

UM FATOR DE CORREÇÃO PARA O MODELO DE THORNTHWAITE

Marcelo Cid AMORIM¹, Javier TOMASELLA², Gilberto C. SEDIYAMA³ e Luciana ROSSATO⁴

RESUMO

Utilizando-se de dados de temperatura média mensal do ar do Brasil, referentes ao ano de 1997, e de dados temperatura média mensal do ar registrado nas *Normais Climatológicas* (1961–1990), estruturou-se fator de ajuste que representa significativamente a correção proposta por Thornthwaite, em 1948, ao uso do seu modelo quando a temperatura média do ar fosse maior que 26.5°C. O modelo pelo qual se estruturou este fator apresentou um baixo erro-padrão de estimativa (0.017), e coeficientes de determinação e determinação ajustado iguais a 99%. Desta forma, a adoção deste fator de ajuste é uma medida prática e simples, pois, adapta-se o modelo de Thornthwaite para qualquer condição em que a temperatura média mensal do ar for igual ou superior a 0°C, apresentando maiores facilidades para efetuar cálculos e operações computacionais, por dispensar o uso de tabelas ou de outras equações de correção.

Palavras-Chave: Thornthwaite, Fator de Correção, Evapotranspiração.

INTRODUÇÃO

Em 1948, Thornthwaite publicou um modelo simples, que estima a evapotranspiração potencial, baseado em dados de temperatura média do ar e do fotoperíodo de áreas secas dos Estados Unidos. Este modelo apresenta fortes aplicações geográficas e de grande valor prático na estimativa da evapotranspiração em áreas onde não há disponibilidade de outros dados que não os de temperatura. Sua maior utilização, contudo, é no cálculo do balanço hídrico, cujos resultados têm sido largamente usados, como parâmetros para estabelecer comparações entre condições climáticas reinantes em áreas distintas, com vistas à realização de zoneamento agroclimático.

A equação proposta por Thornthwaite em 1948 foi uma das primeiras equações desenvolvidas para estimativa da evapotranspiração potencial. As limitações dessa equação foram observadas e discutidas por PEREIRA & CAMARGO (1989), que enfatizaram, principalmente o aspecto micro-meteorológico, porque esse modelo não implementa considerações das características do local (solo, vegetação, área tampão etc). Ou seja, a adoção de um modelo que só considera a variável temperatura como o de Thornthwaite seria problemático, principalmente em áreas sujeitas à

¹ Agrometeorologista, MSc, bolsista MCT/CNPq/RHAE/PMCTRH. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (INPE/CPTEC). Rodovia Presidente Dutra, km 40, CEP: 12630-000, Cachoeira Paulista/SP, Brasil. Fone: +55 (12) 560-8518 e FAX: +55 (12) 561-2835. E-mail: amorim@cptec.inpe.br

² Recursos Hídricos, DSc, Pesquisador. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. Fone: +55 (12) 560-8461 e FAX: +55 (12) 561-2835. E-mail: javier@cptec.inpe.br

³ Professor Titular, PhD, Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa (MG), CEP:36571-000. Fone: +55 (31) 899-1905 e FAX: +55 (31) 899-2435. E-mail: sediyama@mail.ufv.br

⁴ Estudante de pós-graduação em Meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Fone: +55 (12) 560-8518 e FAX: +55 (12) 561-2835. E-mail: rossato@cptec.inpe.br

advecção (regiões sujeitas ao efeito oásis, tais como nas regiões áridas e semi-áridas). Assim, observa-se que o modelo Thornthwaite superestima a evapotranspiração (ET) quando a temperatura média do ar for igual ou superior a 26.5°C. Porém, o problema da superestimação da ET deve-se ao uso do modelo que estima a evapotranspiração potencial não ajustada (E_j), nos cálculos, para todos os valores de temperaturas, desprezando as considerações iniciais proposta por Thornthwaite, em 1948. Desta forma, para se obter a ET pelo modelo Thornthwaite, é imprescindível se fazer as seguintes considerações: 1) aplicar E_j no intervalo de temperatura no qual foi calibrado, ou seja, $0 \leq t_j < 26.5^\circ\text{C}$; 2) fazer uso de uma tabela de evapotranspiração potencial com valores já definidos quando a temperatura do ar for superior 26.5°C e 3) usar o fator de correção C_j , que leva em consideração o fotoperíodo e a latitude do local.

