

# MÉTODO DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO LÍQUIDA EM SUPERFÍCIE GRAMADA NA DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

ADRIANE T. ALFARO <sup>(1)</sup>, NILSON A. VILLA NOVA <sup>(2)</sup>, ANDRÉ B. PEREIRA <sup>(3)</sup>,  
GUSTAVO C. BERUSKI <sup>(4)</sup>

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](mailto:adrianealfaro@cescage.edu.br) 2. Eng. Agrônomo, Professor Associado, Departamento de Biosistemas, 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. Biólogo, Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Bolsista da CAPES.

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

**Resumo:** A evapotranspiração depende primariamente do balanço de energia, sendo a variável do meio físico de maior importância em estudos voltados ao planejamento da irrigação, particularmente durante as fases críticas de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, as quais são limitadas pelo fator hídrico. O objetivo desse trabalho foi verificar a aplicabilidade das estimativas da radiação líquida em superfície gramada no desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração potencial sob as condições climáticas de Piracicaba, SP. Em estudos de regressão, foram utilizados elementos de clima monitorados em uma estação meteorológica automática durante um período de 87 dias para o cálculo da evapotranspiração, considerando-se tanto valores estimados como medidos da radiação líquida. A utilização da radiação líquida estimada por modelo baseado no balanço de energia mostrou-se eficiente para estimar a evapotranspiração potencial através dos métodos de Penman-Monteith, Priestley-Taylor ajustado e Penman simplificado. Uma boa concordância ( $R^2 > 0,91$ ) com os valores de demanda potencial obtidos com a radiação líquida medida por saldo radiômetros foi observada.

**Palavras-chave:** Balanço de energia, uso de água, modelagem, demanda atmosférica.

## ESTIMATION METHOD OF GRASS NET RADIATION ON THE DETERMINATION OF POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION

**Abstract:** Evapotranspiration depends primarily on the local energy balance, being however the most important variable of the physical environment when it comes to irrigation scheduling, especially throughout the production formation stages that are to be limited by water factor. The current manuscript aimed at verifying the applicability of the estimates of grass net radiation on the performance of estimation methods of the potential evapotranspiration under the climatic conditions of Piracicaba, SP, Brazil. In order to proceed to simple linear regression studies, meteorological data were monitored by an automatic weather station throughout a period of 87 days for the calculation of potential evapotranspiration, taking into account both the estimated and calculated grass net radiation values. The utilization of grass net radiation estimated by a model based on the local energy balance showed an excellent performance for estimating potential evapotranspiration by means of the Penman-Monteith, adjusted Priestley-Taylor, and

simplified Penman approaches, along with a great agreement ( $R^2 > 0.91$ ) related to the potential demand values obtained with grass net radiation measured by net radiometers.

**Keywords:** Energy balance, water use, modeling, atmospheric demand.

## Introdução

A demanda climática ideal de água de uma cultura é função da evapotranspiração potencial e constitui a variável que define a lâmina de irrigação a ser aplicada para que uma cultura expresse sua potencialidade produtiva em determinada localidade. Penman (1956) argumenta que, quando a cobertura de solo é completa, a demanda potencial é condicionada principalmente pelos elementos meteorológicos locais.

Quando a radiação líquida ( $Rn$ ) é recebida por um dossel sob condições ideais de suprimento de água, parte é transformada em evaporação, parte em calor sensível para o ar atmosférico, parte em fluxo de calor sensível no solo e parte em armazenamento de energia (Pereira et al., 1997). A  $Rn$  é o elemento meteorológico que exerce maior influência nas taxas de evapotranspiração dos cultivos.

Ataíde (2006) destaca a importância das medidas de  $Rn$  em ambientes vegetados para caracterizar as disponibilidades térmicas e hídricas, sendo fundamentais para o entendimento das relações genótipo-ambiente que determinam a produtividade das culturas agrícolas.

