

DESEMPENHO DE EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA PRESSÃO ATUAL DE VAPOR

SANTOS, A. A.¹; SOUZA J. L. M.²; ROSA, S. L. K.¹; COELHO, J. V.¹; SILVA, D. P.¹

¹Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFPR; ²Professor, DSEA/SCA/UFPR, e-mail: jmoretti@ufpr.br

RESUMO

Teve-se por objetivo no presente trabalho analisar o desempenho de equações utilizadas para estimar a pressão atual de vapor (*ea*) horária nas regiões e tipos climáticos do Estado do Paraná. Quatro equações para o cálculo da pressão atual de vapor (*ea*) foram testadas, sendo considerado padrão o método que estima a *ea* com uso da umidade relativa. Foram utilizadas séries de dados climáticos de 25 estações meteorológicas automáticas, obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendendo período entre 01 de dezembro de 2016 a 08 de novembro de 2018. Os resultados obtidos com as três equações alternativas foram comparados com a equação padrão (*UR*) por meio do Coeficiente de correlação de Pearson (*r*), Índices “*d*” e “*c*”, Erro relativo (*Er*) e Erro absoluto médio (*Ea*). Observou-se que as equações alternativas não foram estatisticamente diferentes da equação padrão nas localidades e tipos climáticos do Estado do Paraná, apresentando desempenho “ótimo” nas análises. A escolha da equação para cálculo da *ea* deve basear-se na disponibilidade e qualidade da série de dados existente no local.

Palavras-chave: Pressão de vapor, modelo matemático, psicometria, agrometeorologia.

INTRODUÇÃO

A variação dos componentes climatológicos no tempo promovem incertezas na produção agrícola. Buscando reduzir incertezas muitos estudos sobre variações atmosféricas são realizados, visando o desenvolvimento de técnicas adequadas para o manejo da água e solo (Miranda et al., 2006; Radin e Matzenauer, 2016).

As componentes meteorológicas mais utilizadas para a realização de estudo das condições atmosféricas são: precipitação (P), temperatura (T) e umidade relativa (UR) do ar, velocidade do vento (u), radiação solar e pressão de vapor de água na atmosfera (Costa, 2003; Oliveira, 2009).

Além do ar seco e puro a atmosfera terrestre é constituída por proporção variável de vapor de água. A evaporação ocorre quando as moléculas de um líquido vencem a força de atração entre si e escapam da lâmina de água passando para a forma de vapor. O processo pode ocorrer até que o ar se torne saturado de vapor d'água. Para cada temperatura o equilíbrio ocorre à determinada pressão de vapor, denominada pressão de saturação de vapor ou pressão máxima de vapor. A diferença entre a pressão exercida pela quantidade de vapor de água existente no ar e a pressão máxima que pode ser alcançada é denominada déficit de pressão de saturação de vapor de água no ar. A diferença mede o poder evaporante do ar, tendo relação direta com os processos de evaporação, pois depende do gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante e o ar (Costa, 2003; Miranda et al., 2006; Vieira, 2009).

Doorenbos e Pruitt (1977) descrevem que a pressão atmosférica é importante nos cálculos da evapotranspiração de referencia (ET_o). Lyra et al. (2004) e Hosseini et al. (2013) consideraram que a temperatura máxima (T_{max}) e ea foram as variáveis que apresentaram maior sensibilidade para estimativa da ET_o .

O Manual ASCE (ASCE-EWRI, 2005) apresenta quatro equações para o cálculo da ea , as quais consideram diferentes dados de entrada, como umidade relativa, temperatura do ar e temperatura no ponto de orvalho.

Diante da importância da pressão de vapor, em particular a ea para realização de estimativas mais precisar de ET_o , teve-se por objetivo no presente estudo analisar o desempenho de equações utilizadas para estimar a pressão atual de vapor (ea) nas regiões e tipos climáticos do Estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado para o Estado do Paraná (Figura 1), localizado na região Sul do Brasil, com área de 199.307,922 km². A região apresenta predominantemente os tipos climáticos Cfa e Cfb (Alvares et al., 2013). O clima subtropical Cfa apresenta boa distribuição da precipitação pluviométrica ao longo do ano, em média 1500 mm ano⁻¹, e temperatura média anual de 19 °C. O clima subtropical Cfb apresenta precipitações bem distribuídas ao longo do ano, sendo superiores a 1200 mm ano⁻¹, e verões amenos com temperatura média anual de 17 °C.

