



## COEFICIENTES DA EQUAÇÃO DE JENSEN-HAISE PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM SANTA MARIA - RS

Fernando D. Hinnah<sup>1</sup>, Arno B. Heldwein<sup>2</sup>, Evandro Z. Righi<sup>2</sup>, Dionéia D. P. Lucas<sup>3</sup>, Samuel Kowaleski<sup>1</sup>, Jocélia R. da Silva<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo. Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria. Departamento Fitotecnia, Av. Roraima, prédio 77. E-mail: fhinnah@bol.com.br

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Professor Dr., Departamento de Fitotecnia, CCR/UFSM, Santa Maria - RS.

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Doutorando(a) em Agronomia, UFSM, Santa Maria – RS.

<sup>4</sup> Técnico Agrícola, Acadêmica do curso de Agronomia, UFSM, Santa Maria - RS.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Para, Belém, PA.

**RESUMO:** O método de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) de Penman-Monteith (P-M) é o recomendado pela FAO para este fim. Porém uma desvantagem desse método é a necessidade de um grande número de variáveis, e a dificuldade de sua obtenção. Partindo desse problema objetivou-se encontrar um método que exija menor número de variáveis e de fácil obtenção para a estimativa da evapotranspiração de referência. O método proposto por Jensen e Haise (J-H) possui a vantagem de necessitar apenas da temperatura média diária do ar e radiação solar incidente, sendo que essa última pode ser estimada a partir da insolação, tornando-se relativamente mais fácil sua disponibilidade. No entanto, esse método superestima a ET<sub>o</sub> em Santa Maria e por isso é necessário o ajuste de seus coeficientes. Utilizando-se dados de 9 anos de observações e medições das estações meteorológicas automática e convencional de Santa Maria, localizadas no Departamento de Fitotecnia, procedeu-se a este ajuste geral para o período anual. Obteve-se uma redução da raiz do quadrado médio do erro de 1,081 para 0,543 mm e coeficiente de correlação de 0,93 entre ET<sub>o</sub> estimada pelo método de P-M e de J-H com coeficientes ajustados. Conclui-se que a equação de Jensen-Haise com os coeficientes ajustados anuais permite obter boa precisão na estimativa da ET<sub>o</sub> para Santa Maria, RS.

**PALAVRAS-CHAVE:** Evapotranspiração. Calibração de método.

## COEFFICIENTS OF THE JENSEN-HAISE EQUATION FOR ESTIMATING REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN SANTA MARIA

**ABSTRACT** The method for estimating reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) Penman-Monteith (P-M) is recommended by FAO for this purpose. But one drawback of this method is the need for a large number of variables, and the difficulty of obtaining it. Starting of this problem aimed to find a method that requires fewer variables and easy to obtain for the estimation of reference evapotranspiration. The method proposed by Jensen and Haise (J-H) has the advantage of needing only the average daily temperature and incident solar radiation that can be estimated from the hours of sunshine, making it relatively easier availability. However, this method overestimates the ET<sub>o</sub> in Santa Maria and it is therefore necessary to





adjust its coefficients. Using data from nine years of observations and measurements of conventional and automatic weather stations in Santa Maria, located in the Department of Plant Science, was done in this general adjustment for the annual period. We obtained a reduction in root mean square error of 1.081 to 0.543 mm and a correlation coefficient of 0.93 between ETo estimated by the method of J-H and P-M with adjusted coefficients. It is concluded that the Jensen-Haise equation with coefficients adjusted annual permits to obtain good accuracy in the estimation of ETo for Santa Maria, RS.

