

# ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET<sub>o</sub>) PARA O MUNICÍPIO DE RIO BRANCO, ACRE<sup>1</sup>

P. de A. FERRAZ<sup>2</sup>; J. W. de SOUSA<sup>3</sup>; M. L. A. de SOUZA<sup>4</sup>

**RESUMO:** Com o objetivo de comparar métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) para a região de Rio Branco-Acre, investigou-se quatro modelos: Penman, Priestley-Taylor modificado, Hargreaves e Tanner & Pelton, tendo como padrão o método Penman-Monteith-FAO. Utilizou-se dados climáticos diários coletados em estação climatológica convencional. A comparação das médias de ET<sub>o</sub> entre o modelo padrão (ET<sub>o</sub>PM) e os demais modelos, foram ajustadas por equações de regressão linear e ponderação dos valores de SEE e ASEE. Os modelos que mais se ajustaram ao padrão foram Penman e Priestley-Taylor modificado.

**PALAVRAS CHAVE:** Evapotranspiração, Evapotranspiração de referência, Penman-Monteith-FAO.

## EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATE OF REFERENCE (ET<sub>o</sub>) FOR THE TOWN OF RIO BRANCO, ACRE

**SUMMARY:** In order to compare methods of estimation of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) to the region of Rio Branco-Acre, is investigated four models: Penman, Priestley-Taylor changed, Hargreaves and Tanner & Pelton, with the standard method the Penman-Monteith-FAO. It was used daily weather data collected at station climatological conventional. Comparison of the mean ET<sub>o</sub> between the standard model (ET<sub>o</sub>PM) and the other models were adjusted by linear regression equations and balance the values of SEE and ASEE. The models that more adjusted to the standard were Penman and Priestley-Taylor changed.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal do Acre – UFAC. Pró-reitoria de Pós-Graduação. Parte de Dissertação de Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal.

<sup>2</sup> Biólogo. Pesquisador. Mestrando em Agronomia. PZ/UFAC. Rio Branco, AC. Cx. Postal: 9015 CEP: 69915-900, Rio Branco-AC. Fone: (068) 3229 1642, e-mail: [paferraz@ufac.br](mailto:paferraz@ufac.br).

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo. Prof. Adjunto do Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, da UFAC, Rio Branco Acre, E-mail: [jws@ufac.br](mailto:jws@ufac.br)

<sup>4</sup> Eng. Agrônoma. Mestranda em Agronomia. CCBN/UFAC. Rio Branco, AC, e-mail: [mosele\\_aquino@yahoo.com.br](mailto:mosele_aquino@yahoo.com.br)

**KEY WORDS:** Evapotranspiration, Evapotranspiration reference, Penman-Monteith-FAO.

## INTRODUÇÃO

Existem várias fórmulas de estimativa da evapotranspiração (PEREIRA et al., 1997) e o uso de cada uma delas está condicionada à disponibilidade ou existência dos dados necessários à sua aplicação. De acordo com BURMAN et al. (1983) a evapotranspiração de referência pode ser mensurada a partir de medidas diretas ou estimada por meio de informações climáticas. No primeiro grupo, entre outros, estão incluídos os diferentes tipos de lisímetros e o balanço de água no solo, enquanto no segundo, estão enquadrados os métodos teóricos e empíricos. No entanto, SMITH (1991) recomenda que os métodos empíricos de estimativa da ETo, sejam calibrados e validados para outras regiões, sendo a equação Penman-Monteith a referência padrão para esses ajustes. O objetivo deste trabalho foi avaliar quatro métodos de estimativa da evapotranspiração de referência: Penman (EToP), Priestley & Taylor modificado (EToPTm), Hargreaves (EToHG) e Tanner & Pelton (EToTP), para o município de Rio Branco-AC, tendo como referência o modelo de Penman-Monteith-FAO.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados nesta pesquisa são oriundos do acervo da Estação Climatológica Principal do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, localizada na área experimental do Centro de Ciências Biológicas e da Natureza (CCBN) da Universidade Federal do Acre - UFAC, em Rio Branco, Acre, apresentando as coordenadas geográficas: latitude 9° 58' S, longitude 67° 48' W e altitude de 168 m. O clima da região segundo os critérios adotados por W. Köppen foi classificado como Am, clima quente, megatérmico e úmido.

