

DIFERENÇAS ENTRE MÉTODOS DE MEDIDA DA RADIAÇÃO SOLAR DIFUSA

Reinaldo Prandini RICIERI¹, João Francisco ESCOBEDO², Rivanildo DALLACORT³,
Valdecir L. da SILVA⁴ & Reginaldo F. dos SANTOS⁵

1. INTRODUÇÃO

A dificuldade existente atualmente na caracterização da radiação difusa, encontra-se no custo elevado dos instrumentos envolvidos nos métodos de medida: direto (disco) ou indireto (diferença entre a radiação global e direta projetada na horizontal), que necessitam de dispositivos que acompanham o movimento relativo do sol. A radiação direta pode ser interceptada por um anel, permitindo que grande parte da radiação difusa incida no sensor do piranômetro, sendo corrigida por fatores de correção. Drummond (1956), LeBaron *et al* (1980), Burek *et al* (1988), Kudish & Lanciz (1993), Battles (1995) procuraram desenvolver modelos teóricos ou numéricos para a correção, porém, os resultados na literatura mostram que a diferença das medições da radiação difusa dos métodos de sombreamento ainda é elevada considerando outros fatores tais como condições de cobertura do céu, ângulo zenital, entre outros. O objetivo do trabalho foi quantificar os métodos do disco e anel na medida da radiação difusa, visando uma proposta de correção numérica para os métodos de sombreamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação de Radiometria Solar da UNESP de Botucatu/SP - departamento de Ciências Ambientais na FCA, no período de 1 de junho de 1996 à 30 de março de 1998. A radiação difusa (I_d), na incidência horizontal, foi monitorada pelo método da diferença, disco e anel de sombreamento.

Para correção da radiação difusa, utilizou-se o fator FCD de Drummond:

$$FCD = \left[1 - \frac{2L}{\pi R} \cos^3 \delta (t_0 \sin \phi \cos \delta + \cos \phi \cos \delta \sin t_0) \right]^{-1}$$

onde: R = raio do anel (cm); δ = declinação solar (rad); ϕ = latitude local (rad); L = largura do anel (cm); t_0 = ângulo horário no pôr do sol (rad).

Foi utilizado uma aquisição de dados "micrologger" da CAMPBELL SCIENTIFIC-INC modelo 21X, com uma placa multiplexadora AM 416 de 32 canais, programado para realizar uma leitura por segundo de cada canal e armazenar a média aritmética de cinco minutos. Um programa no "MICROSOFT ORIGIN", elaborado especificamente para processar os dados, permitiu dividir as colunas de sinais em mV pela respectiva constante de calibração de cada radiômetro, transformando-as em W/m^2 (irradiância), fazer multiplicações das colunas de irradiância difusa obtidas com o uso de anel por fator de correção, construções de gráficos, valores de irradiância (MJ/m^2), cálculo estatístico e outros.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a irradiação difusa obtida pelo método da diferença como referência, os desvios das irradiações difusas medidas pelos métodos do anel e disco, obtidos por $\delta(\%) = \{(R_{d,ref} - R_{d,med}) / (R_{d,ref})\} \times 100$.

A Figura (1) mostra os desvios diários, calculados, entre as irradiações difusa de referência e disco. Quando o sol declinou no hemisfério sul, a irradiação difusa obtida pelo método de referência foi maior que a irradiação difusa do disco e, portanto, o desvio é positivo. Quando o sol declinou no hemisfério norte, a irradiação difusa do disco foi maior que a irradiação de referência, tornando o desvio negativo. A ordem de grandeza dos desvios indica ser dependente da declinação solar e cobertura do céu. Quando o sol declinou no hemisfério norte, o método do disco superestimou a irradiação difusa em até 25% e quando declinou no sul, subestimou em até 55%. O desvio relativo médio sob todas as observações, situou-se na faixa de $\pm 7,1\%$. Este erro pode ser atribuído a anisotropia da radiação difusa, que é diferente em função da cobertura do céu.