O presente trabalho teve por objetivo verificar a aplicabilidade das estimativas da radiação líquida baseada no método do balanço de energia em superfície gramada sobre o rendimento da evapotranspiração potencial calculada pelos métodos de Penman-Monteith, Priestley-Taylor ajustado e Penman Simplificado sob as condições edafoclimáticas de Piracicaba, SP, Brasil.

## Material e métodos

A evapotranspiração potencial ( $ET_o$ ) foi estimada em base diária utilizando o modelo de Penman-Monteith (PM) no município de Piracicaba, SP, a partir de dados experimentais coletados durante o período compreendido entre 01 de agosto de 1996 a 09 de dezembro de 1996.

Foram utilizados dados de  $Rn$  obtidos por dois procedimentos: 1) medidos em radiômetro líquido (modelo Q7.1 Net radiometer - REBS; espectro: 0,25 a 60  $\mu\text{m}$ ) colocado a 1 m de altura da cobertura vegetal; 2) estimados pela metodologia proposta por Alfaro (2009) e pela metodologia clássica de Brunt.

$ET_o$  foi também determinada através do método de Priestley-Taylor ajustado (PTa) proposto por Villa Nova & Pereira (2006) e Villa Nova et al. (2007), bem como pelo método de Penman simplificado (Villa Nova et al., 2006) para o mesmo período selecionado e local estudado ( $P_s$ ).

Alfaro (2009) propôs a seguinte equação para cálculo de  $Rn$  em função da radiação solar global, temperatura e umidade relativa médias diárias do ar:

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

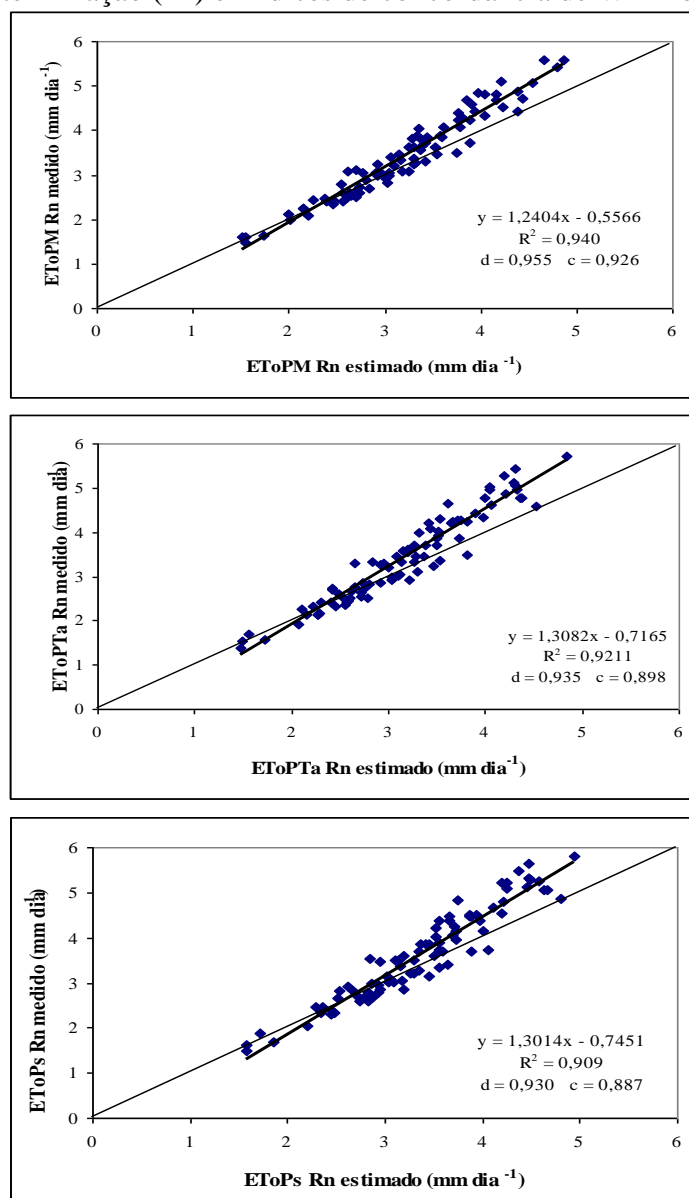
onde  $Qg$  é a radiação solar global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ),  $\alpha$  é o albedo da grama e  $\omega^*$  é o fator de ponderação da radiação sobre a evapotranspiração tabulado por Villa Nova et al., 2007.

