

## **RADIAÇÃO LÍQUIDA DIÁRIA ESTIMADA E MEDIDA NA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO NOROESTE PAULISTA<sup>1</sup>**

M.D. de LACERDA<sup>2</sup>; F.B.T. HERNANDEZ<sup>3</sup>; G.O. SANTOS<sup>4</sup>; A.H. de C. TEIXEIRA<sup>5</sup>;  
C.M.U. NEALE<sup>6</sup>

**RESUMO:** Este trabalho foi realizado com o objetivo de comparar os valores da radiação líquida diária estimada com base na radiação global e a medida pelo sensor Campbell Q-7.1 na estimativa final da evapotranspiração de referência. Para tanto utilizou-se os dados da Estação Agrometeorológica Automática da UNESP Ilha Solteira-SP no período de março/2000 à dezembro/2010, totalizando 3.339 dados históricos de: temperaturas do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, radiação solar global, velocidade do vento e insolação. Os resultados da radiação líquida mostraram performances ótimas, subestimados e superestimados em valores máximos de -0,38 e +1,37 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, respectivamente, ajustando-se à uma regressão linear com R<sup>2</sup>=0,984. Assim permitindo recomendar o uso de valores de estimados da radiação líquida como componente da equação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) por Penman-Monteith, evitando o investimento e o custo com a manutenção, mão-de-obra especializada para calibração e manutenção deste equipamento em campo.

**PALAVRAS-CHAVE:** radiação líquida, evapotranspiração, estimativa.

## **NET RADIATION DAILY ESTIMATED AND MEASURED IN THE ESTIMATED OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN THE REGION NORTHWESTER PAULISTA.**

**SUMMARY:** This work was carried out in order to compare the values of net radiation daily estimated based on the global radiation and the measured by the sensor in the final estimate of reference evapotranspiration. To this end we used data from Automatic Weather Station at

---

<sup>1</sup> Trabalho desenvolvido com apoio financeiro da FAPESP (Projeto 09/52467-4, Modelagem da produtividade da água em bacias hidrográficas com mudanças de uso da terra).

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, M.Sc. em Eng<sup>a</sup> Agrícola (Irrigação e Drenagem), Bolsista CAPES, Doutorando em Sistemas de Produção na UNESP Ilha Solteira. Caixa Postal 34. Ilha Solteira, SP. CEP 15385-000. E-mail: [marcusagronomo@bol.com.br](mailto:marcusagronomo@bol.com.br)

<sup>3</sup> Professor Titular do DEFERS - UNESP Ilha Solteira.

<sup>4</sup> Engenheiro Ambiental e Mestrando em Sistemas de Produção na UNESP Ilha Solteira e Bolsista CNPq.

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo e Pesquisador em Agrometeorologia da EMBRAPA Semiárido, Petrolina - PE.

<sup>6</sup> Engenheiro Civil e Professor da Utah State University, Logan, EUA.

UNESP Ilha Solteira-SP the period of march/2000 to december/2010, totaling 3.339 days historical of: air temperatures, relative humidity air, pressure atmospheric, radiation solar, speed wind and insolation. The results of net radiation showed great performances, underestimated and overestimated values maximum of  $-0,38$  and  $+1,37$   $\text{MJ.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$ , respectively, adjusting to a linear regression with  $R^2=0,984$ . Thus enabling recommend the use of estimated values of net radiation as a component of the equation of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) by Penman-Monteith, avoiding the investment and cost with the maintenance, skilled labor for calibration and maintenance of this equipment in the field.

**KEYWORDS:** Netradiation, evapotranspiration, estimation.

## INTRODUÇÃO

A estimativa da radiação líquida e, conseqüentemente, da evapotranspiração de referência, é fundamental para aplicações em recursos hídricos e modelagens climáticas. É desejável que se tenha um método que estime a evapotranspiração com boa precisão, e a partir de dados meteorológicos fáceis de serem obtidos (VILLA NOVA & PEREIRA, 2006).