Em 1990, a *Food and Agriculture Organization* (FAO) organizou uma reunião que definiu o modelo de Penman-Monteith como padrão para estimar a evapotranspiração de referência e, também, várias características micrometeorológicas associada ao modelo e ao local. Esta padronização foi uma medida prática e de grande valor na contabilização da demanda de água no sistema solo-água-planta-atmosfera. JESSEN et al. (1990), SMITH et al. (1990), SEDIYAMA (1996) e PEREIRA et al. (1997) estudaram o uso de modelos de estimativa de evapotranspiração e defendem que cada método e, ou, modelo para estimar a ET apresentam limitações operacionais e a principal limitação é a obtenção e qualidade dos dados disponíveis. Entretanto, é importante citar que os modelos combinados são estruturados em conceitos físicos e apresentam sérias limitações quando ocorre ausência de dados.

Desprezar o modelo de Thornthwaite seria o pior dos erros, pois, como mencionado, esse modelo tem fortes aplicações climatológicas e, em regiões com limitações de dados, se torna recomendável. O custo operacional para rodar este modelo é muito baixo, necessitando apenas dos dados de temperatura média do ar, facilmente encontrados nas redes sinóticas. A escassez de dados meteorológicos é um dos grandes problemas mundiais, principalmente nos países em desenvolvimento.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi estruturar um coeficiente de ajuste (C_t) que represente de forma significativa, as considerações proposta Thornthwaite, em 1948, para o cálculo da evapotranspiração quando a temperatura média do ar mensal for igual ou superior 26.5°C. Simplificando e rescrevendo este modelo para qualquer região de clima tropical e subtropical.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo, foram utilizados dados de temperatura média do ar do Brasil, referentes ao ano de 1997, e também, os dados históricos de temperatura média mensal do ar registrados nas Normais

Climatológicas (1961–1990), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET/MA). Nessa publicação, são encontrados dados climáticos de 206 estações meteorológicas (BRASIL, 1992) espalhadas pelas cinco grandes regiões brasileiras.

Para determinar a evapotranspiração potencial de cada mês ($j = 1, 2, 3, \dots, 12$), foi utilizado o modelo de THORNTHWAITE (1948), apresentando a seguinte notação matemática

$$ET_p = E_j \cdot C_j \quad (1)$$

em que,

ET_p = Evapotranspiração potencial, mm por mês;

E_j = Evapotranspiração potencial não ajustada, mm por mês; e

C_j = Fator de correção que depende do fotoperíodo médio e do número de dias do mês em questão

Para temperatura igual ou superior a 26.5°C ($t_j \geq 26.5^\circ\text{C}$), THORNTHWAITE (1948) propôs o uso da Tabela 1. Dessa forma, corrige-se a tendência da equação E_j em superestimar ET_p não ajustada.

FATOR DE CORREÇÃO C_j

O fator de correção C_j leva em consideração o fotoperíodo médio e a latitude do local, bem como o número de dias do mês em estudo. A importância desse coeficiente no cálculo da ET_p foi descrita por VAREJÃO e REIS (1990) e VIANELLO e ALVES (1991). Esta correção é dada pela seguinte equação

$$C_j = \frac{N_j}{12D_j} \quad (5)$$

em que,

D_j = Número de dias do mês j (em janeiro, $D_1 = 31$; em fevereiro, $D_2 = 28$; ... etc.); e

N_j = Fotoperíodo do dia 15, considerado representativo da média desse mês.