Os dados climatológicos diários utilizados para o cálculo da ETo (mm dia<sup>-1</sup>) foram: insolação, temperaturas do ar: máxima, mínima e média, temperatura do bulbo úmido, pressão atmosférica, velocidade do vento medida a 10 m de altura, referentes ao período de 1981 a 2006. Os métodos utilizados na estimativa da ETo para Rio Branco-AC, foram:

### Penman-Monteith (EToPM)

$$EToPM = (\Delta/\Delta + \gamma^*) (Rn-G) / \lambda_{evap} + (\gamma/\Delta + \gamma^*) 900 / (Tmed + 273) v_2 (e_s - e_a) \quad (1)$$

em que, EToPM é evapotranspiração de referência pelo modelo de Penman-Monteith (mm dia<sup>-1</sup>);  $\Delta$  a inclinação da curva de pressão de saturação de vapor da temperatura do ar (kPa °C<sup>-1</sup>);  $\gamma^*$  a constante psicrométrica modificada (kPa °C<sup>-1</sup>); Rn o saldo de radiação da cultura (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>); G o fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>);  $\lambda_{evap}$  o calor latente de vaporização (MJ kg<sup>-1</sup>);  $\gamma$  a constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>); Tmed a temperatura média do

ar (°C);  $v_2$  a velocidade do vento a altura de 2m;  $e_s$  a pressão de saturação de vapor (kPa) e  $e_a$  a pressão parcial de vapor (kPa).

#### **Penman (EToP)**

$$EToP = W (R_n - G) / \lambda_{\text{evap}} + (1-W) 86400 \rho C_p (\Delta / \gamma \lambda_{ra}) \quad (2)$$

Em que, EToP é a evapotranspiração de referência pelo método de Penman (mm d<sup>-1</sup>), W é o fator de ponderação entre temperatura e coeficiente psicrométrico;  $\rho$  a massa específica do ar (1,26 kg m<sup>-3</sup>);  $C_p$  o calor específico do ar (0,001013 MJ kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>);  $\gamma$  o coeficiente psicrométrico (kPa °C<sup>-1</sup>);  $\Delta$  é o déficit de pressão de vapor ( $e_s - e_a$ ), em (kPa) e  $\lambda_{ra}$  a resistência aerodinâmica (s m<sup>-1</sup>),  $R_n$ , G e  $\lambda_{\text{evap}}$ , conforme descritos anteriormente.

#### **Priestley & Taylor modificado (EToPT<sub>M</sub>)**

$$EToPT_M = 1,26 W R_n \quad (3)$$

em que, W é o fator de ponderação entre temperatura e coeficiente psicrométrico e  $R_n$  é o saldo de radiação (mm dia<sup>-1</sup>). Na equação de Priestley & Taylor, a variável t representa a temperatura média do termômetro de bulbo úmido ( $T_{med_u}$ ), utilizada no método original de Linacre. MEDEIROS et al. (1998), propôs a substituição da temperatura média do termômetro de bulbo úmido ( $T_{med_u}$ ) pela temperatura média do termômetro de bulbo seco, adotada neste trabalho.

#### **Hargreaves (EToHG)**

$$ETHG = 0,0135 R_g (T_{med} + 17,8) \quad (4)$$

em que,  $R_g$  - radiação solar global (Cal cm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) e  $T_{med}$  - temperatura média do ar (°C).

#### **Tanner & Pelton (EToTP)**

$$ETTP = 1,12 (R_n / 59) - 0,11 \quad (5)$$

em que,  $R_n$  - saldo de radiação (mm dia<sup>-1</sup>).

Com base nos valores de SEE (erro padrão da estimativa),  $r^2$  (coeficiente de determinação) e ASEE (erro padrão de estimativa ajustado), os modelos de estimativas de ETo foram avaliados, tomando-se como melhor ajuste os que apresentarem maiores valores de  $r^2$  e menores valores de SEE e ASEE. Pela equação:

$$SEE = \sqrt{n \sum_{i=1}^n (Y_{p_i} - Y_{m_i})^2 / n^{-1}} \quad (6)$$

em que,  $Y_{p_i}$  é a estimativa da ETo pelo método padrão (EToPM);  $Y_{m_i}$  a estimativa da ETo obtida por cada um dos métodos avaliados e n o número de observações.

