

MODELO BASEADO NO MÉTODO DO BALANÇO DE ENERGIA PARA ESTIMAR A RADIAÇÃO LÍQUIDA EM SUPERFÍCIE GRAMADA

ADRIANE T. ALFARO ⁽¹⁾, NILSON A. VILLA NOVA ⁽²⁾, ANDRÉ B. PEREIRA ⁽³⁾,
LUIZ R. ANGELOCCI ⁽⁴⁾

1. Eng. Agrônomo, Professor Assistente, Departamento de Agronomia, Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais, Av. Carlos Cavalcanti, 8000 – Paraíso – 84030-000 Ponta Grossa, PR. E-mail: adrianealfaro@cescage.edu.br 2. Eng. Agrônomo, Professor Associado, Departamento de Biossistemas, Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 11 – Agronomia – CP 9 – 13418-900 Piracicaba, SP. Bolsista em Produtividade do CNPq. 3. Eng. Agrônomo, Professor Associado, Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Av. Carlos Cavalcanti, 4748 – Uvaranas – 84030-900 Ponta Grossa, PR. 4. Eng. Agrônomo, Professor Associado, Departamento de Biossistemas, Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 11 – Agronomia – CP 9 – 13418-900 Piracicaba, SP. Bolsista em Produtividade do CNPq.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapará, Guarapará - ES.

RESUMO: A radiação líquida vem a ser o saldo de radiação sobre uma dada superfície e representa a principal fonte de energia disponível aos processos naturais. O trabalho objetivou propor um modelo matemático para estimar a radiação líquida em uma superfície gramada. Para tanto foram utilizados elementos meteorológicos monitorados em uma EMA instalada no Departamento de Engenharia de Biossistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. A radiação líquida foi calculada em função da radiação solar global, da umidade relativa do ar e temperatura média diária do ar. A metodologia proposta permite determinar a radiação líquida em função de dados experimentais facilmente disponíveis. O desempenho do modelo proposto foi verificado através da análise dos coeficientes de determinação (R^2) e dos índices de concordância de Willmott (d) aplicados aos dados experimentais. Os valores estimados pela metodologia proposta foram confrontados com os valores medidos por um saldo radiômetro e os resultados revelaram que esta se mostrou eficiente para a estimativa da radiação líquida com rapidez e simplicidade.

Palavras chaves: balanço geral de radiação, razão de Bowen, radiação solar global.

MODEL BASED ON THE ENERGY BALANCE APPROACH FOR ESTIMATION OF THE GRASS NET RADIATION

ABSTRACT: The net radiation comes to being the energy balance upon a given soil surface, and represents the main energy source available to the natural processes. The current manuscript aimed at proposing a mathematical model for estimating the grass net radiation. For such, meteorological elements monitored by an automatic weather station at the Biosystems Engineering Department of the Agricultural College “Luiz de Queiroz”, University of São Paulo, Piracicaba, SP, were used herein. The net radiation was calculated as a function of the global solar radiation, air relative humidity and air daily mean temperature. Such methodology allows for the determination of the net radiation as a function of a more easily available data set. The performance of the proposed model has been verified by means of the analysis of the coefficients of determination (R^2) and Willmott agreement index (d) applied to the experimental data. The estimates obtained with the proposed method have been confronted to the measured

values, and the outcomes revealed that the methodology showed to be efficient for the estimation of the grass net radiation with fastness and simplicity.

Keywords: net radiation, Bowen ratio, global solar radiation

INTRODUÇÃO

A radiação líquida é a soma algébrica de todos os fluxos de entrada e saída de radiação de onda curta e longa num sistema, sendo fundamental para quantificar o balanço de energia na superfície da Terra. A partição da radiação líquida em fluxo de calor latente de um sistema vegetado, bem como em outros componentes do balanço de energia está intimamente associada às mudanças no uso da terra e à disponibilidade de água no sistema. A radiação líquida é uma variável de entrada em modelos de estimativa da evapotranspiração, sendo essencial para o manejo dos recursos hídricos em escala regional (Ryu et al., 2008) e para estudos de previsão de geadas e monitoramento da poluição atmosférica (Fritschen & Fritschen, 2007).

