

# ESTIMATIVA DA ETP PELO MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH UTILIZANDO ESTIMATIVAS OBTIDAS PELOS MÉTODOS DE CAMARGO (1971) E THORNTHWAITE (1948)

EDUARDO M. ULIANA<sup>1</sup>, JOSÉ G. F. DA SILVA<sup>2</sup>, EDVALDO F. DOS REIS<sup>3</sup>, CAMILA A. da S. MARTINS<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Eng. Ambiental, Mestrando em Produção Vegetal. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES), Alegre - ES, Fone: (0xx28)35528984, [morganuliana@gmail.com](mailto:morganuliana@gmail.com)

<sup>2</sup>Eng. Agrícola, D.Sc. Engenharia Agrícola, Pesquisador Incaper

<sup>3</sup>Eng. Agrícola, Prof. Dr. Associado 1, Departamento de Engenharia Rural, CCA/UFES, Alegre – ES

<sup>4</sup>Eng. Agrônoma, Doutoranda em Produção Vegetal. Bolsista CAPES/REUNI. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES), Alegre – ES

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

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi obter uma estimativa da ETP pelo método de Penman-Monteith, para seis localidades do Estado do Espírito Santo, através de uma análise de regressão múltipla entre os valores obtidos pelos métodos de Camargo (1971) e Thornthwaite (1948). Para isso foi ajustada uma equação de regressão linear múltipla. A equação de regressão encontrada fornece boa estimativa para os valores da ETP obtidos pelo método de Penman-Monteith, a partir das estimativas da ETP obtidos pelos métodos de Camargo e Thornthwaite.

**PALAVRAS-CHAVE:** Evapotranspiração potencial, Penman-Monteith, regressão linear.

MULTIPLE REGRESSION ANALYSIS TO ESTIMATE BY THE METHOD OF ETP PENMAN-MONTEITH USING ETP VALUES OBTAINED BY THE METHOD OF CAMARGO(1971) AND THORNTHWAITE(1948)

**ABSTRACT:** The objective of this work to obtain an estimate of ETP by Penman Monteith, for six locations in the State of the Espírito Santo, through a multiple regression analysis between the values obtained by the methods of Camargo (1971) and Thornthwaite (1948). To this was fitted a multiple linear regression equation. The regression equation found provides a good estimate for the values of ETP obtained by Penman-Monteith estimates from the ETP obtained by the methods of Camargo and Thornthwaite.

**KEYWORDS:** Potential evapotranspiration, Penman-Monteith, linear regression.

**INTRODUÇÃO:** Pereira, Angelocci e Sentelhas(2002), definem evapotranspiração potencial (ETP) como sendo a quantidade de água que seria utilizada por uma superfície vegetada com grama, com altura entre 8 e 15 cm, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo, e sem restrição hídrica. Considera-se a evapotranspiração nestas condições como referência. A evapotranspiração potencial pode ser obtida por métodos empíricos, tendo como dados necessários para o cálculo da ETP, parâmetros medidos em estações agrometeorológicas. De acordo com Pereira, Angelocci e Sentelhas(2002), entre os métodos

empíricos de estimativa da ETP destacam-se: Thornthwaite (1948), Simplificação de Camargo, Camargo (1971), Hargreaves e Samani (1985), Priestley e Taylor (1972) e Penman-Monteith (FAO 56). Jacobs (2001) citado por Medeiros (2008), afirma que as equações de estimativa de ETP do tipo combinado, que consiste na associação de termos diabáticos (saldo de energia na superfície) e adiabáticos (processos de transferência pelos componentes aerodinâmicos) da evaporação, têm os melhores resultados para uma maior variedade de superfícies vegetadas e climas, e sua aplicação é a mais recomendada, se o local possui todas as variáveis necessárias. A equação de Penman-Monteith (FAO 56) é do tipo combinado e é reconhecida por muitos estudiosos como padrão para estimativa da ETP. Mas este método traz limitações, visto que são poucas as estações meteorológicas que fornecem todos os parâmetros necessários para o cálculo da ETP. Com isso objetivou-se com este trabalho obter uma estimativa da ETP obtida pelo método de Penman-Monteith, para seis localidades do Estado do Espírito Santo, através de uma análise de regressão entre valores obtidos pelos métodos de Camargo (1971) e Thornthwaite (1948).