A aquisição e divulgação diária das variáveis agroclimatológicas, incluindo a estimativa da evapotranspiração - que é o processo de perda de água pela evaporação do solo e transpiração das folhas - permite ao irrigante determinar o quanto e quando irrigar sua cultura e segundo Hernandez & Silva (2010) há um interesse crescente da imprensa em geral pelo tema, possibilitando levar aos usuários da água, informações que favorecem o uso eficiente da água, em especial, a compreensão e a prática do manejo racional da água na agricultura irrigada.

Conforme Alfaro (2009), a radiação líquida pode ser medida por equipamentos normalmente caros para uso rotineiro, e estes quando usados, são na maioria das vezes exclusivos para pesquisas, bem como pode ser calculada através de estimativas utilizando equações que consideram a radiação líquida como sendo uma composição entre o fluxo de radiação de onda curta incidente a superfície do solo, descontada do fluxo de radiação refletida pela superfície (saldo +), mais o fluxo de radiação de onda longa emitida pela superfície, descontado do fluxo de origem atmosférica que será contra irradiado de volta para o sistema (saldo -).

O equipamento mais comum para avaliação direta da radiação líquida em estações meteorológicas automáticas é o saldo-radiômetro. Trata-se de um dispositivo composto por um único instrumento, podendo apresentar cúpulas protetoras de polietileno (Q-

7.1, REBS), ou não (NR-Lite e CNR1). São usados em diversos trabalhos para avaliar a evapotranspiração potencial medida e/ou estimada, em várias escalas de tempo, em função da radiação líquida medida por diferentes instrumentos (GAVILAN *et al.*, 2007).

Os saldos radiômetros sem cúpula NR-Lite foram desenvolvidos afim de reduzir e simplificar a manutenção do equipamento. Diferem dos que possuem cúpula, utilizado neste trabalho, por terem os sensores (pilha termoeletrica) substituídos, com revestimento preto de teflon. Na atualidade o saldo radiômetro sem cúpula é o único comercialmente disponível. Embora o fabricante afirme que este instrumento é menos preciso do que os saldos radiômetros de cúpula normalmente utilizados, principalmente devido a sua perda de precisão em altas velocidades do vento, experimentos de campo para avaliação da precisão das estimativas de evapotranspiração a partir de ambos os tipos de saldo radiômetro são necessárias (GAVILAN *et al.*, 2007).

Este trabalho teve como objetivo comparar a radiação líquida diária estimada a partir da radiação global com os dados coletados pelo sensor Campbell Q-7.1 e os seus efeitos na estimativa da evapotranspiração de referência pelo equação de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) na região noroeste paulista.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados históricos diários climatológicos necessários para execução desse trabalho foram obtidos a partir da Estação Agrometeorológica Automática da UNESP Ilha Solteira, operada pela Área de Hidráulica e Irrigação localizada na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão-Pomar, com coordenadas geográficas 20°25'24,48''S e 51°21'13,13''O e altitude de 336,9 metros. Foram utilizados os valores das umidades relativas do ar mínima e máxima (%), temperaturas do ar mínima e máxima (°C), velocidade do vento média a 2 metros de altura (m/s), radiação solar total incidente na superfície terrestre ( $\text{MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$ ) e insolação diária (horas/dia), no período de março de 2000 a dezembro de 2010, disponibilizados no Portal do Clima da UNESP Ilha Solteira na Rede Mundial a partir de <http://clima.feis.unes.br>.

As variáveis climáticas são armazenadas em um *data logger* Campbell CR-23X e a radiação líquida ou saldo de radiação é medida pelo sensor Campbell Q-7.1. Para a avaliação do estudo foi realizada as estatísticas de regressões dos modelos lineares simples ( $R^2$ ). Todos os cálculos estatísticos foram realizados com o auxílio do *software* Microsoft Office Excel 2007. A radiação líquida diária ( $R_n$ ) foi estimada pela equação de Allen *et al.* (1998), padronizada pela FAO, em  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ .

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}, \text{ onde:}$$

**R<sub>n</sub>** = Radiação líquida diária (MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>);

**R<sub>ns</sub>** = Radiação útil de comprimentos de ondas curtas (MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>);

**R<sub>nl</sub>** = Radiação de ondas longas (MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios diários da radiação líquida (R<sub>n</sub>) estimada e a medida pelo saldo radiômetro, em MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, e da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) estimada, em mm.dia<sup>-1</sup>, encontram-se na Tabela 1, onde na média final das diferenças dos meses dos anos em estudo, a R<sub>n</sub> foi subestimada em -0,42 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, enquanto que a ET<sub>o</sub> foi superestimada em +0,11 mm.dia<sup>-1</sup>.