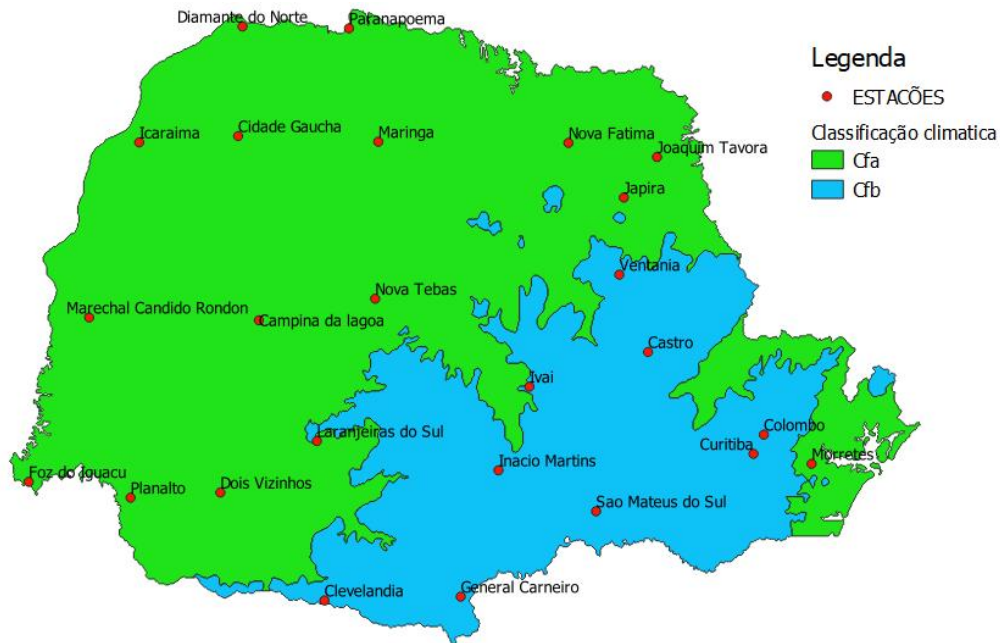


Figura 1 – Estado do Paraná contendo a classificação climática predominante e posição das estações climatológicas automáticas analisadas.

Foram utilizadas séries de dados de 25 estações meteorológicas automáticas (Figura 1), obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendendo período entre 01 de dezembro de 2016 a 08 de novembro de 2018. A série possui dados horários referentes à: umidade relativa máxima e mínima do ar (UR); temperaturas máxima (T_{max}) e mínima (T_{min}) do ar; e, temperatura do ponto de orvalho máximo, mínimo e no instante (T_{dew}). O INMET disponibiliza 26 estações para o Estado do Paraná, porém, a estação Ilha do Mel não foi utilizada, por não conter dados anteriores a 14 de dezembro de 2017.

Quatro equações para o cálculo da pressão atual de vapor (ea) foram testadas (Equações 1 a 4), sendo considerado padrão o método que estima a ea com uso da umidade relativa (Equação 1; Allen, 1998):

– Equação que considera a UR e pressão de saturação (es) como variáveis. Considerada padrão, pois os valores de UR e es são medidos ou obtidos com precisão:

$$ea = \frac{UR}{100} \cdot e^o(T) \quad (1)$$

– Equação de Tetens (1930), considerando como variável a T_{dew} :

$$ea = e^o(T_{dew}) = 0,6108 \cdot \exp \left[\frac{17,27 \cdot T_{dew}}{T_{dew} + 237,3} \right] \quad (2)$$

– Equação que considera a média da ea no período, calculada com as Equações 1 e 2:

$$ea = \frac{0,6108 \cdot \exp \left[\frac{17,27 \cdot T_{dew}}{T_{dew} + 237,3} \right] + \frac{UR_{méd}}{100} \cdot e^o(T)}{2} \quad (3)$$

– Equação que considera a média do produto entre as Equações 1 e 2, calculadas com os valores mínimos e máximos no período:

$$ea = \frac{0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T_{\min}}{T_{\min} + 237,3}\right) \cdot \left(\frac{UR_{\max}}{100}\right) + 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T_{\max}}{T_{\max} + 237,3}\right) \cdot \left(\frac{UR_{\min}}{100}\right)}{2} \quad (4)$$

Sendo: ea – pressão atual de vapor (kPa); T_{dew} – temperatura do ponto de orvalho (°C); UR – umidade relativa média (%); $e^o(T)$ – função da pressão de vapor de saturação (kPa); T – temperatura do ar (podendo ser mínima, máxima ou média em °C).

