

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 77-81, 1996.

Recebido para publicação em 16/05/95. Aprovado em 13/11/95.

ISSN 0104-1347

EQUAÇÃO PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL NO ESTADO DE SÃO PAULO, BASEADA NO MÉTODO DE HARGREAVES - 1974

EQUATION TO ESTIMATE POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION IN STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL, BASED ON HARGREAVES - 1974 METHOD

Paulo Cesar Sentelhas¹ e Angelo Paes de Camargo²

RESUMO

Foram avaliados os métodos de Hargreaves - 1974 e de Hargreaves & Samani - 1982 para a estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) no Estado de São Paulo, comparando-se as estimativas com dados obtidos em evapotranspirômetros nas localidades de Campinas, Pindamonhangaba e Ribeirão Preto, respectivamente durante os períodos de 1957 a 1960, 1954 a 1956 e 1956 a 1960. Os resultados de ETP pelos dois métodos de Hargreaves apresentaram-se muito superestimados em relação aos observados, tanto a nível decendial quanto mensal, com o índice de concordância "d" de Willmott ficando entre 0,64 e 0,67. Foram propostas modificações na equação original de Hargreaves - 1974, substituindo-se o fator mensal de Hargreaves (MF) pela radiação solar extraterrestre (RA) e alterando-se o coeficiente do fator de correção para umidade relativa do ar, visando adaptá-la às condições do Estado de São Paulo. Os resultados encontrados indicaram melhora nas estimativas, com o índice de concordância d passando para 0,79 e 0,88, respectivamente, para o nível decendial e mensal.

Palavras-chave: evapotranspiração potencial, Hargreaves.

SUMMARY

¹ Engº Agrº, MS, Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ/USP, CP 9, 13418-900, Piracicaba, SP.

² Engº Agrº, Dr., Seção de Climatologia Agrícola, IAC, CP 28, 13001-970, Campinas, SP. Bolsista do CNPq.

Hargreaves - 1974 and Hargreaves & Samani - 1982 methods were evaluated to estimate potential evapotranspiration (ETP) in State of São Paulo, Brazil. Estimatives of ETP were compared with evapotranspirometers data obtained in three localities: Campinas; Pindamonhangaba and Ribeirão Preto, during the respective periods: from 1957 to 60; from 1954 to 1956 and from 1956 to 1960. The ETP estimated by Hargreaves' methods showed high overestimation in relation to measured data, so decennial as monthly level, with Willmott's d index of agreement between 0.64 and 0.67. Modifications were purposed in original Hargreaves' formula (1974), changed the Hargreaves' monthly factor (MF) by extraterrestrial solar radiation (RA) and the correction relative humidity coeficient, aiming to adapt it to State of São Paulo conditions. The results obtained indicated improvement in estimatives of ETP, with the d index of agreement going to 0.79 and 0.88 respectively to decennial and monthly level.

Key words: potential evapotranspiration, Hargreaves.

INTRODUÇÃO

Vários métodos tem sido desenvolvidos para a estimativa da evapotranspiração potencial em todo o mundo. Poucos, no entanto, são aplicáveis para uma grande diversidade de condições climáticas, necessitando de adaptações.

HARGREAVES (1974) desenvolveu uma fórmula para a estimativa da evapotranspiração potencial, dando ênfase à simplicidade e ao uso de um número mínimo de variáveis climáticas: temperatura do ar e umidade relativa do ar. Esse método se assemelha aos desenvolvidos por THORNTHWAITE (1948) e CAMARGO (1971), porém, leva em conta ainda a umidade relativa do ar como responsável pela adversão regional, considerada por MALEK (1987) como fundamental, principalmente nas regiões de clima árido.

Anos mais tarde, HARGREAVES & SAMANI (1982) propuseram algumas alterações na equação original, objetivando torná-la mais prática. Dessa forma, eliminaram o fator mensal (MF), pouco usual, e introduziram a radiação solar global na superfície terrestre (RS), retirando, ainda, o fator CH, correção para a umidade relativa do ar. O novo método permitiu a obtenção de resultados bastante semelhantes ao apresentado por HARGREAVES (1974), sendo utilizado pelo autor em várias partes do mundo (HARGREAVES, 1976, 1977 e 1984).