**MATERIAL E MÉTODOS:** Para cálculo da ETP, foram utilizados dados meteorológicos de dois anos, das estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizadas nos municípios de Alegre, Linhares, Nova Venécia, Santa Teresa, São Mateus e Vitória. Após obtenção dos valores foi ajustada uma equação regressão linear múltipla tendo como variáveis dependentes os valores de ETP obtidos pelos métodos de Camargo (1971) e Thornthwaite (1948) e independente a estimativa da ETP pelo método de Penman-Monteith. A ETP em  $\text{mm.d}^{-1}$  estimada pelo método Penman-Monteith foi obtida pela seguinte equação:

$$ETP = \frac{0,408 s(R_n - G) + \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T + 273}}{s + \gamma(1 + 0,34 U_2)}$$

onde:

$R_n$  é a radiação líquida total diária ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ );

$G$  é o fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ );

$\gamma = 0,063 \text{ KPa}^\circ\text{C}^{-1}$  é a constante psicrométrica;

$T$  é a temperatura média do ar ( $^\circ\text{C}$ );

$U_2$  é a velocidade do vento a 2 metros de altura ( $\text{ms}^{-1}$ );

$e_s$  é a pressão de saturação de vapor (kPa);

$e_a$  é a pressão parcial de vapor (KPa);

$s$  é a declividade da curva de pressão de vapor na temperatura do ar, em  $\text{KPa}^\circ\text{C}^{-1}$ .

A ETP estimada pelo método de Camargo foi obtida pela equação:

$$ETP = 0,01 Q_0 T(\text{ND})$$

em que:

$Q_0$  é a irradiância solar global extraterrestre, expressa em milímetros de evaporação equivalente por dia;

$T$  é a temperatura média do ar ( $^\circ\text{C}$ ), no período considerado;

$\text{ND}$  é o número de dias do período considerado.

A ETP estimada pelo método de Thornthwaite foi obtida pelas equações:

$$ET_p = 16(10T_n/I)^a \text{ para } 0 \leq T_n < 26,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Com a correção a fórmula fica:  $ETP = ET_p \cdot \text{Correção}$ .

onde :

Tné a temperatura média do mês em °C;

nrepresenta o mês.  $n = 1$  é janeiro,  $n = 2$  é fevereiro.

Ié um índice que expressa o nível de calor disponível na região e é obtido pela equação

$$\sum_{n=1}^{12} (0,2Tn)^{1,514};$$

Correção =  $\left(\frac{ND}{30}\right) (N/12)$  em que ND é o número de dias do mês e N é o fotoperíodo mensal.

Em primeira análise ocorreu violação do pressuposto de homoscedasticidade dos resíduos. Segundo Draper e Smith(1998) a homoscedasticidade dos resíduos pode ser superada por meio de transformação das variáveis dependentes, das variáveis explicativas ou de ambas. Uma das possíveis transformações utilizadas para se alcançar homoscedasticidade é a transformação logarítmica. Sendo assim foi calculado o logaritmo na base 10 dos valores de ETP obtidos pelos métodos de Penman-Monteith, Camargo, Thornthwaite. Com esses valores foi realizada a análise de regressão linear múltipla. De maneira parecida a regressão linear simples os coeficientes desconhecidos  $\beta_i$  foram estimados pela minimização dos erros quadráticos. Foram calculados o coeficiente de determinação ( $r^2$ ), coeficiente de determinação corrigido ( $r^2$  corrigido), coeficiente de correlação e o erro padrão. Foi realizado o teste F ao nível de 5% de significância, para verificar a significância da equação de regressão linear múltipla. Para verificar a significância de cada coeficiente da regressão foi aplicado o teste t ao nível de 5% de significância. Por fim, utilizou-se da análise de resíduos para verificação da homoscedasticidade e de outras condições necessárias para validação do modelo de regressão linear. Para verificar a existência de correlação entre os resíduos foi feito o teste de Durbin Watson ao nível de 5% de significância. Para verificação da normalidade dos resíduos foi realizado o teste de Shapiro-Wilk ao nível de 5% de significância e plotado o gráfico q x q (Figura 1). Os cálculos estatísticos foram realizados no software R.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** O grau de relacionamento entre as variáveis sob estudo é relação linear positiva e forte, igual a 0,9886 como pode ser observado na Tabela 1. O coeficiente de determinação corrigido ( $r^2$  corrigido) é igual a 0,9769 (Tabela 1), indicando que a equação de regressão explica em 97,69% a variação nos valores de ETP obtidos pelo método de Penman-Monteith (FAO 56). Pode-se dizer que houve um bom ajuste da equação de regressão aos dados observados.