Foram realizadas análises horárias associando $ea_{padrão}$ (Equação 1) *vs* $ea_{alternativa}$:

– $ea_{padrão}$ (Equação 1) *vs* ea (Equação 2);

– $ea_{padrão}$ (Equação 1) *vs* ea (Equação 3);

– $ea_{padrão}$ (Equação 1) *vs* ea (Equação 4);

Os cálculos da ea (16992 horas, 6 parâmetros de entrada, para 4 equações e em 25 estações) e associações foram realizados em planilha eletrônica especialmente desenvolvida para essa finalidade. Optou-se pela exclusão do período horário que apresentou falha em algum dos parâmetros exigidos pelas equações (Equações 1 a 4).

As comparações entre os valores de ea padrão e alternativa foram verificados em análises de regressão. Utilizou-se os principais índices e coeficientes recomendados na literatura: Erros absolutos (Ea) e relativos (Er); coeficiente de correlação de Pearson (r); índices “ d ” de concordância (Willmott, 1982), e “ c ” de desempenho (Camargo e Sentelhas, 1997). O desempenho com o índice “ c ” tem a seguinte classificação: “ótimo” (“ c ” > 0,85); “muito bom” ($0,76 \leq “c” \leq 0,85$); “bom” ($0,66 \leq “c” \leq 0,75$); “mediano” ($0,61 \leq “c” \leq 0,65$); “sofrível” ($0,51 \leq “c” \leq 0,60$); “mau” ($0,41 \leq “c” \leq 0,50$); ou, “péssimo” (“ c ” ≤ 0,40).

$$Ea = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_{p_i} - Y_{a_i}|}{n}$$

$$Er = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_{p_i} - Y_{a_i}|}{\sum_{i=1}^n Y_{a_i}} \cdot 100$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(Y_p - \bar{Y}_p) \cdot (Y_a - \bar{Y}_a)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_p - \bar{Y}_p)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_a - \bar{Y}_a)^2}}$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{a_i} - Y_{p_i})^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (|Y_a - \bar{Y}_p| |Y_p - \bar{Y}_p|)^2}}$$

$$c = d \cdot r$$

Sendo: Ea – erro absoluto médio (kPa); Er – erro relativo (%); r – coeficiente de correlação de Pearson (adimensional); d – índice “ d ” (adimensional); Y_{p_i} – valores de ea obtidos com

método padrão na i -ésima hora (kPa); $\bar{Y}_p$ – média dos valores de ea obtidos com método padrão para todas as horas analisadas (kPa); Y_{ai} – valor de ea obtido com equação alternativa na i -ésima hora (kPa); $\bar{Y}_a$ – média dos valores de ea obtidos com as equações alternativas para todas as horas analisadas (kPa); n – número de horas analisadas (adimensional); c – índice “ c ” (adimensional).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando-se a equação padrão (UR; Allen, 1998) observou-se baixos erros e coeficiente de correlação (r) próximos a 1 nas 25 estações analisadas no Estado do Paraná. Obteve-se índices “ c ” com desempenho “ótimo” para todas as equações alternativas testadas (Equações 2, 3 e 4), em todas as 25 localidades do Estado do Paraná (Tabelas 1, 2 e 3), independente do clima e horário analisado.

Tabela 1. Erros absoluto (Ea) e relativo (Er), coeficiente de correlação (r), índices “ d ” e “ c ”, e desempenho obtidos nas associações entre $ea_{\text{padrão}}$ (Equação 1) *vs* $ea_{\text{alternativo}}$ (Equação 2) horária, no Estado do Paraná.