**Tabela 1.** Valores de radiação líquida diária (R<sub>n</sub>) e evapotranspiração de referência diária (ET<sub>o</sub>), estimadas, comparadas com dados do sensor Campbell Q-7.1, em Ilha Solteira-SP, no período de março/2000 à dezembro/2010.

Meses	R <sub>n</sub>	R <sub>n</sub>	Diferença	ET <sub>o</sub>	ET <sub>o</sub>	Diferença
	Estimada	Sensor		Estimada	Sensor	
	-----MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> -----			-----mm.dia <sup>-1</sup> -----		
<b>Jan</b>	11,59	11,71	-0,12	4,13	4,02	0,11
<b>Fev</b>	12,19	12,64	-0,45	4,36	4,33	0,03
<b>Mar</b>	11,28	11,84	-0,56	4,11	4,12	-0,01
<b>Abr</b>	9,53	10,46	-0,93	3,79	3,85	-0,06
<b>Mai</b>	6,83	7,77	-0,94	2,83	2,88	-0,05
<b>Jun</b>	5,76	7,14	-1,38	2,65	2,79	-0,14
<b>Jul</b>	6,28	7,19	-0,91	3,12	3,06	0,06
<b>Ago</b>	7,94	8,53	-0,59	4,03	3,84	0,19
<b>Set</b>	9,54	9,68	-0,14	4,52	4,23	0,29
<b>Out</b>	11,41	11,19	0,22	4,73	4,40	0,33
<b>Nov</b>	12,86	12,47	0,39	4,92	4,58	0,34
<b>Dez</b>	12,95	12,57	0,38	4,68	4,40	0,28
<b>Soma</b>	<b>118,16</b>	<b>123,19</b>	<b>-5,03</b>	<b>47,87</b>	<b>46,50</b>	<b>1,37</b>
<b>Média</b>	<b>9,85</b>	<b>10,27</b>	<b>-0,42</b>	<b>3,99</b>	<b>3,88</b>	<b>0,11</b>

Pela análise de regressão linear simples (R<sup>2</sup>) aplicada a estes dados, constata-se que os dados coletados pelo sensor Campbell Q-7.1 e os valores estimados de radiação líquida (R<sub>n</sub>) e de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) estão altamente correlacionados para o estudo e

nodesempenho deste modelo, na localidade de Ilha Solteira-SP, pode ser melhor observado abaixo nos Gráficos 1 e 2, onde se verifica que tanto a precisão (dada pela reta de tendência) como a exatidão (visualizada pela dispersão dos dados ao redor da reta 1:1) das estimativas foram muito boas, apresentando valores de  $R^2=0,9797$  para Radiação Líquida e  $R^2=0,9762$  para evapotranspiração de referência, onde resultados são similares ao de Alfaro (2009), estudando estimativa da radiação líquida em Piracicaba-SP, onde obteve valores de desempenho ótimos, com  $R^2=0,906$ , com apenas 89 observações, de agosto a dezembro de 1996.

