

COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERENCIA PARA BOTUCATU-SP

Lucas Lenz¹, Daniel Gonçalves Gomes Jr², Alexandre Dal Pai³, Enzo Dal Pai³

¹Mestrando, Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu. E-mail: llenz@fca.unesp.br

²Estagiário, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu.

³Doutor, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu.

1 INTRODUÇÃO

Um parâmetro de grande importância quando se procura analisar fisicamente um ambiente natural específico é a Evapotranspiração de referência (ET_0). Esta pode ser utilizada para estudos como: regime hídrico de uma dada região, comportamento de desenvolvimento de vegetações em ambientes naturais específicos (os Biomas), análise de disponibilidade hídrica em ambientes agrícolas para futuros planejamentos de sistemas de irrigação, dentre outros. Hoje em dia é fundamental que se saiba contabilizar em um sistema agrícola a entrada e saída de água deste sistema e desta forma o conceito de ET_0 tem se tornado cada vez mais útil em propriedades onde o uso de tecnologia vinculada a irrigação aparece como fator fundamental para assegurar a produção de determinada cultura ao produtor.

A evapotranspiração constitui um dos principais parâmetros na estimativa do consumo de água pelas plantas e é definida como um processo conjunto e dinâmico de mudança do estado físico da água, dependente da disponibilidade de energia solar no ambiente, da demanda hídrica atmosférica e do próprio suprimento de água do solo às plantas (SOUZA et al, 2011). Allen et al, (1998) menciona que a evapotranspiração de referência (ET_0) é definida pela perda de água de uma superfície extensa de solo, totalmente coberta por vegetação rasteira, com altura uniforme entre 8 e 15cm, em crescimento ativo e sem restrição hídrica. Sua medida pode ser feita basicamente de duas formas, a primeira se dá pela utilização de equipamentos específicos denominados de lisímetros, porém são equipamentos de elevado custo tanto de obtenção como operacional. Sua vantagem se deve a ser uma forma direta de medição o que garante maior confiabilidade nos dados obtidos. A segunda forma pelo se dá uso de equações de estimativa da ET_0 onde são diversos os autores que trabalharam na formulação de equações, alguns a serem mencionados são Thorntwaite (1948), Penman-Monteith (1956), Camargo (1971), Hargreaves-Samani (1985), dentre outros.

Tendo em vista da dificuldade em se trabalhar com esses modelos matemáticos para a obtenção de dados em um curto período de tempo tornou-se necessário que

diversos pesquisadores atualmente, com o auxílio de modelos computacionais, procurassem gerar programas que efetuem este tipo de serviço. O objetivo deste trabalho é verificar a eficiência dos modelos de estimativa mais simples da Evapotranspiração de referência (ET_0) de Hamon (1961) e Camargo (1971) e compara-los com o modelo tradicional proposto por Thorntwaite (1948).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O cálculo da ET_0 foi realizado na planilha eletrônica MicrocalOrigin 6.0 com a linguagem de programação Labtalk utilizando dados de Temperatura (máxima, mínima e média) da região de estudo, latitude (ϕ), fotoperíodo (N) e radiação solar no topo da atmosfera (Q_0). As informações de temperatura podem ser adquiridas por meio de dados fornecidos por estações meteorológicas espalhadas no estado de São Paulo, os quais podem ser encontrados em sites específicos da área de especialização.

- <http://www.agritempo.gov.br/agritempo/produtos.jsp?siglaUF=SP>
- http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_082.html
- <http://www.inmet.gov.br/portal/>

Os modelos utilizados neste trabalho são modelos simples que necessitam de dados de medida temperatura que podem ser facilmente obtidos, enquanto o fotoperíodo (N) e radiação solar no topo da atmosfera (Q_0) são obtidos por meio de equações determinísticas. A seguir são apresentadas as equações utilizadas:

1. Equação de Thorntwaite (1948).

$$ET_0 = 16(10T_n/1)^a \text{ para: } 0 \leq T_n < 26,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$ET_0 = -415,85 + 32,24T_n - 0,43T_n^2 \text{ para } T_n \geq 26,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

Onde: ET_0 (mm/mês) é a evapotranspiração de referência; T_n ($^\circ\text{C}$) é a temperatura média do mês (n); I é um índice que expressa o nível de calor disponível na região onde n é o mês (n=1 para janeiro, n=2 para fevereiro... n=12 para dezembro) (SENTELHAS, 2002). O valor de I depende do ritmo anual da temperatura, integrando o efeito térmico de cada mês, calculado pela fórmula:

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2T_n)^{1,514} \quad (3)$$

Sendo que:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \quad (4)$$

2. Modelo de Camargo (1971)

$$ET_0 = Q_0 \cdot T \cdot K \cdot D \quad (5)$$

Onde: ET_0 (mm/mês) é a evapotranspiração de referência; T (°C) é a temperatura diária média do período; Q_0 (MJ/m²; cal/cm²); é a radiação solar no topo da atmosfera; D é o número de dias do mês; K é um fator de ajuste: 0,01 para T_a (temperatura média anual) até 23,5 °C; 0,0105 para T_a de 23,6 a 24,5 °C; 0,011 para T_a de 24,6 a 25,5 °C; 0,0115 para T_a de 25,6 e 26,5 °C; 0,012 para T_a de 26,6 °C a 27,5; 0,013 para T_a superior a 27,5 °C (CAMARGO & CAMARGO, 2000).