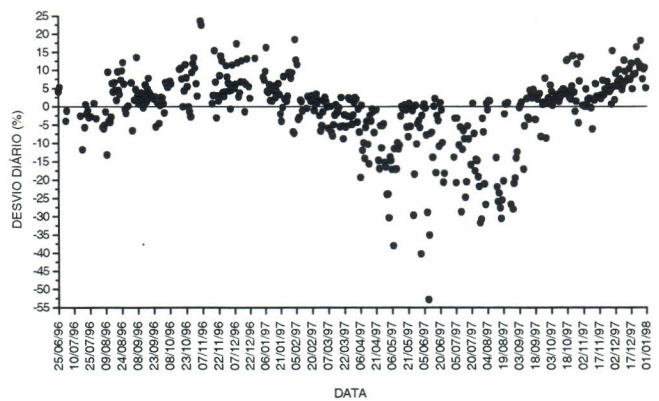


Figura 1 - Desvio relativo entre as medições da irradiação difusa pela diferença e disco

Representando graficamente (figura 2) as irradiações global, direta e difusa, utilizadas no método da diferença é possível estabelecer condições distintas de cobertura do céu através do índice de claridade K_t (razão entre as radiações global e topo da atmosfera). Pode-se distinguir que: para K_t entre 0 e 0,3, as irradiações global e difusa são praticamente iguais e a irradiação direta é próxima de zero, situação que classifica a cobertura do céu como nebuloso; para K_t entre 0,3 e 0,65, temos a situação de alternância entre as irradiações difusa e direta, mantendo a global constante pontualmente; de 0,3 à 0,45 a irradiação difusa é maior que a direta; de 0,45 à 0,6 ambas são da mesma ordem de grandeza e acima de 0,6 até 0,65 a irradiação direta é superior a irradiação difusa. Estas condições estabelecem para a cobertura de céu parcialmente nublado. Para K_t acima de 0,65, a irradiação direta tende a se aproximar da irradiação global, enquanto a irradiação difusa tende a um mínimo, o que classifica a cobertura do céu como isento de nuvens. Com base nesta classificação de cobertura do céu, selecionou-se, dos 487 dias, em função de K_t e efetuou-se novos cálculos dos desvios relativos para cada situação de cobertura do céu, obtendo-se: 2,43% para

¹ Prof. Dr. do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, UNIOESTE/ Campus de Cascavel - PR, e-mail: ricieri@unioeste.br

² Prof. Dr. do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, UNESP/ Botucatu/SP.

³ Aluno do curso de Graduação em Engenharia Agrícola. Bolsista PIBIC/CNPq.

⁴ Técnico da COPEL - Apucarana/PR.

⁵ Prof. Dr. Do Curso de Engenharia Agrícola, UNIOESTE/Cascavel-PR

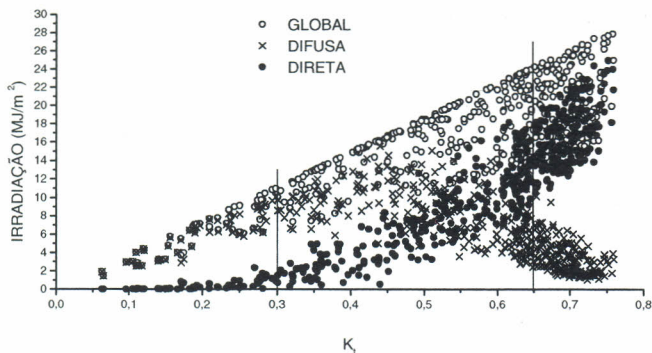


Figura 2 - Distribuição das irradiações global, difusa e direta na incidência em função K_t .

$K_t < 0,3$; 4,77% para $0,3 \leq K_t \leq 0,65$ e 11,56% para $K_t > 0,65$. Nota-se, através dos percentuais, que o método de medida da irradiação difusa pelo disco apresenta dificuldades de medição na condição de cobertura do céu sem nuvens, razoável para dias parcialmente nublados e regular para bom nas condições de elevada nebulosidade.

A Figura (3) mostra os desvios relativos diários entre as irradiações difusa obtidas pelos métodos da diferença e do anel. Contrariamente ao método do disco, o método do anel não apresentou simetria à linha do zero do desvio em relação ao método da diferença.

