

ESTIMATIVAS DA RADIAÇÃO LÍQUIDA EM SUPERFÍCIE GRAMADA EM JABOTICABAL (SP)

Edgar Ricardo SCHÖFFEL¹, Clovis Alberto VOLPE²

RESUMO

Este trabalho foi realizado com a finalidade de contribuir para o melhor conhecimento das relações entre a radiação líquida disponível (R_n) sobre uma superfície gramada com a radiação solar extraterrestre (Q_o), a radiação solar global (R_s), a temperatura do ar (t), a razão de insolação (n/N) e a pressão de vapor do ar (e), visando melhor facilidade, agilidade, economia de recursos e exatidão na estimativas da radiação líquida disponível, para o período primavera-verão, na região de Jaboticabal (SP). Os resultados obtidos indicam que as variáveis Q_o , t , \sqrt{e} , n/N não foram suficientes para representar o comportamento da R_n , mas que esta poderá ser estimada, para a região de Jaboticabal, no período primavera-verão, através da equação de Penman ou pela equação de regressão $R_n = -0,1095 + 0,625 R_s$, sendo necessário, para as duas equações, a utilização da radiação solar global medida no local.

PALAVRAS-CHAVE: saldo de radiação, radiação solar global.

INTRODUÇÃO

A radiação líquida disponível (R_n) ou saldo de radiação é a radiação resultante ao meio após todas as trocas radiativas se realizarem, sendo esta energia utilizada nos processos de evaporação, fotossíntese e no aquecimento do ar, do solo e das plantas. Por isso, dentre os elementos climáticos estudados, a radiação líquida é o mais importante para determinação da evapotranspiração (VILLANUEVA, 1987). A medição da radiação líquida para uma região agrícola nem sempre é praticada, devido ao custo elevado de instrumentais específicos adequados para esta medida, tornando-os escassos e pouco disseminados. Estudos agroclimatológicos regionais objetivando

¹ Eng. Agr., M. Sc., aluno de pós graduação da FCAV/UNESP, bolsista da FAPESP, e-mail: erschoffel@yahoo.com.br

² Eng. Agr., Dr., Prof. Assistente, Depto. de Ciências Exatas da FCAV/UNESP, Jaboticabal.

possa, também, efetuar análise de dados existentes para períodos anteriores aos da existência dessa encontrar equações que permitam estimar a radiação líquida são plenamente desejáveis, para que se equação, bem como a análise de dados atuais, como sugerem ANDRÉ e VOLPE (1988).

A utilização da equação de Penman para estimar a radiação líquida depende da medida de vários parâmetros como a radiação solar global, a insolação, a temperatura do ar e pressão de vapor, e mesmo assim os resultados obtidos nem sempre têm boa acurácia pois a expressão apresenta coeficientes empíricos determinados para a região de onde esta foi desenvolvida.

Correlações entre a radiação líquida e a radiação solar global tem sido alvo de estudos regionalizados de vários pesquisadores com excelentes resultados (ANDRÉ e VISWANADHAM, 1983; ANDRÉ e VOLPE, 1988; FONTANA et al., 1991; SCHÖFFEL e VOLPE, 1998).

Este trabalho foi realizado com a finalidade de contribuir para o melhor conhecimento das relações entre a radiação líquida disponível (R_n) sobre uma superfície gramada com a radiação solar extraterrestre (Q_o), a radiação solar global (R_s), a temperatura do ar (t), a razão de insolação (n/N) e a pressão de vapor do ar (e), visando melhor facilidade, agilidade, economia de recursos e precisão na estimativas da radiação líquida disponível, para o período primavera-verão, na região de Jaboticabal (SP).

MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação dos elementos micrometeorológicos foi realizada sob uma superfície vegetada com grama (*Paspalum notatum* L.), em uma área localizada na Fazenda da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, SP (altitude média 595 m, 21°15'S e 48°18'W). As medições micrometeorológicas foram realizadas em intervalos de 10 minutos e posteriormente reunidos para valores diários, durante o período de 01 de Outubro de 1998 à 07 de Fevereiro de 1999, tendo sido analisadas 113 observações desse período.