Os valores de  $ET_o$  calculados com dados de  $Rn$  obtidos por intermédio da metodologia proposta por Alfaro (2009) e da metodologia clássica de Brunt foram correlacionados com aqueles que levam em conta a  $Rn$  medida por saldo-radiômetros através de estudos de regressão.

A precisão das equações de estimativa de  $ET_o$  foi expressa por  $R^2$  (Legates & McCabe, 1999). A exatidão pode ser observada pela dispersão dos pares ordenados compostos por  $ET_o$  que consideram valores estimados e medidos de  $Rn$  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.

## Resultados e discussão

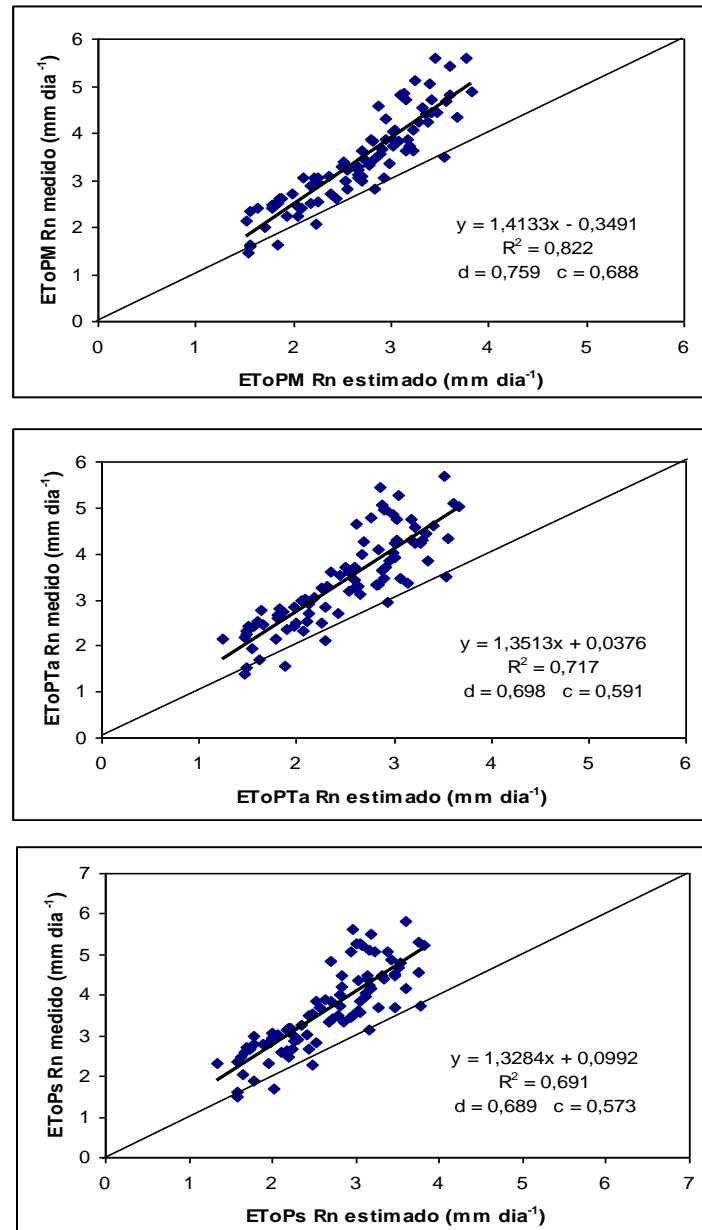
O teste de verificação da confiabilidade do método de estimativa da  $Rn$  baseado no princípio do balanço de energia (Alfaro, 2009) para se calcular a demanda evaporativa da atmosfera pelos métodos de PM, PTa e Ps, a partir de uma série independente de dados coletados em superfície gramada (Figura 1), resultou em elevados valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e índices de concordância de Willmott ( $d$ ).