Na determinação do ASEE, empregou-se a mesma equação 6, porém o valor da ETo estimada pelo modelo avaliado ( $Y_m$ ), foi substituído pelo valor da ETo obtido pelo emprego da equação de regressão ajustada pelo modelo padrão (EToPM) e os demais modelos. Para

classificação dos modelos de estimativa de ETo, utilizou o  $SEE_{ponderado}$ , obtido pelo ponderação dos valores de SEE e ASEE (JENSEN et al., 1990). A classificação foi feita por ordem dos valores de  $SEE_{ponderado}$ .

$$SEE_{ponderado} = 0,67 SEE + 0,33 ASEE \quad (7)$$

em que,  $SEE_{ponderado}$  é o erro padrão da estimativa ponderado; SEE o erro padrão da estimativa e ASEE o erro padrão de estimativa ajustado.

## RESULTADOS

Os valores estimados da evapotranspiração de referência (ETo) média mensal para região de Rio Branco pelos modelos de Penman-Montheith-FAO, Penman, Priestley & Taylor modificado, Tanner & Pelton e Hargreaves estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que a menor média mensal foi de 2,79 mm dia<sup>-1</sup> para o modelo Penman-Montheith-FAO no mês de junho e a maior foi de 5,36 mm dia<sup>-1</sup> no mês de outubro pelo modelo de Tanner & Pelton.

A menor média anual da ETo foi estimada pelo modelo Penman-Montheith-FAO, 3,39 mm dia<sup>-1</sup>, enquanto a maior média foi de 4,68 mm dia<sup>-1</sup> pelo modelo Tanner & Pelton. Ao longo do ano, os valores médios estimados pelo modelo de Penman, foram os que mais se aproximaram do padrão EToPM (Tabela 1). Resultados semelhantes aos encontrados por OLIVEIRA et al. (2005), comparando modelos de estimativa da ETo na região de Goiânia, GO.

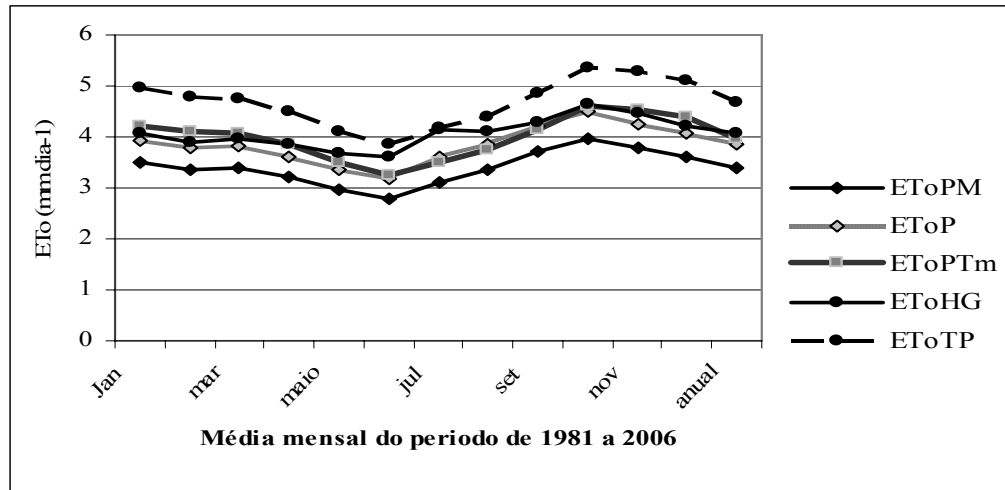
TABELA 1. Média mensal da evapotranspiração de referência (ETo) mm dia<sup>-1</sup> para o município de Rio Branco-AC, estimada pelos métodos de EToPM, EToP, EToPTm, EToHG e EToTP no período de 1981 a 2006.

Métodos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
<b>EToPM</b>	3,49	3,36	3,38	3,20	2,95	2,79	3,12	3,37	3,70	3,95	3,77	3,61	3,39
<b>EToP</b>	3,94	3,78	3,82	3,59	3,35	3,19	3,59	3,86	4,22	4,49	4,26	4,08	3,85
<b>EToPTmodificado</b>	4,21	4,10	4,07	3,84	3,49	3,24	3,50	3,74	4,14	4,61	4,54	4,38	3,98
<b>EToHG</b>	4,07	3,91	3,96	3,85	3,68	3,62	4,13	4,10	4,30	4,65	4,45	4,23	4,08
<b>EToTP</b>	4,97	4,79	4,75	4,49	4,10	3,85	4,19	4,41	4,84	5,36	5,29	5,11	4,68