$$N_j = 2 \frac{[\arccos(-\text{tg}\Phi\text{tg}\delta + 0,83)]}{15} \quad (6)$$

em que,

Φ = Latitude (negativa para hemisfério Sul) do local

δ = Declinação do sol estimada pela equação proposta por KLEIN (1977)

$$\delta = 23,45^\circ \text{ sen} \left[360^\circ \left(\frac{284 + D_j}{365} \right) \right] \quad (7)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias mensais da temperatura do ar, registrada nas Normais Climatológica do Brasil forneceram uma mostra de dados com 2.472 dados (n). Número suficiente para fazer um ajustamento significativo do modelo proposto para estruturar o coeficiente de ajuste C_t . Com os devidos ajustes, os parâmetros a , b , c e d e os valores estatísticos, que validam o modelo, estão descritos abaixo

Coeficientes da equação de correção ajustada (Equação 8):

$a = 1,00$; $b = -0,95$; $c = 32,15$ e $d = 3,21$

$$C_t = 1 - 0.95 e^{-e^{(-0.31t_j + 9.64)}} \quad (9)$$

Sendo, R^2 igual a 0,99 e erro padrão de estimativa igual a 0.017.

A equação 9, com as devidas simplificações, representa o modelo da equação 8. De acordo com os resultados estatísticos, esse modelo representa significativamente a correção proposta para o modelo de original de Thornthwaite, apresentando valores de 99% para os coeficientes de determinação e determinação ajustado. A Figura 2 mostra o comportamento do modelo C_t em função da temperatura média do ar. Como pode se observar, para temperaturas menores que 26.5°C , o modelo assumirá valores iguais a 1, e para temperaturas superiores a 26.5°C , o modelo corrigirá o comportamento exponencial do modelo de Thornthwaite em superestimar a evapotranspiração potencial.

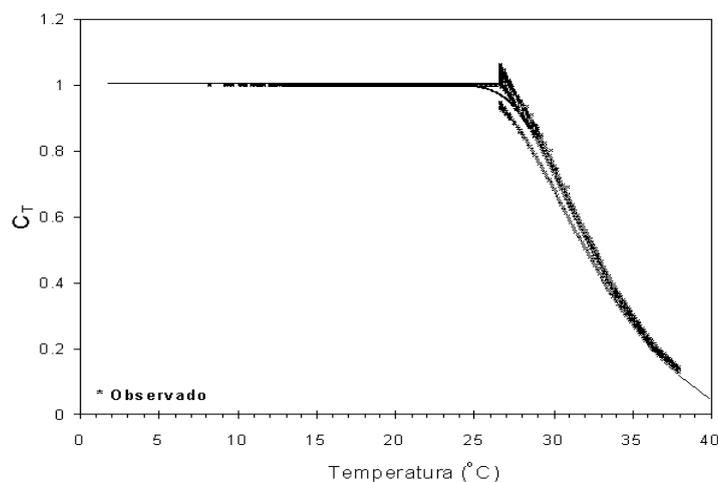


Figura 2. Fator de correção da temperatura (C_t).

Com esta correção, o modelo de Thornthwaite fica adaptado para qualquer condição em que a temperatura média mensal do ar for igual ou superior a 0°C, apresentando maior facilidade para efetuar cálculos e operações computacionais, porque evita o uso de tabelas ou de outras equações de correção. Com o fator C_t , reescreve-se a equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração não-ajustada da seguinte forma

$$E_j = 16 \left(10 \frac{t_j}{I} \right)^a \left\{ 1 - 0.95 e^{-e^{-(0.31t_j + 9.64)}} \right\} \quad (10)$$

A Figura 3 representa a estimativa da evapotranspiração potencial mensal ajustada para todas estações sinópticas das Normas Climatológica do Brasil. Observa-se que a atenuação que o modelo corrigido (equação 9) produz é expressiva, e assim, elimina-se a tendência de superestimar a ET_p quando a temperatura média do ar for superior a 26.5°C.