Estação	----- $ea_{\text{padrão}}$ (Equação 1) <i>vs</i> $ea_{\text{alternativo}}$ (Equação 2) -----					Desempenho
	Ea	Er	r	“ d ”	“ c ”	
Campina da Lagoa	0,0096	0,5260	0,9996	0,9998	0,9974	“Ótimo”
Castro	0,0095	0,5968	0,9992	0,9996	0,9979	“Ótimo”
Cidade Gaúcha	0,0112	0,5928	0,9994	0,9997	0,9969	“Ótimo”
Clelândia	0,0097	0,6280	0,9993	0,9997	0,9974	“Ótimo”
Colombo	0,0093	0,5762	0,9992	0,9996	0,9983	“Ótimo”
Curitiba	0,0104	0,6707	0,9990	0,9995	0,9972	“Ótimo”
Diamante do Norte	0,0108	0,6003	0,9994	0,9997	0,9972	“Ótimo”
Dois Vizinhos	0,0118	0,6088	0,9994	0,9997	0,9982	“Ótimo”
Foz do Iguaçu	0,0115	0,6299	0,9994	0,9997	0,9971	“Ótimo”
General Carneiro	0,0100	0,6240	0,9991	0,9996	0,9979	“Ótimo”
Icaraíma	0,0106	0,6089	0,9994	0,9997	0,9991	“Ótimo”
Inácio Martins	0,0093	0,5836	0,9993	0,9996	0,9989	“Ótimo”
Ivaí	0,0097	0,5925	0,9993	0,9996	0,9982	“Ótimo”
Japirá	0,0105	0,6402	0,9990	0,9995	0,9984	“Ótimo”
Joaquim Távora	0,0106	0,6143	0,9993	0,9996	0,9989	“Ótimo”
Laranjeiras do Sul	0,0104	0,6413	0,9992	0,9996	0,9988	“Ótimo”
Marechal Cândido Rondon	0,0106	0,6018	0,9994	0,9997	0,9991	“Ótimo”
Maringá	0,0099	0,5923	0,9994	0,9997	0,9991	“Ótimo”
Morretes	0,0110	0,5629	0,9994	0,9997	0,9991	“Ótimo”
Nova Fátima	0,0115	0,6299	0,9994	0,9997	0,9991	“Ótimo”
Nova Tebas	0,0096	0,5772	0,9991	0,9995	0,9986	“Ótimo”
Paranapoema	0,0116	0,6388	0,9993	0,9996	0,9989	“Ótimo”
Planalto	0,0122	0,6383	0,9993	0,9997	0,9990	“Ótimo”
São Mateus do Sul	0,0104	0,6383	0,9991	0,9995	0,9986	“Ótimo”
Ventania	0,0093	0,5973	0,9993	0,9996	0,9989	“Ótimo”

Tabela 2. Erros absoluto (Ea) e relativo (Er), coeficiente de correlação (r), índices “ d ” e “ c ”, e desempenho obtido nas associações entre $ea_{\text{padrão}}$ (Equação 1) vs $ea_{\text{alternativo}}$ (Equação 3) horária, no Estado do Paraná.

Estação	----- $ea_{\text{padrão}}$ (Equação 1) vs $ea_{\text{alternativo}}$ (Equação 3) -----					Desempenho
	Ea	Er	r	“ d ”	“ c ”	
Campina da Lagoa	0,0048	0,2630	0,9999	0,9999	0,9994	“Ótimo”
Castro	0,0047	0,2984	0,9998	0,9999	0,9995	“Ótimo”
Cidade Gaúcha	0,0056	0,2988	0,9999	0,9999	0,9992	“Ótimo”
Clevelândia	0,0048	0,3140	0,9998	0,9999	0,9993	“Ótimo”
Colombo	0,0047	0,2881	0,9998	0,9999	0,9996	“Ótimo”
Curitiba	0,0052	0,3353	0,9998	0,9999	0,9993	“Ótimo”
Diamante do Norte	0,0054	0,3002	0,9999	0,9999	0,9993	“Ótimo”
Dois Vizinhos	0,0059	0,3044	0,9998	0,9999	0,9995	“Ótimo”
Foz do Iguaçu	0,0058	0,3150	0,9998	0,9999	0,9993	“Ótimo”
General Carneiro	0,0050	0,3120	0,9998	0,9999	0,9995	“Ótimo”
Icaraíma	0,0053	0,3044	0,9998	0,9999	0,9998	“Ótimo”
Inácio Martins	0,0047	0,2918	0,9998	0,9999	0,9997	“Ótimo”
Ivaí	0,0049	0,2963	0,9998	0,9999	0,9995	“Ótimo”
Japirá	0,0053	0,3201	0,9997	0,9999	0,9996	“Ótimo”
Joaquim Távora	0,0053	0,3072	0,9998	0,9999	0,9997	“Ótimo”
Laranjeiras do Sul	0,0052	0,3207	0,9998	0,9999	0,9997	“Ótimo”
Marechal Cândido Rondon	0,0250	1,4227	0,9975	0,9987	0,9962	“Ótimo”
Maringá	0,0050	0,2961	0,9998	0,9999	0,9998	“Ótimo”
Morretes	0,0055	0,2815	0,9999	0,9999	0,9998	“Ótimo”
Nova Fátima	0,0058	0,3150	0,9998	0,9999	0,9998	“Ótimo”
Nova Tebas	0,0048	0,2886	0,9998	0,9999	0,9996	“Ótimo”
Paranapoema	0,0058	0,3194	0,9998	0,9999	0,9997	“Ótimo”
Planalto	0,0061	0,3191	0,9998	0,9999	0,9997	“Ótimo”
São Mateus do Sul	0,0052	0,3192	0,9998	0,9999	0,9997	“Ótimo”
Ventania	0,0046	0,2986	0,9998	0,9999	0,9997	“Ótimo”