Para condições de superfície plana, a radiação líquida pode ser estimada a partir da associação das equações de Angström-PreScott, para o balanço de ondas curtas, e de Brunt, para o balanço de ondas longas; sendo esse procedimento recomendado pela FAO, quando o objetivo é a estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith a partir de dados de estações meteorológicas convencionais. Para tal estimativa são necessários dados de razão de insolação, de pressão parcial de vapor d'água e de temperatura do ar (Sentelhas & Nascimento, 2003).

Este trabalho teve por objetivo propor um modelo matemático para estimar a radiação líquida em uma superfície gramada em função da radiação solar global, da umidade relativa do ar e da temperatura média diária do ar em Piracicaba, SP.

MATERIAL E MÉTODOS

Com base no princípio do balanço de energia, Alfaro (2009) propôs a seguinte equação para estimar a radiação líquida sobre superfície gramada a partir de dados experimentais coletados em Piracicaba, SP:

$$R_n = Q_g (1 - \alpha) \frac{(2 - \omega^*)}{(3 - 2 \omega^*)} \quad (1)$$

em que ω^* é um fator de ponderação para o efeito de radiação solar sobre a evapotranspiração, o qual depende da altitude local, da temperatura média do ar, da umidade relativa média do ar e do coeficiente psicrométrico (Villa Nova et al., 2007); R_n é a radiação líquida ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); Q_g é a radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e α é o albedo da grama.

O coeficiente de determinação (R^2) obtido através da análise de regressão, descreve a proporção da variação total explicada pelo modelo de regressão e tem sido largamente utilizado como índice de correlação. No entanto, R^2 não deve ser utilizado individualmente em uma análise de desempenho, pois tal parâmetro estatístico muitas vezes pode não estar relacionado com o tamanho da diferença entre o valor padrão e o valor previsto por modelos de estimativa ou outros mecanismos de medida padrão (Willmott & Wicks, 1980).

A precisão das equações de estimativa de R_n foi expressa por R^2 (Legates & McCabe, 1999). A exatidão pode ser observada pela dispersão dos pares ordenados

compostos por valores medidos e estimados de R_n ao redor da reta 1:1, a qual foi quantificada pelo índice de concordância (Willmott et al., 1985). Um índice c proposto por Camargo & Sentelhas (1997) foi adotado para indicar o desempenho do modelo de regressão linear, em associação aos coeficientes de correlação de Pearson (r) e de concordância (d), o qual foi obtido pelo produto entre estes dois últimos parâmetros estatísticos. Para avaliar o erro das estimativas, foram calculados o erro absoluto percentual médio (MAPE) e o erro percentual absoluto suavizado (SAPE), descritos por Goodwin & Lawton (1999).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores diários de radiação líquida sobre superfície gramada estimados pela metodologia proposta e medidos por saldo radiômetro para as condições climáticas da localidade estudada e período compreendido entre 01 de agosto de 1996 a 09 de dezembro de 1996 foram tabulados por Alfaro (2009).

O teste de verificação da confiabilidade do método (equação 1), obtido a partir de uma série independente de dados coletados em superfície gramada, resultou em um coeficiente de determinação de 0,91, um índice de Willmott de 0,93 e um coeficiente de desempenho de 0,89 (Figura 1).