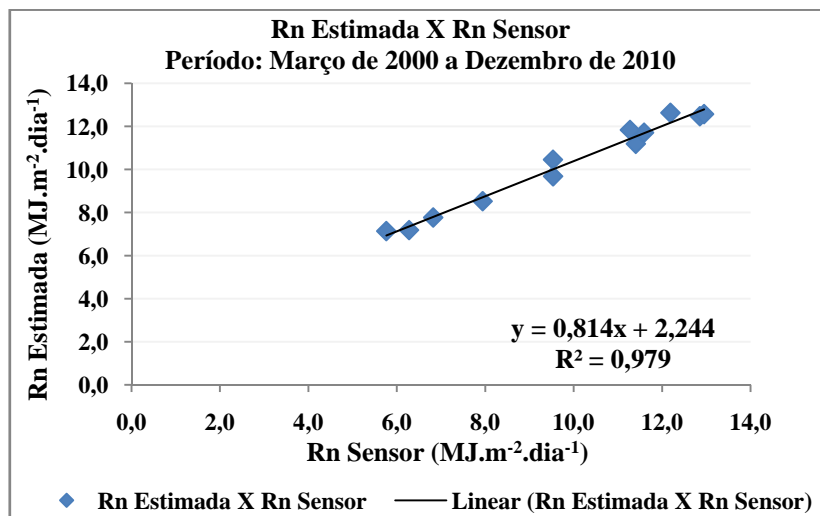


Gráfico 1. Relação entre a radiação líquida (Rn) medida por saldoradiômetro e a estimada em Ilha Solteira, SP, no período de março de 2000 até dezembro de 2010.

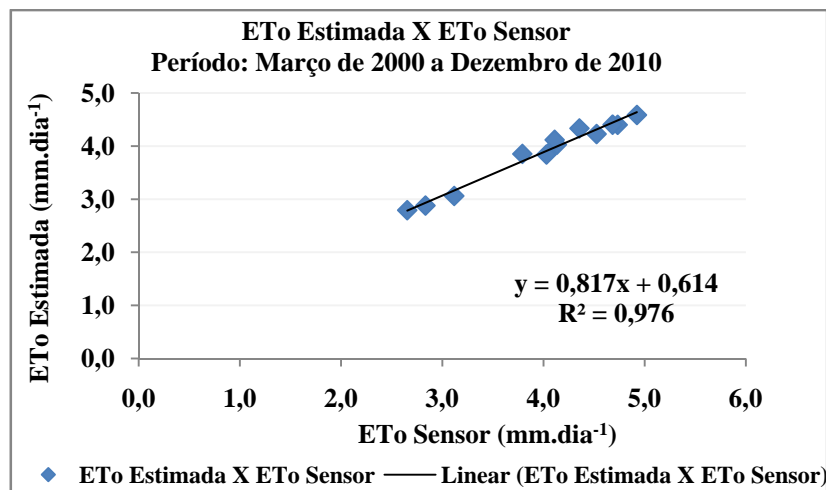


Gráfico 2. Relação entre a evapotranspiração de referência (ETo) medida e a estimada em Ilha Solteira, SP, no período de março de 2000 até dezembro de 2010.

## CONCLUSÕES

A radiação líquida diária estimada gerou valores muito próximos à aqueles obtidos pelo sensor Campbell Q-7.1 na região noroeste paulista e sendo este equipamento o mais caro de uma estação agrometeorológica, e no caso da estimativa da evapotranspiração de referência para fins de manejo da irrigação, pode ser evitada a sua aquisição, que, sendo muito influenciado pelas condições do local de instalação, requer ainda cuidados na instalação e manutenção, necessitando ainda de mão-de-obra especializada para calibração e manutenção.

## **AGRADECIMENTOS**

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do projeto 2010/10766-2 Modelagem da Produtividade da Água em Bacias Hidrográficas com Mudanças de Uso da Terra.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALFARO, A. T. S. **Modelo de estimativa da radiação líquida e sua aplicação na determinação da evapotranspiração potencial**. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná, 76 p. 2009.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, 1998. 297p.
- GAVILAN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R.G.; Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: Impacto n Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions. **Agricultural water management**, v.89, p.275-286. 2007.
- HERNANDEZ, F.B.T. & SILVA, P. de T.P. **Projeto de Extensão Universitária: Planejamento e Gerenciamento Hidroagrícola e Ambiental - Ano 2009**. Ilha Solteira: UNESP. 56p. 2010. Disponível em: [www.agr.feis.unesp.br/pdf/proex\\_relatorio\\_2009.pdf](http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/proex_relatorio_2009.pdf)
- PEREIRA, A. C. de. **Desempenho do modelo de Penman-Monteith e de dois evapotranspirometros na estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) em relação a um lisímetro de pesagem**. 1998. 79 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1998.
- VILLA NOVA, N. A. & PEREIRA, A. B. **Ajuste do método de Priestley-Taylor às condições climáticas locais**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, SP, v.26, n.2, p.395-405, maio/agosto de 2006.