**TABELA 1 - Resultado da estatística de regressão**

Estatística de Regressão	
R	0,9886
$r^2$	0,9775
$r^2$ corrigido	0,9769
Erro Padrão	0,0189

A equação obtida pelo modelo de regressão linear múltipla é a seguinte:

$$y = 0,17531 + 1,28185(V1) - 0,36008(V2)$$

onde:

y é o valor de log(valor de ETP obtido pelo método de Penman-Monteith);

V1 é o valor de log(valor de ETP obtido pelo método de Camargo)

V2 é o valor de log(valor de ETP obtido pelo método de Thornthwaite)

Como a análise de regressão foi realizada com dados transformados, é necessário realizar a operação de inversão do parâmetro ( $ETP \text{ (mm/mês)} = 10^y$ ). Na Tabela 2 são apresentados os

valores p do teste t. Como todos os valores p (p-valor) são menores que 0,05 a hipótese  $H_0$  é rejeitada. Sendo assim o intercepto e os coeficientes V1 e V2 não devem ser retirados da equação de regressão. O teste F resultou em valor p igual a  $2,20 \cdot 10^{-16}$ . Desta forma, pode-se afirmar que a equação de regressão é significativa.

**TABELA 2** - Coeficientes da equação de regressão e resultados do teste t

Coeficientes	Valor	Erro padrão	Estatística t	p-valor
Intercepto	0,17531	0,03422	5,123	$2,61 \cdot 10^{-06}$
V1*	1,28185	0,06683	19,180	$2,00 \cdot 10^{-16}$
V2**	-0,36008	0,06325	-5,693	$2,80 \cdot 10^{-07}$

\*V1= log(valor de ETP obtido pelo método de Camargo)

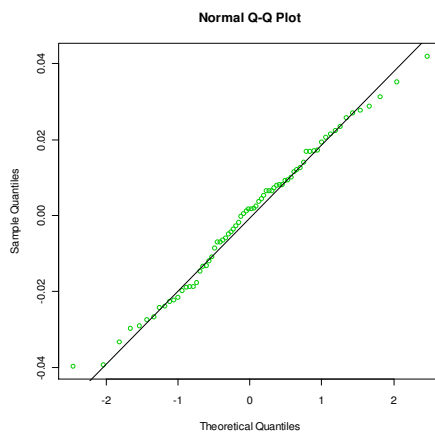
\*\* V2= log(valor de ETP obtido pelo método de Thornthwaite)

O teste de Durbin Watson indica que não há correlação dos resíduos e o teste de Shapiro-Wilk indica que os resíduos possuem distribuição normal. O resumo dos resultados dos testes de Durbin Watson e de Shapiro-Wilk podem ser visualizados na Tabela 4.

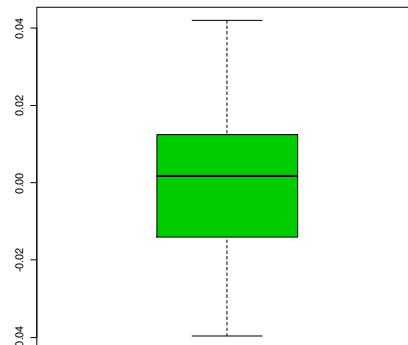
**TABELA3**- Resultados dos testes de hipótese para análise dos resíduos

Teste	Estatística de teste	p-valor
Teste de Durbin Watson	1,770	0,244
Teste de Shapiro-Wilk	0,988	0,746

A Figura 1 confirma a normalidade dos resíduos e o boxplot da Figura 2 mostra como estão distribuídos os resíduos da regressão linear.