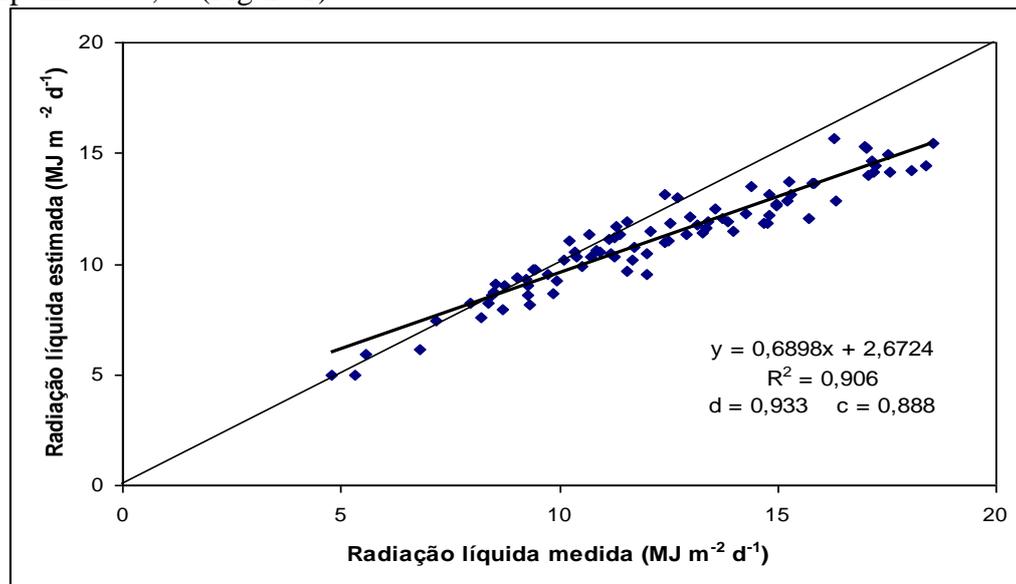


Figura 1. Relação entre a radiação líquida medida por saldo radiômetro e estimada pela metodologia proposta em Piracicaba, SP, considerando-se uma série independente de dados.

O índice de concordância (d) igual a 0,93 revela uma elevada exatidão, estando em consonância com os valores de d encontrados por Pereira et al. (2003) e Legates & McCabe (1999). O índice de desempenho (c) foi de 0,89 para a localidade e cultura reportadas na Figura 1, indicando um excelente desempenho de acordo com o critério de interpretação descrito por Camargo & Sentelhas (1997).

Tanto a precisão do modelo de regressão linear simples, dada pela linha de tendência, como a exatidão constatada, expressa pela dispersão dos dados experimentais ao redor da reta de 45° em gráfico do tipo 1:1, foram consistentes. O valor de c , correspondente a 0,89, excedeu o valor de índice de concordância considerado como satisfatório reportado na literatura. Segundo Robinson & Hubbard (1990), o limite inferior aceitável para o índice de concordância (d) é de 0,75.

Os valores obtidos para os erros das estimativas expressos pelo MAPE e pelo SAPE foram de 8,9% e 9,4%, respectivamente, confirmando-se a viabilidade de utilização do método proposto para estimar a radiação líquida sobre superfície gramada na localidade estudada, através da equação 1.

O balanço de ondas longas em base diária (BOL) pode ser estimado a partir de medidas meteorológicas feitas em uma estação por equações empíricas, como a de Brunt, em função da temperatura absoluta média diária do ar, pressão parcial exercida pelo vapor d'água na atmosfera, insolação astronômica efetiva e do fotoperíodo.

O teste de verificação da confiabilidade do método clássico de Brunt, obtido a partir de uma série independente de dados coletados em superfície gramada, resultou em um coeficiente de determinação de 0,70, um índice de Willmott de 0,69 e um coeficiente de desempenho de 0,57 (Figura 2).