Os elementos micrometeorológicos observados, assim como cada sensor e resolução do equipamento são apresentados na Tabela 1.

A radiação líquida disponível (R_n) foi estimada de diferentes maneiras, sendo que em duas dessas foi utilizada a equação de Penman:

$$R_n = 0,77 R_s - 4,8989 \cdot 10^{-9} T^4 (0,56 - 0,24 \sqrt{e}) (0,1 + 0,9 n/N) \quad (1)$$

Onde: R_n = radiação líquida disponível ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); R_s = radiação solar global ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); T = temperatura média diária do ar (K); e = pressão parcial de vapor (kPa); n/N = razão diária de insolação (h).

TABELA 1 - Especificação dos elementos e equipamentos micrometeorológicos.

| Elemento micrometeorológico | Elemento sensor | Resolução do equipamento |
|-----------------------------|-------------------|--------------------------|
| temperatura | termistor | 0,2 °C |
| umidade relativa | capacitor | 0,2 % |
| radiação líquida | termopar | 0,01MJ.m ⁻² |
| insolação | esfera de cristal | |

O fotoperíodo (N), denominador da razão de insolação, foi calculado por:

$$N = \frac{2}{15} \arccos [-\operatorname{tg}(\varphi) \cdot \operatorname{tg}(\delta)] \quad (2)$$

$$\delta = 23,45^\circ \operatorname{sen}\left[\frac{360}{365}(284+J)\right] \quad (3)$$

Onde: δ é a declinação diária do sol, φ é a latitude do local e J é o dia juliano.

A equação 1 foi utilizada para duas situações. Em uma situação usou-se a radiação solar global medida e na outra a radiação solar global estimada através da equação 4.

$$R_s = Q_o (a + b n/N) \quad (4)$$

Na demais estimativas da R_n , a radiação líquida medida foi correlacionada com a radiação solar extraterrestre (Q_o), a pressão parcial de vapor d'água na atmosfera (e), a temperatura média diária do ar (t), e a razão de insolação (n/N), através da regressão múltipla:

$$Y = a + (b_1 \cdot Q_o) + (b_2 \cdot t) + (b_3 \cdot \sqrt{e}) + (b_4 \cdot n/N) \quad (5)$$

Onde: $Y = R_n$ (MJ.m⁻².d⁻¹); a = coeficiente linear; b_1 = coeficiente angular para Q_o (MJ.m⁻².d⁻¹); b_2 = coeficiente angular para t (°C); b_3 = coeficiente angular para \sqrt{e} (kPa); b_4 = coeficiente angular para n/N .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentadas equações de regressão linear de estimativa da radiação líquida (R_n) em função da radiação solar extraterrestre (Q_o), pressão parcial de vapor d'água na atmosfera (e), temperatura média diária do ar (t) e razão de insolação (n/N). Pelas equações contidas nessa tabela, observa-se que, de um modo geral, as variáveis analisadas não foram suficientes para representar o comportamento da radiação líquida disponível no período, apresentando baixos coeficientes de correlação (R) e de determinação (R^2), sugerindo que algum outro fator, aqui não considerado, possa estar envolvido no processo.

TABELA 2 - Equações de estimativa da radiação líquida disponível sobre uma superfície gramada.
Jaboticabal, SP, 1999.

| Variáveis | Equação de regressão | R | R ² |
|--------------------------------------|---|------|----------------|
| Q _o , t, \sqrt{e} , n/N | Rn = 0,214 Q _o +0,736 t-0,51 \sqrt{e} +0,058 n/N | 0,69 | 0,46 |
| Q _o , t, \sqrt{e} | Rn = 0,230 Q _o +0,731 t -0,52 \sqrt{e} | 0,69 | 0,46 |
| Q _o , t, n/N | Rn = -0,030 Q _o +0,575 t+0,091 n/N | 0,56 | 0,30 |
| Q _o , \sqrt{e} , n/N | Rn = 0,240 Q _o -0,2 \sqrt{e} +0,001 n/N | 0,21 | 0,02 |
| t, \sqrt{e} , n/N | Rn = 0,742 t -0,40 \sqrt{e} +0,099 n/N | 0,67 | 0,43 |
| Q _o , t, | Rn = -0,01 Q _o +0,563 t | 0,56 | 0,30 |
| t, \sqrt{e} | Rn =0,733 t -0,39 \sqrt{e} | 0,66 | 0,43 |
| t | Rn = 0,56 t | 0,56 | 0,31 |
| t, n/N | Rn = 0,566 t +0,084 n/N | 0,57 | 0,31 |