3. Modelo de Hamon (1961)

$$ET_0 = 0,55 \left(\frac{N}{12} \right)^2 \left(\frac{4,95 \exp^{0,062T}}{100} \right) 25,4 \quad (6)$$

Onde: ET_0 (mm/mês) é a evapotranspiração de referência; T (°C) é a temperatura média do período considerado; N é o fotoperíodo médio no período considerado (BORGES & MENDIONDO, 2007). Fotoperíodo, ângulo horário, declinação solar e radiação no topo da atmosfera são dados por:

$$N = \frac{2}{15} \ln \quad (7)$$

$$\ln = \arcsin - (\tan \phi \tan \delta) \quad (8)$$

$$\delta = 23,43 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + DJ) \right] \quad (9)$$

$$Q_0 = 15,35 \left[(\ln \sin \Phi \sin \delta) + (\cos \Phi \cos \delta \sin \ln) \right] \quad (10)$$

onde: $\ln$ é o ângulo horário; ϕ é a latitude do local de estudo; δ é a declinação solar do local de estudo; DJ é o dia Juliano; e Q_0 (mm/dia) é a radiação solar no topo da atmosfera.

A avaliação dos modelos baseou-se nos indicadores estatísticos MBE e RMSE dados pelas Eq. (11) e Eq. (12), respectivamente.

$$MBE = \left(\sum_i^N (y_i - x_i) / N \right) \quad (11)$$

$$RMSE = \left(\sum_i^N (y_i - x_i)^2 / N \right)^{1/2} \quad (12)$$

onde y_i representa os valores do modelo a ser testado, x_i os valores do modelo de referência e N o número de observações. O indicativo MBE representa o desvio simples e um valor positivo indica uma superestimativa, enquanto que um valor negativo indica uma subestimativa. Já o indicativo RMSE representa o desvio padrão e está relacionado à dispersão dos valores em relação à média. Os desvios relativos entre os modelos foram calculados pela Eq. (13).

$$D(\%) = 100 * \left(\frac{y_i - x_i}{x_i} \right) \quad (13)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um dos modelos mais importantes na estimativa da evapotranspiração de referência é o modelo de Thorntwaite, por ser largamente utilizado em todo o globo terrestre e por necessitar, como entrada, apenas valores médios da temperatura do local. Nesse sentido o método de Thorntwaite foi adotado como referência para Botucatu-SP.

Os modelos de Camargo e Hamon necessitam de informações adicionais como fotoperíodo e radiação solar no topo da atmosfera e foram avaliados em função do método de Thorntwaite. A figura 1a mostra os valores de evapotranspiração de referência para os métodos de Thorntwaite, Camargo e Hamon, enquanto que a figura 1b mostra o desvio relativo entre os métodos Camargo x Thorntwaite e Hamon x Thorntwaite.

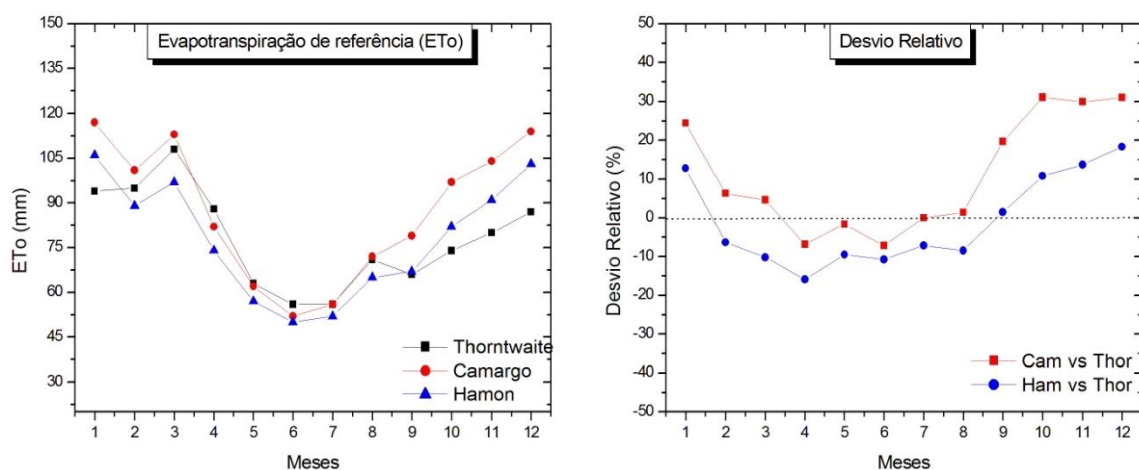


Figura 1. a. evapotranspiração de referência dos métodos Thorntwaite, Camargo e Hamon; b. desvio relativo entre os métodos Camargo x Thorntwaite e Hamon x Thorntwaite.