**KEYWORDS:** Evapotranspiration. Calibration of Method.

## INTRODUÇÃO

Um dos modos de aumentar a produção vertical é a utilização da irrigação, técnica milenar que teve os seus primórdios em solo brasileiro na década de 1950. Para o correto manejo da irrigação é necessário o conhecimento de dados como a perda de água das plantas e do solo para a atmosfera. Para isso, é prática corrente proceder a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) e a, partir dela, considerando também o efeito da cobertura vegetal quantificado através dos respectivos coeficientes de cultura (Kc), pode-se estimar a evapotranspiração de um cultivo (ETc), que é variável conforme o estágio de desenvolvimento das plantas (VILLA NOVA et al., 2003). Com a ETc e o uso da técnica do balanço hídrico sequencial diário do solo é possível determinar com uma suficiente precisão de quando e quanto irrigar um cultivo para que se atinja a máxima produtividade. Para a estimativa da ETo, o método padrão utilizado pela FAO (Food and Agriculture Organization) é o de Penman-Monteith. Esse método semi-analítico, derivado do balanço de energia e ajustado por parametrizações, é de alta precisão, porém exige dados de difícil disponibilidade em muitos locais e também não é passível de uso quando ocorrem falhas na medição de alguma das variáveis. Segundo Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997) as técnicas atuais de medida da evapotranspiração são dependentes de dados provenientes de equipamentos que possuem um alto custo relativo e, desse modo, não são viáveis para a aplicação em propriedades rurais, se restringindo o uso quase sempre à área de pesquisa. Para facilitar à estimativa existem diversos outros métodos que utilizam menor quantidade de variáveis. A utilização do método de Jensen-Haise (J-H) para aproximar a estimativa em relação ao Penman-Monteith (P-M) facilita a estimativa da evapotranspiração por necessitar de poucas variáveis. Este método necessita apenas dos valores de temperatura média diária e radiação solar global, que são de fácil obtenção. O ajuste dos coeficientes do método pode proporcionar uma estimativa de alta precisão para a região de Santa Maria. Este ajuste é necessário devido aos coeficientes originais do método terem sido desenvolvidos para regiões com características climáticas distintas das encontradas no Rio Grande do Sul. Existem diversos métodos de estimativa da ETo, porém na maioria foram calibrados para suas respectivas regiões de origem. O método de Penman-Monteith, parametrizado pela FAO, é o que apresenta a melhor estimativa em maior número de locais. No entanto, para utilizar esse método são necessários os valores medidos ou estimados das variáveis saldo de radiação, velocidade do vento e temperatura e umidade do ar, nem sempre disponíveis facilmente. Visando superar essa dificuldade, pode-se optar por métodos menos complexos, principalmente se for possível obter bons ajustes dos coeficientes das equações destes para as condições locais. Com este preceito, considerando as situações em que não se dispõe de





dados de velocidade do vento e/ou umidade do ar, o ajuste do método proposto por Jensen e Haise (1963) para a região de Santa Maria – RS, para o qual se necessita apenas as variáveis de temperatura média do ar e radiação solar, constitui-se em uma opção com grande probabilidade de êxito na estimativa da ETo com razoável precisão.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para o presente trabalho foram utilizados dados referentes às Estações Meteorológicas Automática (EMA) e Convencional (EMC) de Santa Maria, RS, desde o ano de 2002, visando um melhor ajuste dos coeficientes da equação de Jensen e Haise (1963) para esse local. Primeiramente foi necessária a obtenção de dados provenientes da Estação Meteorológica Automática (EMA) pertencente ao 8º DISME, subordinada ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esta EMA está instalada dentro da Universidade Federal de Santa Maria, em área pertencente ao Departamento de Fitotecnia, a altitude de 95 m, em latitude de 29° 43' 29" S e longitude de 53° 43' 15" W. Existem dados disponíveis desde o ano de instalação da Estação no município de Santa Maria, ou seja, desde janeiro de 2002. Todas as variáveis meteorológicas são medidas e disponibilizadas on-line horariamente. Portanto, para cada variável tem-se um total de 24 valores a cada dia. Em alguns dias, devido a problemas de diversa natureza, não são disponibilizadas todas as medições, e ainda por alguns períodos de tempo não há dados por completa falha de observações. Para o ajuste dos coeficientes do método J-H procedeu-se primeiramente a comparação entre os valores calculados da ETo pelo método de Penman-Monteith com os oriundos da equação proposta por Jensen e Haise (1963). De posse destes resultados foi possível a modificação dos coeficientes propostos por Jensen e Haise, adequando-os às condições da região de Santa Maria, RS. Todos os processamentos dos dados foram realizados com a utilização do software Microsoft Excel versão 2007. Para o cálculo da ETo Penman-Monteith são necessários além de alguns dos dados citados, valores de brilho solar e comprimento do dia, utilizados para estimar o saldo de radiação de ondas longas ( $L^*$ ). Os valores diários do brilho solar foram obtidos das planilhas das observações realizadas na (EMC), localizada na mesma área da EMA anteriormente citada. Na estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Jensen-Haise utilizou-se a equação abaixo, com os coeficientes propostos por Jensen e Haise (1963).

$$ET_o = (K\downarrow L^{-1}) (0,0252 t + 0,078)$$

em que,  $K\downarrow$  é a radiação solar global ( $MJ m^{-2} dia^{-1}$ ),  $L$  é o calor latente de evaporação da água ( $2,45 MJ kg^{-1}$ ) e  $t$  é a temperatura média diária do ar ( $^{\circ}C$ ).