Nas pesquisas relacionando radiação líquida e radiação solar global são freqüentes registros de coeficientes de determinação (R²) superiores a 0,9 (ANDRÉ e VISWANADHAM, 1983; FONTANA et al., 1991; SCHÖFFEL e VOLPE, 1998, para a soja, CUNHA et al., 1989, para o milho; ANDRÉ e VOLPE, 1988, para a grama), assim, acreditando na alta correlação existente entre estas duas variáveis, foi aplicada análise estatística no conjunto de dados, que resultou na obtenção da equação de regressão linear: Rn = -0,1095 + 0,652 Rs, com R² = 0,97, permitindo estimar os totais diários de Rn, em MJ.m⁻².d⁻¹, com ótima precisão como demonstra graficamente a Figura 1. É importante destacar que este modelo foi ajustado para o período primavera-verão, pois durante estas estações do ano há o predomínio de nuvens do gênero cumulus, as quais apresentam sua base em baixa altitude e são grandes e em grandes proporções, apresentando albedo entre 0,70 à 0,90 (AYOADE, 1996), dificultando a perda de radiação de ondas longas pela superfície terrestre e pela atmosfera e, conseqüentemente, aumentando a radiação líquida disponível.

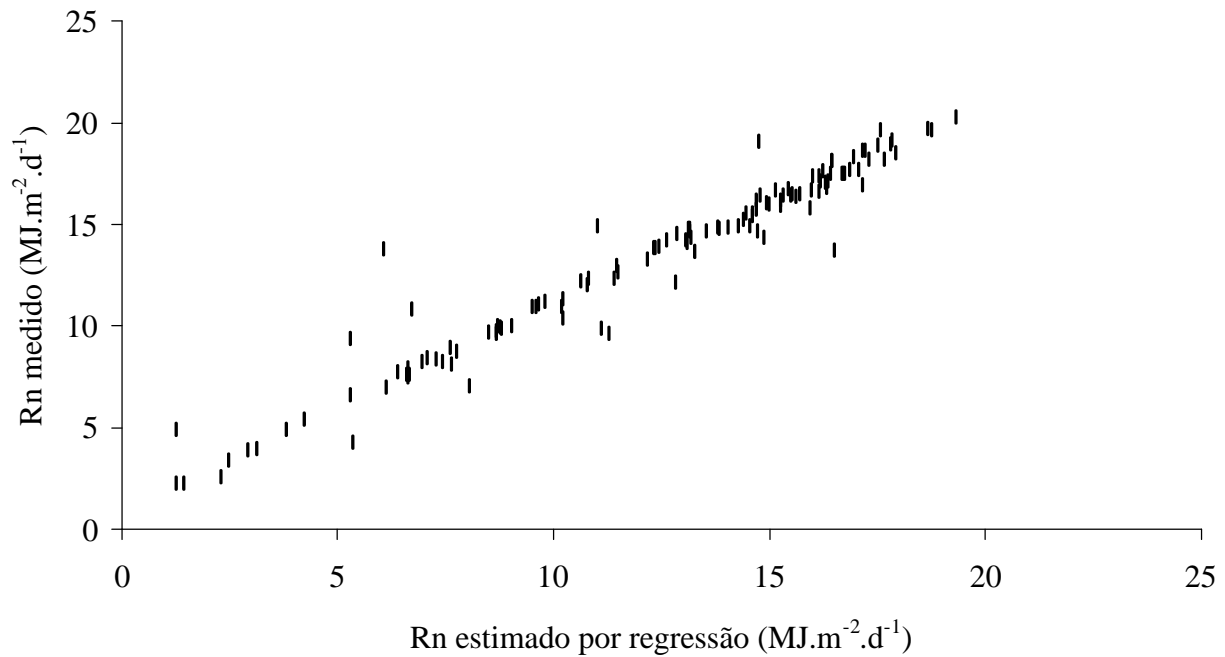


FIGURA 1 - Relação entre a Rn medida e a estimada pela equação de regressão $Rn = -0,1095 + 0,625 Rs$. Jaboticabal, SP, 1999.