As análises apresentaram resultados semelhantes e promissores (desempenho “ótimo”), sendo possível a utilização de qualquer uma das equações alternativas (Equações 2, 3 e 4) sem que haja grandes alterações nos resultados para estimar da ea horária, bem como nos cálculos em que a ea entra como variável. O resultado é extremamente interessante para estudos envolvendo a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) com o método de Penman-Monteith, devido aos problemas de falhas ou qualidades de dados para realizar os cálculos.

O resultado positivo obtido pode ser explicado ao se analisar as variáveis envolvidas dentro de cada equação. Lawrence (2005) considera que a temperatura de ponto de orvalho possui relação direta com a UR e temperatura do ar, sendo o principal motivo para não ocorrer variações nos resultados entre a ea estimada com as Equações 1 (padrão) vs Equações 2 ou 3 (alternativas).

A *UR* é definida como a relação entre a quantidade de vapor d'água em uma amostra de ar úmido e o máximo que este ar poderia reter de umidade em determinada temperatura. Logo, sendo *UR* dependente da temperatura, explica-se o motivo pelo qual não houve diferença entre a Equação 1 (padrão) vs a Equação 4 (Alvarenga et al., 2014).

É importante observar que as variáveis de entrada nas Equações 1 a 4 são medidas em sensores e equipamentos diferentes nas estações meteorológicas. Desta forma, verificou-se que os equipamentos das estações analisadas estão retornando medidas ambientais (temperaturas e umidade relativa) consistentes, pois erros de medidas poderiam prejudicar o desempenho das associações entre *ea_{padrão}* vs *ea_{alternativa}*, o que não foi verificado.

Conforme Figura 1, na classificação climática para o Estado do Paraná, tem-se predominante os tipos climáticos *Cfa* e *Cfb* (Alvares et al., 2013). Os dois tipos climas não apresentam grandes variações em temperatura e umidade relativa. Assim, baseando-se nas variáveis de entrada das Equações 1 a 4 a falta de variação da pressão atual nas análises é possível e justificada devido a localização das estações meteorológicas.

Tabela 3 – Erros absoluto (*Ea*) e relativo (*Er*), coeficiente de correlação (*r*), índices “*d*” e “*c*”, e desempenho obtidos nas associações entre *ea_{padrão}* (Equação 1) vs *ea_{alternativo}* (Equação 4) horária, no Estado do Paraná.