As estimativas produzidas por todos os modelos apresentam comportamento semelhante, com os maiores valores ocorrendo para a época do verão e os menores valores ocorrendo para a época do inverno. Pela classificação climática de Köppen o clima desta região é o Cwa, caracterizado por ser o temperado quente (mesotérmico), com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C (CEPAGRI, 2014; Cunha et al, 1999). O dia mais longo do ano tem 13,4 horas no mês de dezembro, e o mais curto tem 10,6 horas no mês de junho. O mês de fevereiro é o mais quente do ano com temperatura média de 23,2 °C, enquanto que o mês de julho é o mais frio do ano com temperatura média de 17,1 °C. Fevereiro é o mês mais úmido do ano com valores de umidade em torno de 78,2% e agosto é o mês mais seco com percentuais em torno de 61,80% (DAL PAI et al., 2014). A evolução anual da precipitação (Fig. 1c) segue a evolução da nebulosidade. É constituída de dois períodos distintos: chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro). A maior precipitação ocorre no mês de janeiro com total de 260,7mm e a mínima em agosto com 38,2mm (DalPai et al., 2014). Portanto, nos períodos de maior oferta energética e hídrica, a ET_0 apresenta seus maiores valores. Já no inverno o comportamento é oposto com ET_0 assumindo os menores valores em função da menor oferta de energia e do déficit hídrico do período. Sendo assim, a perda de água pelas plantas é reduzida justificando os menores valores de ET_0 no período.

Já a comparação entre os métodos de medida mostra que o método de Hamon na média geral estima melhor a ET_0 em relação ao método de Camargo. Por outro lado se o interesse for sazonal, o método de Camargo oferece as melhores estimativas de ET_0 para o inverno, no entanto, para o período de primavera e verão, o método apresenta superestimativas elevadas como visto na figura 1.b.

A tabela 1 mostra os indicadores estatísticos da comparação entre os modelos (mod1 e mod2) de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0). Em relação ao indicativo MBE, o modelo de Hamon apresentou os melhores resultados com uma subestimativa em torno de 0,5%. Em relação ao espalhamento dos dados (RMSE), o modelo de Hamon apresentou as menores dispersões em torno de 12%.

Tabela 1. Indicativos estatísticos da comparação entre os modelos (mod1 e mod2) de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0).

Mod1 x Mod2	Indicativos estatísticos
-------------	--------------------------

	MBE (%)	RMSE (%)	DR (%)
Cam x Thorn	11,83	19,01	11,09
Ham x Thorn	-0,53	12,04	-0,91

4. CONCLUSÕES

O método de estimativa da evapotranspiração de referência de Hamon apresentou os melhores resultados para a cidade de Botucatu-SP. Provavelmente isso se deve ao melhor ajuste da curva de modelagem visto que a mesma utiliza uma parametrização exponencial ao invés da parametrização linear proposta por Camargo. Em relação a análise sazonal o método de Camargo é recomendado para a estimativa da evapotranspiração de referência para o período de outono e inverno.

5. REFERÊNCIAS

- 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.
- BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M.; Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referêncianaBacia do Rio Jacupiranga. Rev, bras, eng, agr e amb, v.11, n.3, p.293-300, 2007.
- CAMARGO, A. P. De.; CAMARGO, M. B. P. De.; Bragantia, Campinas, 59 (2), 125-137,(2000).
- CEPAGRI- Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas aplicadas a Agricultura, Clima dos municípios paulistas, <http://www.cpa,unicamp,br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas,html>,
- CUNHA, A. R.; KLOSOWSKI, E. S.; GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen, In: I simpósio de energiana agricultura, 1999, Botucatu, Anais, Botucatu, SP: UNESP, Faculdade de CiênciasAgrônômicas, 2, 487-491, 1999.
- DAL PAI, E., LENZ, L.C., PRADO, M. B., ESCOBEDO, J. F. Balanço de radiação em estufa de Polietileno, V Congresso Brasileiro de Energia Solar, Recife-PE, V Congresso Brasileiro de Energia Solar - anais, 2014.
- SENTELHAS, P. C ; PEREIRA, A. R. ; ANGELOCCI, Luiz Roberto ; . Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. 1. ed. Guaíba: Editora Agropecuária, v. 1. 478p , 2002.
- SOUZA, A. P de., CARVALHO, D. F de.; SILVA, L. B. D da.; ALMEIDA, F. T de.; ROCHA, H. S. da. Estimativas da evapotranspiração de referência em diferentes condições de nebulosidade. Pesq, agropec, bras. Brasília, v.46, n.3, p 219-228, mar, 2011.