Visando a maior precisão do trabalho para fins científicos e operacionais utilizou-se apenas dados dos dias que constavam de 24 observações na Estação Automática, visto que são utilizados os valores médios diárias. Dias sem dados completos produzem erros que podem gerar coeficientes incorretos na obtenção do modelo. Para a média da temperatura e umidade relativa do ar diária utilizou-se a média entre as leituras máximas e mínimas horárias, e posteriormente fez-se a média dentre as 24 observações. O mesmo processo foi utilizado para a média da umidade relativa do ar diária. O número de observações utilizados foi correspondente a 2808 dias, equivalente a 7,69 anos completos. Para avaliação dos erros resultantes das estimativas utilizou-se a estatística da raiz do quadrado médio do erro. Esta estatística foi calculada conforme Janssen e Heuberger (1995):

$$RQME = ((\sum (s_i - o_i)^2) N^{-1})^{0,5}$$



em que, “s” é o valor estimado, “o” é o valor observado e N é o número de observações. Quanto menores forem os valores do RQME, melhor a estimativa está relacionada com o dado observado. Após esta primeira análise ajustou-se então os coeficientes angular (a) e linear (b) da equação do método de J-H para as condições de Santa Maria, RS. Após o ajuste dos coeficientes procedeu-se novamente a estimativa da ETo pelo método de J-H, aplicando-se os mesmos testes de comparação dos dados com os valores obtidos com o Método de Penman-Monteith.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Jensen-Haise com coeficientes originais e Penman-Monteith apresentaram grande diferença para Santa Maria, RS (Figura 1). O método de Penman-Monteith é o indicado pelo FAO, justamente pelo seu melhor ajuste, em uma grande área de cobertura na superfície terrestre. A utilização do método de Jensen-Haise com coeficientes originais resulta em estimativas com grande desvio, sendo este em parte originado por erro sistemático, não podendo ser utilizado na região em questão sem a correção dos coeficientes da equação, adequando-os ao local de uso. O erro ocorre devido a variados fatores, como o método utilizar coeficientes ajustados para a sua região de origem (árido), com características diferentes da de Santa Maria, RS. Também são poucas variáveis na estimativa, fator que ao mesmo tempo é vantajoso pela maior facilidade, porém acaba não explicando todos os fenômenos ocorrentes no sistema solo-planta-atmosfera, resultando em falhas na estimativa. O método padrão da FAO estima melhor a ETo devido às quatro variáveis utilizadas, abrangendo uma ampla gama de fenômenos influentes na evapotranspiração, como o termo aerodinâmico e a resistência de uma superfície vegetada. Porém nem sempre é possível utilizá-lo, pela dificuldade de disponibilidade de valores dessas variáveis que sejam representativos em apenas pequenas áreas. Com isto é necessária uma alta densidade de equipamentos que realizem a medição destes valores, o que demanda muito alto investimento financeiro.

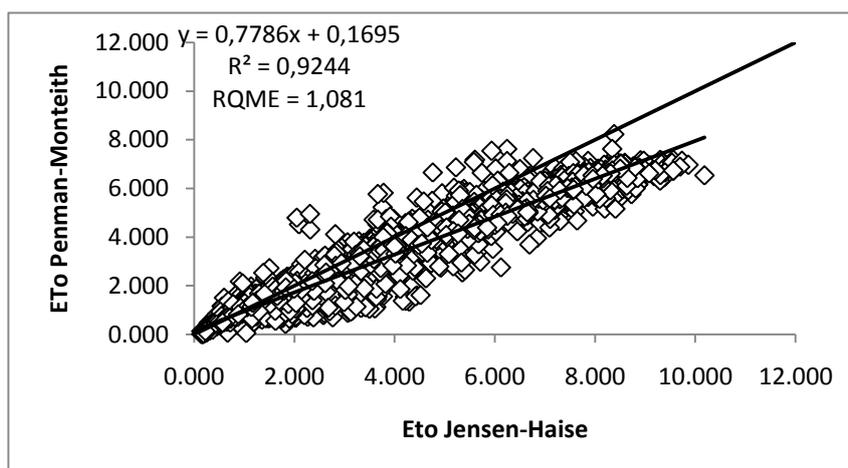


Figura 1: Relação entre a ETo de Penman-Monteith e Jensen-Haise, para Santa Maria, RS.

Observando a Figura 1 se pode inferir que o método de Jensen-Haise superestima a ETo na região de Santa Maria. A estatística da raiz do quadrado médio do erro é de 1,081 mm,

demonstrando um valor elevado nos desvios, impossibilitando a sua utilização. No entanto, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é muito bom, demonstrando que a correção do erro sistemático das estimativas através do ajuste adequado para Santa Maria dos coeficientes do modelo de Jensen e Haise (1963), pode melhorar significativamente a estimativa da ETo, sendo portanto, possível a sua adaptação para Santa Maria, RS.