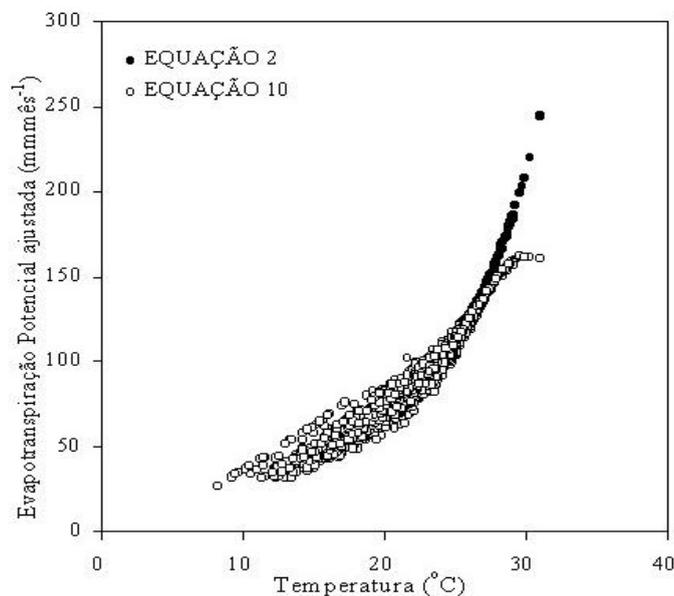


Figura 3. Evapotranspiração potencial acumulada, para o Brasil.

CONCLUSÕES

- A introdução do fator de correção C_t no modelo de Thornthwaite é uma alternativa válida e eficiente, pois, além de corrigir a tendência de superestimar a ET_p , quando a temperatura média do ar for superior a 26.5°C, ainda simplifica o uso deste modelo em operações computacionais.
- A aplicação do modelo de Thornthwaite é climatológica. Dessa forma, é recomendado que esse tipo de estudo seja aplicado para fins de caracterização de grandes áreas, especialmente em zoneamento agroclimático.
- As regiões quentes tropicais do Brasil são favoráveis ao uso da equação de Thornthwaite, onde a temperatura média do ar é superior a 26.5 °C.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro; ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (INPE/CPTEC), que, com seu apoio, proporcionaram a estrutura necessária à elaboração deste trabalho; e à equipe da revista CLIMANÁLISE, pelo fornecimento dos dados.

O ano de 1998, é marca do cinquentenário do surgimento de um modelo que estima um dos mais importantes parâmetros da *agrometeorologia*: a *evapotranspiração* (ET). O autor desta proeza, é: *Charles Warren Thornthwaite* (1899 – 1963) um americano simples e muito dedicado a ciência. Considerado um gênio, o seu local de trabalho até hoje é tido como a “Meca” para todos os climatologistas do mundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais Climatológicas** (1961 – 1990). Brasília : EMBRAPA/SPI, 1992. 84p.
- JESSEN, M. E., BURMAN, R. D., ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and Irrigation water requirements**. Manuals n. 70. America Society of Civil Engineers (ASCE), New York, 1990. 332 p.
- KLEIN, S. A. Calculation of monthly average insolation on titled surfaces. **Solar Energy**, v.19. p.325-329, 1977.
- PEREIRA, A. R., CAMARGO, A. P. Na analisys of the criticism of Thornthwaite's equation for estimating potential evapotranspiration. **Agriculture Forest Meteorological**, v.46. p.149-157, 1989.
- PEREIRA, A. R., VILLA NOVA, N. A, SEDIYAMA, G. S. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba, SP, FEALQ, 1997. 183 p.
- SEDIYAMA, G. S. **Evapotranspiração: Necessidade de água para as plantas cultivadas**. Brasília, DF, Associação Brasileira de Educação Agrícola – ABEAS, 1996. 173 p (Curso por tutoria à distância)
- SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements**. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization, 1991. 45p.
- THORNTHWAITE, W. C. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v.38. p.55-94, 1948.
- VAREJÃO-SILVA, M. A., REIS, A. C. S. **Meteorologia**. Recife (PE), 1990. 461 p. (*no prelo*)
- VIANELLO, R. L., ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1991. 449p.