc. e um microcomputador 486 SX 66 Mhz. Os dados registrados através dos canais foram transferidos para o microcomputador no formato de arquivos numéricos, contendo o dia juliano, hora e minutos, e os sinais em milivoltagem medidos pelos instrumentos. Com o uso de “softwares” gráficos, foi possível a obtenção de curvas do fator de calibração, energia por unidade de área, variabilidade da constante ao longo do dia, além da execução de cálculos estatísticos.

O fator de calibração do pireliômetro (K) foi obtido de duas formas. Na primeira, foi calculado segundo as recomendações da Organização Mundial de Meteorologia, WMO (1986), utilizando-se medidas de 6 dias de céu claro, no período entre 10 e 14 horas, considerado de maior intensidade de radiação solar. Essas medidas foram feitas em relação a um pireliômetro Eppley NIP padrão do IPT/USP com fator de calibração $9,57 \times 10^{-6} \text{V.m}^2.\text{W}^{-1}$. A sensibilidade de resposta do protótipo (K_{ff}) foi determinada pela equação:

$$K_{ff} = \left(\frac{1}{N} \right) * \sum K_i \dots\dots\dots(1)$$

onde: $K_i = \left(\frac{V_{ff}}{V_p} \right) * K_p$

N = número de medidas;

V_p = força eletromotriz medida pelo pireliômetro padrão (mV);

V_{ff} = força eletromotriz medida pelo pireliômetro de filme fino (mV);

K_p = fator de calibração do pireliômetro padrão ($\text{mV.m}^2.\text{W}^{-1}$)

No segundo método, a sensibilidade de resposta foi determinada através de equações de regressão linear, usando as mesmas condições anteriores, levando-se em consideração os intervalos de confiança de seu parâmetro \underline{b} , com nível de significância de 5%, conforme a equação:

$$K_{ff} = (b \pm IC) * K_p \dots\dots\dots(2)$$

onde: IC = intervalo de confiança do parâmetro b.

Na análise estatística, as equações foram ajustadas com aplicação de modelos de regressão linear aos pares de sinais medidos pelos pireliômetros, utilizando-se o método de autocorrelação, para estimar os parâmetros \underline{b} dos modelos, considerando-se 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fator de calibração do pireliômetro do IPT/USP, tomado como padrão é: $K_p = 9,57 \times 10^{-6} \text{V.m}^2.\text{W}^{-1}$. Com base nesse valor referência e, seguindo as recomendações da OMM, foram aproveitadas as medidas de sete dias de céu claro (30 e 31 de agosto; 5,7,8,9 e 10 de setembro de 1995), todas com mais de 200 leituras. Da análise dessas medidas pode-se calcular o fator de calibração para o pireliômetro protótipo de filme fino cujo valor foi: $K_{ff} = (9,57 \pm 0,38) \times 10^{-6} \text{V.m}^2.\text{W}^{-1}$.

Utilizando-se as mesmas leituras, e aplicando-se equações de regressão linear, considerando o parâmetro \underline{b} , obteve-se a seguinte relação: $K_{ff} = (0,98 \pm 0,02) \times K_p$. O teste t de Bonferrone ao nível de 5%, indicou haver uma diferença entre os valores obtidos pelo modelo de regressão e o método recomendado pela OMM. A diferença está em torno de 2%. Essa diferença é explicada porque o método OMM obriga a passagem da curva pelo par (0,0), o que faz sentido fisicamente, pois mesmo dois aparelhos

diferentes devem marcar valor nulo quando não há radiação solar incidente sobre os mesmos. Por outro lado, devido ao grande número de pontos observados, parece adequado que uma regressão seja feita, para saber-se o nível de confiança das medidas, muito embora neste caso específico, seja mais prudente utilizar as recomendações internacionais em vigor. Para confirmar-se o comportamento do instrumento testado são mostradas as curvas (Fig.1) de densidade de radiação solar direta medidas pelos dois pireliômetros no dia 30/08/1995. Nelas pode-se observar que há boa coerência dos pontos, tanto os de alta energia como aqueles onde existe a presença de nuvens. Numericamente, a diferença percentual, após medidas de vários dias, está entre 2,0% e -3,5% MOURA (1996). Essa diferença pode ser explicada pelo fato do pireliômetro de filme fino não possuir uma cobertura de quartzo na entrada do tubo colimador, ficando sujeito portanto às variações climáticas.

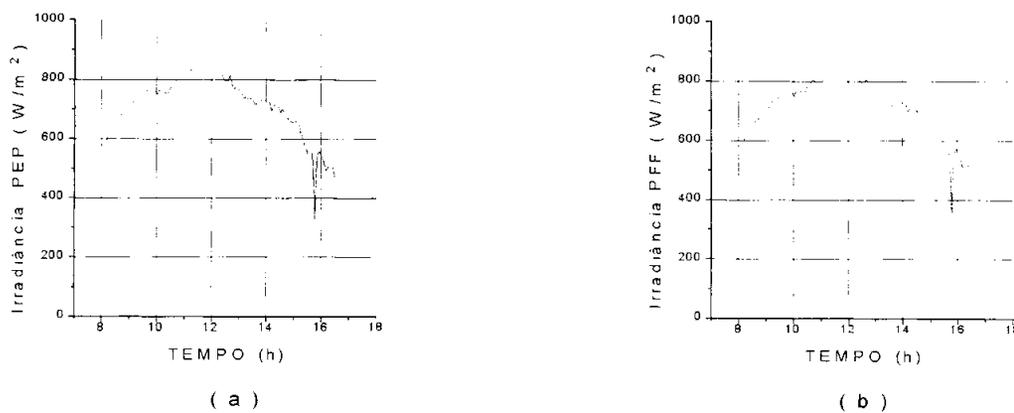


FIGURA 1. Curvas de Irradiância para o Pireliômetro Eppley Padrão (a) e para o Pireliômetro de Filme Fino (b)

CONCLUSÕES

Os resultados recomendam que seja adotado o método OMM para determinação do fator de calibração de pireliômetros que utilizem termopilhas como receptoras de radiação solar. Neste caso específico o fator encontrado foi $9,57 \times 10^{-6} \text{V.m}^2.\text{W}^{-1}$.

As curvas de densidade de radiação solar obtidas pelos dois pireliômetros mostram que a sensibilidade às variações do nível de radiação apresentam muito boa uniformidade.

BIBLIOGRAFIA

- COULSON,K.L. Solar and Terrestrial Radiation. Methods and Measurements. Academic Press. London. 1975. Cap 3, p22-24 e 53-81.
- ESCOBEDO,J.F. Refrigeração com o uso de Energia Solar. São Carlos. 1987. 195p. (Tese - Doutorado - Instituto de Física e Química de São Carlos - Universidade de São Paulo)
- ESCOBEDO,J.F.; ZILIO,S.C.;LAGE,G. Solarímetro simples e de baixo custo para equipar Estações Meteorológicas no Brasil. In: Anais da Reunião Anual da SBPC, 42,1990. Resumos...SBPC,1990. p.284-287
- MOURA. C.C. Variabilidade do Fator de Calibração de Pireliômetro de Filme Fino. Botucatu. 1996. 97p. (Dissertação de Mestrado - Faculdade de Ciências Agronômicas - Universidade Estadual Paulista).
- WORLD CLIMATE RESEARCH PROGRAMME (WCRP). Revised Instruction Manual Radiation and Sunshine. Clauss Frolich & Julius. London Editors. WCRP publications serie n° 7. WMO TD n° 149. October. 1986.