**Figura 1.** Relação entre a evapotranspiração potencial ( $ET_o$ ) obtida pelo método de Penman-Monteith (PM), Priestley-Taylor ajustado (PTa) e Penman simplificado (Ps) a partir da radiação líquida medida e estimada pela metodologia proposta por Alfaro (2009) sob as condições climáticas de Piracicaba, SP.

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

O teste de verificação da confiabilidade do método clássico de Brunt para a estimativa da radiação líquida empregada para se calcular a demanda potencial pelos diferentes métodos de estimativa (*EToPM*, *EToPTa* e *EToPs*), a partir de uma série independente de dados coletados em superfície gramada (Figura 2), resultou em elevados valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e de índices de concordância de Willmott (d).



**Figura 2.** Relação entre a evapotranspiração potencial ( $ET_o$ ) obtida pelo método de Penman-Monteith (PM), Priestley-Taylor ajustado (PTa) e Penman simplificado (Ps) a partir da radiação líquida medida e estimada pela metodologia clássica de Brunt sob as condições climáticas de Piracicaba, SP.

Tanto a precisão do modelo de regressão linear para o estudo comparativo entre a  $ET_o$  calculada a partir da  $R_n$  estimada pela metodologia clássica e pela observada em

saldo radiômetros, assim como sua exatidão, foram menos consistentes do que aquelas obtidas através da metodologia baseada no balanço de energia local proposta por Alfaro (2009) (Figura 1). Os valores de  $c$  correspondentes a 0,688, 0,591 e 0,573 não atingiram o limite inferior aceitável para o índice de concordância  $d$  como proposto por Robinson & Hubbard (1990) quando se calcula a  $Rn$  pelo modelo de Brunt (Figura 2).

## Conclusões

1. 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.

2. A metodologia de cálculo da radiação líquida baseada no princípio do balanço de energia local permite a obtenção da evapotranspiração potencial a ser estimada pelos métodos de Penman-Monteith, Priestley-Taylor ajustado e Penman simplificado com rapidez e simplicidade, sendo, portanto, indispensáveis no planejamento de projetos de engenharia que visem ao aproveitamento da energia solar em suas mais variadas formas.

## Referências bibliográficas

- ALFARO, A.T.S. **Modelo de estimativa da radiação líquida e sua aplicação na determinação da evapotranspiração potencial**. 2009. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.
- ATAÍDE, K.R.P. **Determinação da radiação líquida e da radiação global com produtos do sensor MODIS Terra Água**. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola e Micrometeorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- 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**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- LEGATES, D.R.; McCABE JR, G.F. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydraulic and hydroclimatic model validation. **Water Resources Research**, v.35, n.1, p.233-241, 1999.
- PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. **Journal of Agricultural Science**, v.4, n.1, p.9-29, 1956.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpiração)**. Piracicaba, FEALQ, 1997. 183p.
- ROBINSON, J.M.; HUBBARD, K.G. Soil water assessment model for several crops in high plains. **Agronomy Journal**, v.82, n.4, p.1141-1148, 1990.
- VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.B. Ajuste do método de Priestley-Taylor às condições climáticas locais. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.2, p.395-405, 2006.
- VILLA NOVA, N.A.; MIRANDA, J.H.; PEREIRA, A.B.; OLIVEIRA, K. Estimation of the potential evapotranspiration by a simplified Penman method. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.3, p.713-721, 2006.
- VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.B.; SHOCK, C.C. Estimation of reference evapotranspiration by an energy balance approach. **Biosystems Engineering**, v.96, n.4, p.605-615, 2007.
- 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**, v.90, n.5, p.8995-9005, 1985.