O ajuste dos coeficientes da equação do método de Jensen-Haise resultou em melhor correlação dos dados estimados de ETo em todos os meses, reduzindo o valor da estatística RQME pela metade e apresentou leve tendência de melhora do  $R^2$  (Figura 2).

O ajuste dos coeficientes da equação do método de J-H resultou em redução, tanto do coeficiente angular, quanto do coeficiente linear, sendo a equação reescrita como:

$$ETo = (K \downarrow L^{-1}) (0,015 t + 0,018)$$

em que todas as variáveis são as mesmas anteriormente denominadas para a equação de J-H original. A redução do coeficiente angular (a), de 0,0252 para 0,015, permite inferir que em Santa Maria a temperatura do ar é menos determinante para a ETo do que para a região árida dos EUA em que Jensen e Haise desenvolveram sua equação original. O coeficiente linear (b), que diminuiu (0,078 para 0,018) indicando que também a radiação determina a ETo um pouco menos em Santa Maria. Isso provavelmente decorre do fato do déficit de saturação do ar, não considerado na equação de J-H, ser maior no meio-oeste americano, que tem clima denominado Semiárido de Estepe (BS), do que em Santa Maria, RS, caracterizada pelo clima Subtropical úmido com verão quente (Cfa), conforme a classificação de Köppen.

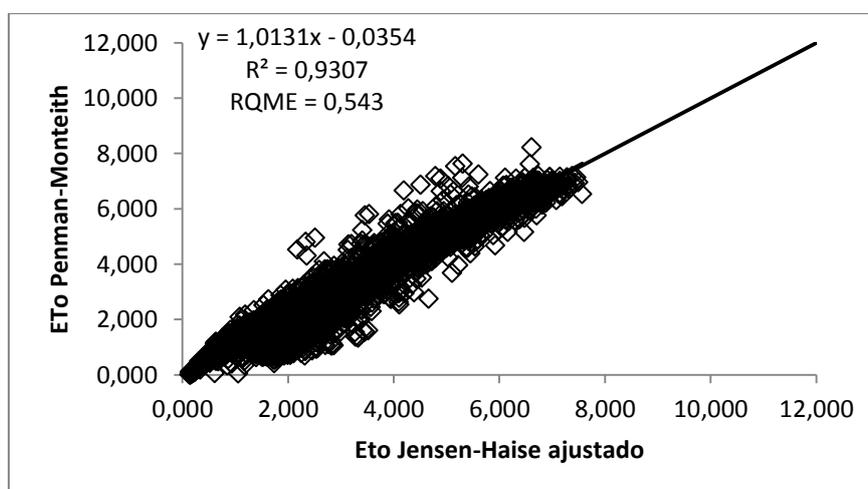


Figura 2: Relação entre a evapotranspiração de referência diária (ETo) estimada pelos métodos de Penman-Monteith e Jensen-Haise Ajustado para Santa Maria, RS.

A raiz do quadrado médio do erro pode ser considerada baixa (0,543) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,93 com um pequeno aumento no seu valor é elevado. Assim, a estimativa de evapotranspiração de referência diária (ETo) de Jensen-Haise com coeficientes ajustados para Santa Maria, RS, pode ser utilizado em substituição ao método de Penman-Monteith quando, para esse local, não for possível utilizar o método padrão da FAO por falta de disponibilidade de dados de umidade do ar e/ou de velocidade média diária do vento.

## CONCLUSÕES



XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – XVIII CBA  
2013 e VII Reunião Latino Americana de Agrometeorologia  
Belém - PA, Brasil, 02 a 06 de Setembro 2013  
Cenários de Mudanças Climáticas e a Sustentabilidade  
Socioambiental e do Agronegócio na Amazônia



O método de estimativa de evapotranspiração de referência diária (ET<sub>o</sub>) de Jensen-Haise, com coeficientes ajustados para Santa Maria, RS, pode ser utilizado em substituição ao método de Penman-Monteith quando, para esse local, não for possível utilizar o método padrão da FAO por falta de disponibilidade de dados de umidade do ar e/ou de velocidade média diária do vento.

### AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, CAPES e a FAPERGS pela concessão das respectivas bolsas de estudo.

### REFERÊNCIAS

- HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, v. 38, p. 43-58, 2009.
- JANSSEN, P. H. M.; HEUBERGER, P. S. C. Calibration of process – oriented models. **Ecological Modelling**, v.83, n.1-2, p. 55-56, 1995.
- JENSEN, M. E.; HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v. 89, p. 15-41, 1963.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- VILLA NOVA, N. et al. Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. **Bragantia**, v.61, n.1, p.81-88, 2003.