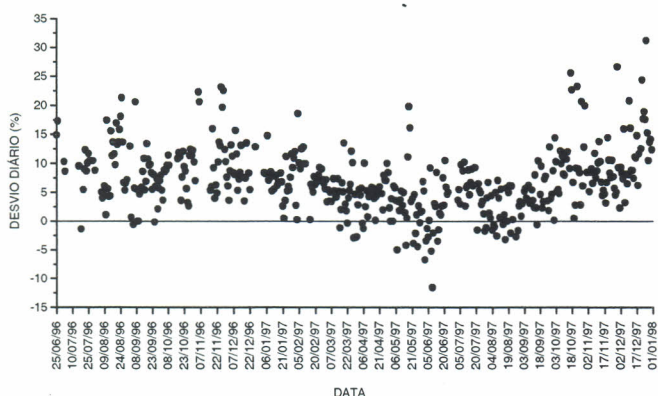


Figura 3 - Desvio relativo entre as medições da irradiação difusa através da diferença e anel

A grande maioria dos pontos estão posicionados na faixa superior, com valores positivos, ou seja, a irradiação difusa obtida pelo método da diferença, quase na totalidade, foi superior ao do anel. Em outras palavras, o método do anel, utilizando o fator de correção apresentado por Drummond, subestima os valores da irradiação difusa. O desvio relativo médio sobre todas as observações situou-se aproximadamente em 7,6%. A causa da dispersão dos desvios relativos não simétrica à irradiação difusa de referência pode ser atribuída a dois fatores: o primeiro é inerente à natureza característica da radiação difusa de anisotropia, que é dependente da cobertura do céu, e o segundo é o fator de correção, que é dependente apenas da geometria do anel (diâmetro e largura) e do local (latitude

e declinação solar), e não inclui nenhum termo dependente da cobertura do céu como, por exemplo, razão de insolação ou índice de claridade. Em relação a anisotropia, cálculos realizados para as três coberturas de céu, similares aos efetuados anteriormente, mostram diferenças acentuadas nas condições de dias nebulosos em relação a dias parcialmente nublado e limpo como 2,44% para $K_t < 0,3$; 7,70% para $0,3 \leq K_t \leq 0,65$ e 8,99% para $K_t > 0,65$. A exemplo do método do disco, os dias de céu aberto são os maiores responsáveis pela elevação do desvio relativo médio, na concordância entre o método do anel e o da referência, com uma parcela próxima de 9,0%; os dias de céu parcialmente nublado contribuíram com valor de 7,7%, portanto, superior à contribuição do método do disco; os dias nebulosos, com 2,44%, apresentam desvios similares ao método do disco. Quanto à aplicação do fator de correção proposto por Drummond (1956), variando entre 18% para dias próximos dos equinócios e 8,0% para dias próximos do solstício de inverno não atingindo os níveis da irradiação difusa obtida pelo método de referência, mostra que o mesmo necessita ser reformulado, não só quanto aos parâmetros geométricos, mas também incluindo um fator de anisotropia da radiação difusa. O próprio Drummond (1956) já havia sugerido o aumento de 7% no fator de correção para dias de céu aberto, 5% para dias parcialmente nublado e 3% para nublados.

4. CONCLUSÕES

Em função dos desvios médios obtidos com os métodos do disco e anel de sombreamento de 7,1% e 8,0% respectivamente em relação ao método por diferença e a dependência da ordem de grandeza dos desvios em função da cobertura do céu, mais elevados para dias de céu aberto e parcialmente nublado, os resultados sugerem, não só correções para o fator de Drummond levando-se em conta a anisotropia da radiação difusa, como também para o método do disco.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATLLES F.J., OLMO F.J. e A.L. ALADOS. 1995. On shadowband correction methods for diffuse irradiance measurements. *Solar Energy*. 54: pp.105-114.
- BUREK S.A.M., NORTON B., S.D. PROBERT. 1988. Analytical and experimental methods for shadow-band correction factors for solarimeters on inclined planes under isotropically diffuse and overcast skies. *Solar Energy*. 40: pp.151-160.
- DRUMMOND A.J. 1956. On measurement of sky radiation. *Arch. Met. Geophys Bioclimatol.* 7: pp.413-35.
- KUDISH A.I. & A. IANETZ. 1993. Analysis of diffuse radiation data for Beer Sheva: measured (shadow ring) versus calculated (global-horizontal beam) values. *Solar Energy*. 51: pp.495-503.
- LEBARON B.A., PETERSON W.A. e I. DIRMHIRN. 1980. Correlations for diffuse irradiance measured with shadonbands. *Solar Energy*. 25: pp.1-17.

Agradecimento: CNPq (420094/99-7 NV)