A Figura 1 mostra as médias mensais das estimativas da ETo para a região de Rio Branco, Acre, obtidas pelos modelos EToPM, EToP, EToPTm, EToHG e EToTP, onde constata-se a superestimativa da ETo durante todos os meses do ano pelos modelos avaliados, em relação ao modelo padrão (EToPM). Comportamento semelhante foi observado por OLIVEIRA et al. (2005), comparando o modelo de Hargreaves com Penman-Montheith-FAO, ao longo do ano. Do mesmo modo, OLIVEIRA & VOLPE (2003), concluíram em Jaboticabal, SP, que o

modelo de Penman, superestimou a ETo ao longo do ano, em relação ao método Penman-Montheith-FAO.

FIGURA 1 – Variação da (ETo) média mensal pelos métodos EToPM, EToP, EToPTm, EToHG e EToTP, para Rio Branco, Acre.



Alguns dados das análises estatísticas dos modelos avaliados na estimativa da ETo, estão apresentados na Tabela 2, onde observa-se que o modelo que mais se aproximou do padrão foi o de Penman (114%) e o que mais se afastou foi o de Tanner & Pelton (138%).

No que se refere ao erro-padrão da estimativa (SEE), constata-se uma variação desde 0,4899 mm dia<sup>-1</sup> (EToP) a 1,3636 mm dia<sup>-1</sup> (EToTP). Todos os modelos avaliados apresentaram coeficiente de determinação superiores a 0,80 ( $r^2$ ), destacando-se o de Penman, com ( $r^2$ ) de 0,9769, o que se justifica pelo fato desse modelo, apresentar as mesmas exigências do modelo Penman-Montheith-FAO. Na Tabela 2 também observa-se que os modelos apresentaram decréscimo nos valores dos erros padrões de estimativa (SEE) em relação ao erro-padrão de estimativa ajustado pela regressão (ASEE), o que indica a possibilidade de melhorar a estimativa da ETo, mediante calibração na localidade de utilização. A classificação dos modelos de estimativa da ETo para a região de Rio Branco-AC, em ordem decrescente de prioridade, deverá obedecer a seguinte ordem: EToP, EToPTm, EToHG e EToTP.

TABELA 2. Evapotranspiração média diária, % em relação ao modelo padrão (EToPM), erro-padrão (SEE), equação de regressão ajustada (a e b), coeficiente de determinação ( $r^2$ ), erro-padrão ajustado (ASEE) e erro-padrão ponderado (SEEp), para de Rio Branco-AC, referente ao período 1981 a 2006.

Métodos	ETo	%	a	b	$r^2$	SEE	ASEE	SEEp
<b>EToP</b>	3,85	114	0,0358	0,8719	0,9769	0,4899	0,1279	0,3704
<b>EToPTmodificado</b>	3,98	117	0,1888	0,8033	0,8827	0,6889	0,2889	0,5569
<b>EToHG</b>	4,08	120	0,7511	0,7926	0,9011	0,8485	0,8435	0,8468
<b>EToTP</b>	4,68	138	0,0860	0,7061	0,8701	1,3636	0,3039	1,0139

## CONCLUSÕES

As melhores estimativas da evapotranspiração de referência para a região em estudo, foram obtidas com os modelos de Penman e Priestley & Taylor modificado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURMAN, R. D.; NIXON, P. R.; WRIGTH, J. L.; PRUIT, W. O. Water requirements. In: JENSEN, M. E., (Ed.). **Design and operation of farm irrigation system**. St. Joseph: ASAE, 1983. cap. 6, p. 189-232.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332 p. (Manuals and reports of engineering practice, 70).

MEDEIROS, S. L. P. Avaliação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para a região mesoclimática de Santa Maria-RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 6, n. 1, p. 105-109, 1998.

OLIVEIRA, A. D.; VOLPE, C. A. Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, utilizando dados de estações meteorológicas convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 11, n. 2, p. 253-260, 2003.

OLIVEIRA, R. Z.; OLIVEIRA, L. F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; BONOMO, R. Comparação de metodologias de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Goiânia,GO. **Biosci. J.**, Uberlândia, MG, v. 21, n. 3, p. 19-27, 2005.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba, SP: FEALQ, 1997. 183 p.