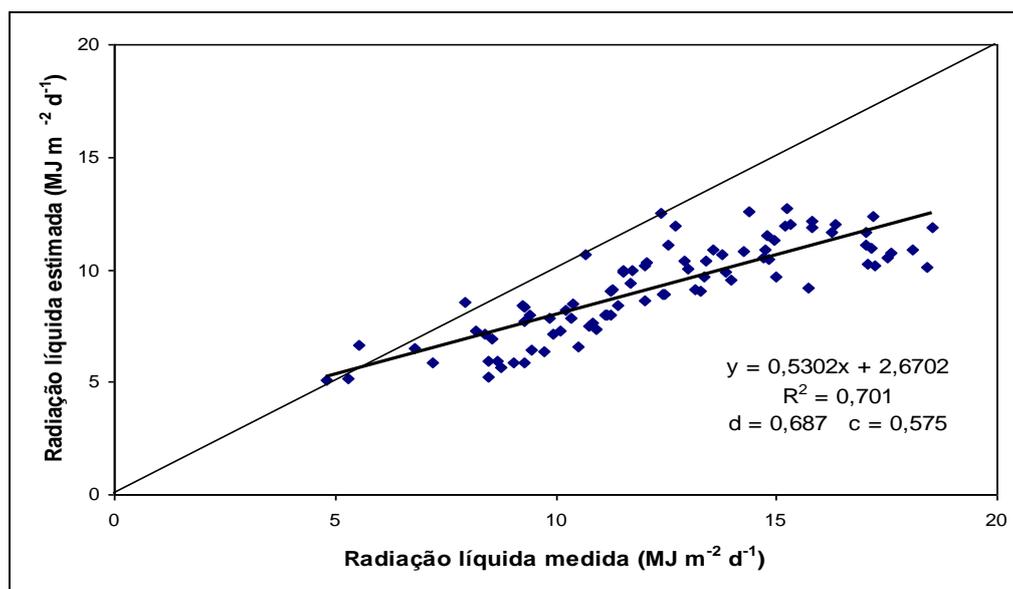


Figura 2. Relação entre a radiação líquida medida por saldo radiômetro e estimada pela metodologia clássica de Brunt em Piracicaba, SP, considerando-se uma série independente de dados.

Tanto a precisão do modelo de regressão linear para o estudo comparativo entre a radiação líquida estimada pela metodologia clássica e a observada, assim como sua exatidão, foram menos consistentes do que aquelas obtidas através da metodologia proposta neste estudo. O valor de c correspondente a 0,57 não atingiu o limite inferior aceitável para o índice de concordância como proposto por Robinson & Hubbard (1990) quando se calcula a radiação líquida pelo modelo de Brunt.

Os valores obtidos para os erros das estimativas expressos pelo MAPE e pelo SAPE ao se considerar a metodologia convencional para estimar a radiação líquida de gramado foram de 24,3% e 28,4%, respectivamente, tendo sido consideravelmente superiores aos valores obtidos para os erros das estimativas mediante o emprego da metodologia proposta.

4. CONCLUSÕES

A estimativa da radiação líquida diária de gramado fundamentada na teoria proposta gerou valores comparáveis àqueles obtidos pela medida de saldo radiômetros, bem como mais confiáveis que aqueles obtidos pela metodologia convencional para a localidade estudada.

É possível estimar com boa aproximação a radiação líquida diária de superfície gramada somente a partir da radiação solar global, temperatura e umidade relativa do ar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFARO, A.T.S. *Modelo de estimativa da radiação líquida e sua aplicação na determinação da evapotranspiração potencial*. 2009. 78p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Piracicaba, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- FRITSCHEN, L.J.; FRITSCHEN, C.L. Calibration of shielded net radiometers. *Agronomy Journal*, Madison, v.99, n.1, p. 297-303, 2007.
- GOODWIN, P.; LAWTON, R. On the asymmetry of the symmetric MAPE. *International Journal of Forecasting*, Oxford, v.15, n.2, p.405-408, 1999.
- LEGATES, D.R.; McCABE JR, G.F. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydraulic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*, Amsterdam, v.35, n.1, p.233-241, 1999.
- PEREIRA, A.B.; VILLA NOVA, N.A.; GALVANI, E. Estimation of global solar radiation flux density in Brazil as a function of a single measurement at solar noon. *Biosystems Engineering*, Edinburg, v.86, n.1, p.27-34, 2003.
- ROBINSON, J.M.; HUBBARD, K.G. Soil water assessment model for several crops in high plains. *Agronomy Journal*, Madison, v.82, n.4, p.1141-1148, 1990.
- RYU, Y.; KANG, S.; MOON, S; KIM, J. Evaluation of land surface radiation balance derived from moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) over complex terrain and heterogeneous landscape on clear sky days. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.48, n.4, p.1538–1552, 2008.
- SENTELHAS, P.C.; NASCIMENTO, A.L.C. Variação sazonal entre o saldo de radiação e a irradiância solar global. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Jaboticabal, v.18, n.1, p.71–77, 2003.
- VILLA NOVA, N.A., PEREIRA, A.B., SHOCK, C.C. Estimation of reference evapotranspiration by an energy balance approach. *Biosystems Engineering*, Edinburg, v.96, n.3, p.605-615, 2007.
- WILLMOTT, C.J., WICKS, D.E. An empirical method for the spatial interpolation of monthly precipitation within California. *Physical Geography*, Columbia, v.1, n.1, p.59-73, 1980.
- WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIES, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O’DONNELL, J; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Washington, v.90, n.5, p.8995-9005, 1985.