Os objetivos do presente trabalho foram: testar a aplicabilidade das fórmulas de estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) desenvolvidas por HARGREAVES (1974) e HARGREAVES & SAMANI (1982) para o Estado de São Paulo e propor um método simplificado, baseado nessas fórmulas,

visando adequá-lo às condições paulistas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados de evapotranspiração potencial obtidos em evapotranspirômetros, do tipo "Thornthwaite-modificado", por CAMARGO (1962) em três Estações Experimentais do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo: Campinas (Lat.: 22°54'S; Long.: 47°04'W; Alt.: 670 m); Pindamonhangaba (Lat.: 22°58'S; Long.: 45°25'W; Alt.: 570 m); Ribeirão Preto (Lat.: 21°11'S; Long.: 47°48'W; Alt.: 620 m), durante os períodos de 1957 a 1960, 1954 a 1956 e 1956 a 1960, respectivamente.

Os dados observados de evapotranspiração potencial, em nível decendial e mensal, foram comparados aos estimados pelos seguintes métodos:

- Hargreaves - 1974:

$$ETP = MF * (1,8 * Tmed + 32) * 0,166 * (100 - UR)^{0,5} \quad 1$$

onde ETP é a evapotranspiração potencial, em mm.mês⁻¹, MF o fator mensal obtido em tabelas (HARGREAVES, 1974), Tmed a temperatura média do ar, em °C, e UR a umidade relativa do ar, em %.

- Hargreaves & Samani - 1982:

$$ETP = 0,0075 * (1,8 * Tmed + 32) * RS \quad 2$$

onde ETP é a evapotranspiração potencial, em mm.mês⁻¹, e RS a radiação solar global na superfície terrestre, em mm de evaporação equivalente.

- Hargreaves modificado (Proposto):

$$ETP = RA * (1,8 * Tmed + 32) * 0,0006 * (100 - UR)^{0,5} \quad 3$$

onde ETP é a evapotranspiração potencial, em mm.dia⁻¹, e RA a radiação solar extraterrestre, em mm de evaporação equivalente. O coeficiente da correção para a umidade relativa (0,0006) foi obtido empiricamente.

A avaliação dos métodos de estimativa de ETP foi realizada utilizando-se a análise de regressão, que expressa a precisão das estimativas através do coeficiente de determinação (R^2), e o índice de concordância (d) (WILLMOTT et al., 1985), que expressa a exatidão das estimativas em relação aos valores observados, variando de zero, que indica nulidade, à 1, que indica perfeita exatidão. O índice d é determinado da seguinte forma:

$$d = [1 - (\sum (P_i - O_i)^2 / \sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2)] \quad 4$$

onde O_i é o valor medido de ETP, P_i é o valor estimado de ETP, O é a média dos valores medidos de ETP e i é o número de eventos (decêndios ou meses).

Para análise complementar, foi feita uma média mensal geral dos valores de ETP estimados pelos três métodos e medidos, utilizando-se os dados das três localidades, visando comparar o desempenho desses métodos. Ainda, para a localidade de Ribeirão Preto, foram feitos balanços hídricos mensais, pelo método de THORNTHWAITE & MATHER (1955) para uma capacidade de armazenamento de 100 mm, utilizando a ETP estimada pelos métodos de Hargreaves - 1974 e Hargreaves modificado, sendo ambos apresentados graficamente segundo CAMARGO & CAMARGO (1993).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentadas as relações entre os dados de ETP estimados pelos três métodos e medidos, respectivamente, a nível decendial e mensal.

A nível decendial, os métodos de Hargreaves - 1974 (Figura 1a) e de Hargreaves & Samani - 1982 (Figura 1c) apresentaram acentuada superestimativa dos dados de ETP em relação aos medidos, principalmente, nos decêndios correspondentes aos meses de verão. Com isso, tanto a precisão quanto a exatidão das estimativas foram baixas, com o R^2 entre 0,41 e 0,47 e o d entre 0,64 e 0,65. A mesma tendência também foi observada a nível mensal (Figura 1b e 1d), havendo apenas melhora na precisão, o que normalmente ocorre com o aumento do intervalo das estimativas (SANTOS et al., 1994).