Observa-se pela Figura 2 que, no período estudado, os valores da radiação líquida estimados através da expressão de Penman, a partir de valores também estimados da radiação solar global (R_s), não apresentaram um comportamento definido, portanto, ora os valores são superestimados, ora subestimados. Por outro lado, quando se dispõe de medidas radiação solar global (R_s), a expressão de Penman foi bastante eficiente, com uma leve tendência a subestimar os valores medidos da radiação líquida disponível neste período, como mostra a Figura 3. Estas diferenças podem ser justificadas pelo fato de que no cálculo da R_s considera-se o tempo, em horas, que o sol brilhou através da razão de insolação (n/N), sem considerar o horário (período) do dia que o sol brilhou, ou seja, a quantidade de energia que chega a superfície é muito maior nos horários em que o ângulo zenital, formado pelo sol e a terra, é menor do que nos horários em que este ângulo é maior.

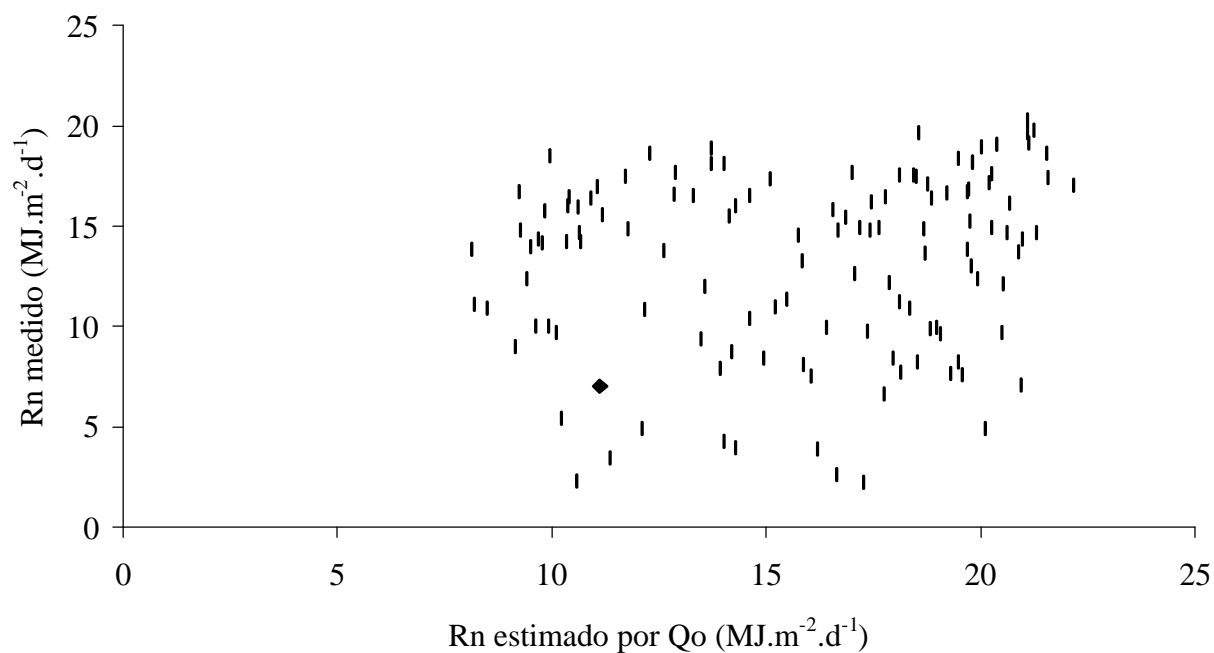


FIGURA 2 - Relação entre a Rn medida e estimada através da radiação solar global (Rs) obtida pela radiação solar extraterrestre (Q_o). Jaboticabal, SP, 1999.