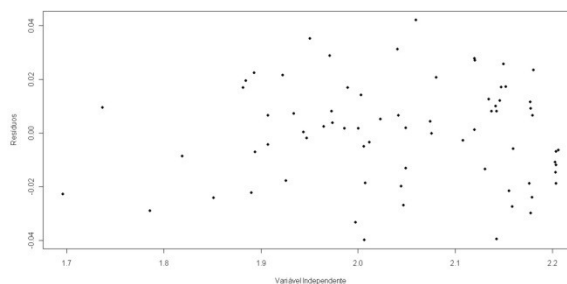


**FIGURA 1** - Gráfico q x q dos resíduos.



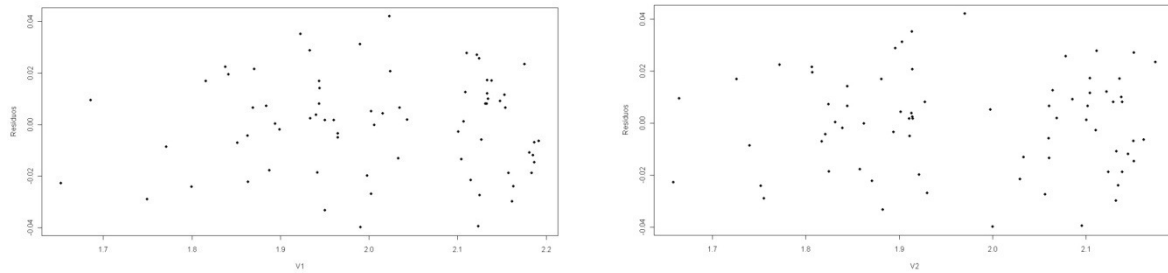
**FIGURA 2** -Boxplot dos resíduos.

O gráfico da Figura 3 confirma que existe independência dos resíduos.



**FIGURA 3** - Verificação da Independência.

Os gráficos apresentados na Figura 4 indicam que a variância dos resíduos é constante.



**FIGURA 4** - Verificação da variância dos resíduos.

**CONCLUSÃO:** A equação de regressão obtida fornece boa estimativa para a ETP pelo método de Penman-Monteith (FAO 56) a partir da ETP obtida pelos métodos de Camargo (1971) e Thornthwaite (1948).

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem a Agência Nacional das Águas (ANA), ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), ao Incaper pela disponibilidade dos dados, a FINEP/MCT por fomentar o projeto de pesquisa, a Fundação de Amparo a Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) e ao Programa de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI) de Assistência ao Ensino vinculado a CAPES pela concessão de bolsas.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

1. ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; Smith, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. FAO IrrigationandDrainagePaper n.56.
2. CAMARGO, A. P. **Balanco hídrico no estado de São Paulo**. 3.ed. Campinas: IAC, 1971. 24p. Boletim n.116.
3. DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regressionanalysis**. 3.ed. New York, Wiley & Sons,1998, 706p.
4. MEDEIROS, P.V. **Análise da evapotranspiração de referência a partir de medidas lisimétricas e ajuste estatístico de estimativas de nove equações empírico-teóricas com base na equação de Penman-Monteith**. 2008. 241 f. Dissertação (Mestrado – Área de Concentração Hidráulica e Saneamento) -Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, 2008.
5. PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba (RS): Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478p.
6. PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J. **On the assessment of surface heat flux and evaporation, using large scale parameters**. Monthly Weather Review, Madison, v.100, n.2, p.81-92, 1972.
7. R Development Core Team (2010). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
8. HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. **Reference crop evapotranspiration from temperature**. Journal of Applied Engineering in Agriculture, St Joseph, v.1, n.2, p.96-99, 1985.
9. THORNTHWAITE, C. W. **An approach toward a rational classification of climate**.Geographical Review, Nova Iorque, v.38, n.1, p.55-94, 1948.