Estação	----- <i>ea_{padrão}</i> (Equação 1) vs <i>ea_{alternativo}</i> (Equação 4) -----					Desempenho
	<i>Ea</i>	<i>Er</i>	<i>r</i>	“ <i>d</i> ”	“ <i>c</i> ”	
Campina da Lagoa	0,0022	0,1237	0,9999	1,0000	0,9998	“Ótimo”
Castro	0,0029	0,1809	0,9999	0,9999	0,9998	“Ótimo”
Cidade Gaúcha	0,0031	0,1648	0,9999	1,0000	0,9993	“Ótimo”
Clevelândia	0,0029	0,1880	0,9999	0,9999	0,9999	“Ótimo”
Colombo	0,0027	0,1634	0,9999	0,9999	0,9998	“Ótimo”
Curitiba	0,0033	0,2132	0,9998	0,9999	0,9997	“Ótimo”
Diamante do Norte	0,0031	0,1727	0,9999	0,9999	0,9996	“Ótimo”
Dois Vizinhos	0,0031	0,1588	0,9999	1,0000	0,9999	“Ótimo”
Foz do Iguaçu	0,0036	0,1956	0,9999	0,9999	0,9998	“Ótimo”
General Carneiro	0,0033	0,2036	0,9998	0,9999	0,9997	“Ótimo”
Icaraíma	0,0030	0,1738	0,9999	0,9999	0,9999	“Ótimo”
Inácio Martins	0,0025	0,1588	0,9999	0,9999	0,9998	“Ótimo”
Ivaí	0,0030	0,1810	0,9999	0,9999	0,9998	“Ótimo”
Japirá	0,0029	0,1746	0,9999	0,9999	0,9998	“Ótimo”
Joaquim Távora	0,0031	0,1790	0,9999	0,9999	0,9998	“Ótimo”
Laranjeiras do Sul	0,0035	0,2157	0,9998	0,9999	0,9997	“Ótimo”
Marechal Cândido Rondon	0,0467	2,6562	0,9911	0,9955	0,9866	“Ótimo”
Maringá	0,0028	0,1675	0,9999	0,9999	0,9998	“Ótimo”
Morretes	0,0029	0,1487	0,9999	1,0000	0,9999	“Ótimo”
Nova Fátima	0,0036	0,1956	0,9999	0,9999	0,9998	“Ótimo”
Nova Tebas	0,0022	0,1307	1,0000	1,0000	0,9999	“Ótimo”
Paranapoema	0,0036	0,1994	0,9999	0,9999	0,9998	“Ótimo”
Planalto	0,0035	0,1839	0,9999	0,9999	0,9999	“Ótimo”
São Mateus do Sul	0,0035	0,2161	0,9998	0,9999	0,9997	“Ótimo”
Ventania	0,0025	0,1635	0,9999	0,9999	0,9998	“Ótimo”

CONCLUSÕES

As quatro equações de estimativa da pressão atual de vapor (*ea*) horário, testadas nas 25 localidades no Estado do Paraná, em dois tipos climáticos predominantes, não apresentaram diferenças estatísticas, obtendo desempenho “ótimo” em todas as análises.

A escolha da equação mais adequada para estimar a *ea* deve se basear na disponibilidade e qualidade dos dados climáticos necessários para os cálculos.

LITERATURA CITADA

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage**, Paper n. 56, Roma, FAO, 1998.

ALVARENGA, C. B.; TEIXEIRA, M. M.; ZOLNIER, S.; SECON, P. R. et al. Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 182-193, 2014.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston: **Institute of the American Society of Civil Engineers**; 2005.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 5, p. 89-97, 1997.

COSTA, E. V. Medidas da Umidade Relativa do Ar em um Ambiente Fechado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 25, n. 3, Setembro, 2003.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. **FAO Irrigation and drainage paper 24**. Revised. 1977.

HOSSEINI, S.; JAFARI, J.; GHORBANI, M. Sensitivity of the FAO-Penman Monteith Reference Evapotranspiration Equation to Change in Climatic Variables in the North-Western Iran. **Research in Civil and Environmental Engineering**, v.1; p. 28-40, 2013.

LAWRENCE, M. G. The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air. A Simple Conversion and Applications. **American Meteorological Society**. 2005.

LYRA, G. B.; PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; LYRA, G. B.; et al. Média diária do déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar e sua influência na evapotranspiração de

referência pelo modelo de Penman-Monteith (FAO 56) em Piracicaba – SP. **Eng. Agríc.** Jaboticabal, v.24, n.2, p.328-337, 2004.

MIRANDA, J. H.; ANGELOCCI, L. R.; SILVA, K. O. DUARTE, S. N.; NOVA, N. A. V. Aplicação de métodos numéricos para estimativa de variáveis psicrométricas. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.26, n.3, p. 686-694, 2006.

OLIVEIRA, A. G. A importância dos dados das variáveis climáticas nas pesquisas em Geografia: um estudo de caso empregando a precipitação pluviométrica. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia v. 10, n. 32, 2009.

RADIN, B.; MATZENAUER, R. Uso das informações meteorológicas na agricultura do Rio Grande do Sul. SB Agro. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.24, n.1, p. 41-54, 2016.

TETENS, O. **Über einige meteorologische Begriffe**. Zeitschrift Geophysic, Wurzburg, v. 6, p. 297-309, 1930.

VIEIRA, L. Meteorologia e climatologia agrícola: notas de aula. 2009. Disponível em: >http://www.professormendoncaenf.com.br/ag_meteorologia_livro.pdf<. Acesso em 09 de março de 2019.

WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorology Society**. v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1982.