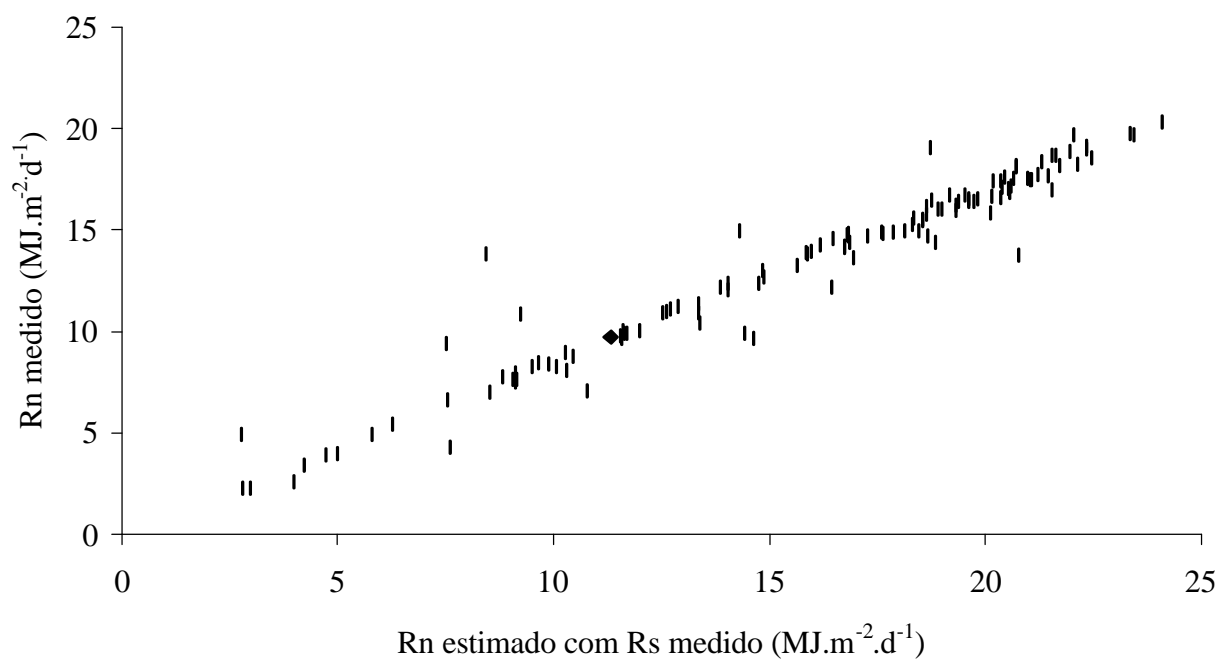


FIGURA 3 - Relação entre a Rn medida e estimada através da radiação solar global (Rs) medida. Jaboticabal, SP, 1999.

CONCLUSÕES

A radiação líquida disponível sobre superfície gramada, poderá ser estimada, para a região de Jaboticabal, no período primavera-verão, através da equação de Penman ou, simplesmente, pela equação de regressão $R_n = -0,1095 + 0,625 R_s$, sendo necessário, para as duas equações, a utilização da radiação solar global medida no local.

BIBLIOGRAFIA

- ANDRÉ, R.G.B.; VISWANADHAM, Y. Radiation balance of soybeans grown in Brazil. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.30, p. 157-173,1983.
- ANDRÉ, R.G.B.; VOLPE, C.A. Estimativa do saldo de radiação em Jaboticabal (SP). **Revista de Geografia**, São Paulo, v. 7, p. 01-08,1988.
- AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p.
- CUNHA, G.R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A. Balanço de radiação em cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1989, Maceió, AL. **Anais...**, Maceió: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 322-329, 1989.
- FONTANA, D.E.; BERLATO, M.A. & BERGAMASCHI, H. Balanço de radiação em região subtropical do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n.3, p. 411-418, 1991.
- SCHÖFFEL, E.R.; VOLPE, C.A. Estimativas do saldo de radiação em um cultura de soja. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA., 2, 1998, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Biometeorologia, p. 216-220, 1998.
- VILLANUEVA, J.G. **Estudo do coeficiente de transparência do vapor d'água sobre a cultura do feijão**. Piracicaba, 1987. 58 p. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.