Utilizando-se o método de Hargreaves modificado (Figura 1e e 1f), pode-se verificar melhora nas estimativas de ETP. Apesar de não ter havido mudança na precisão (R^2) das estimativas, tanto a nível decendial quanto mensal, o índice d apresentou uma elevação acentuada, passando para 0,79 a nível decendial e para 0,88 ao nível mensal, mostrando uma melhora na exatidão das estimativas de ETP, diminuindo a tendência da superestimativa da ETP nos meses de verão.

Tabela 1 - Evapotranspiração potencial anual (ETP), em mm, estimada, pelos métodos de Hargreaves - 1974, Hargreaves & Samani - 1982 e Hargreaves modificado, e medida em evapotranspirômetros, e precipitação anual normal (Prec.) para as localidades de Campinas, Pindamonhangaba e Ribeirão Preto, Estado de São Paulo.

Método	Campinas Prec.=1382mm ETP índice*	Pindamonhangaba Prec.=1260mm ETP índice*	Ribeirão Preto Prec.=1535mm ETP índice*
Hargreaves - 1974	1575 170	1403 128	1668 143
Hargreaves & Samani -1982	1488 161	1432 130	1541 132
Hargreaves modificado	1105 119	984 89	1180 101
Evapotranspirômetro	925 100	1100 100	1167 100

* O índice indica a relação existente entre os valores de ETP estimados e os da ETP medidos no evapotranspirômetro (considerados igual a 100).

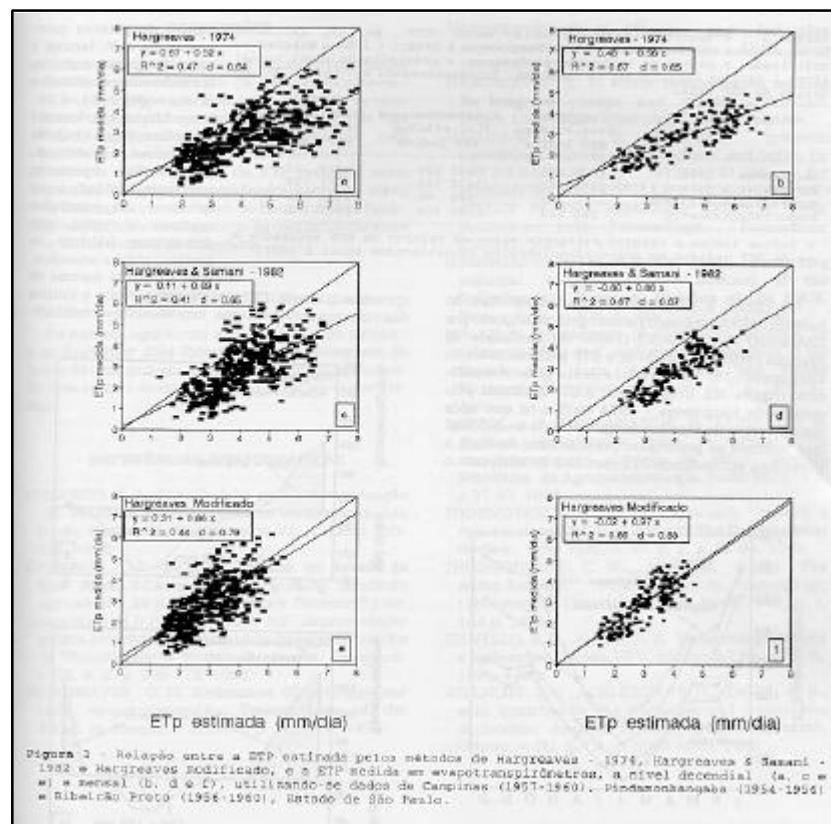
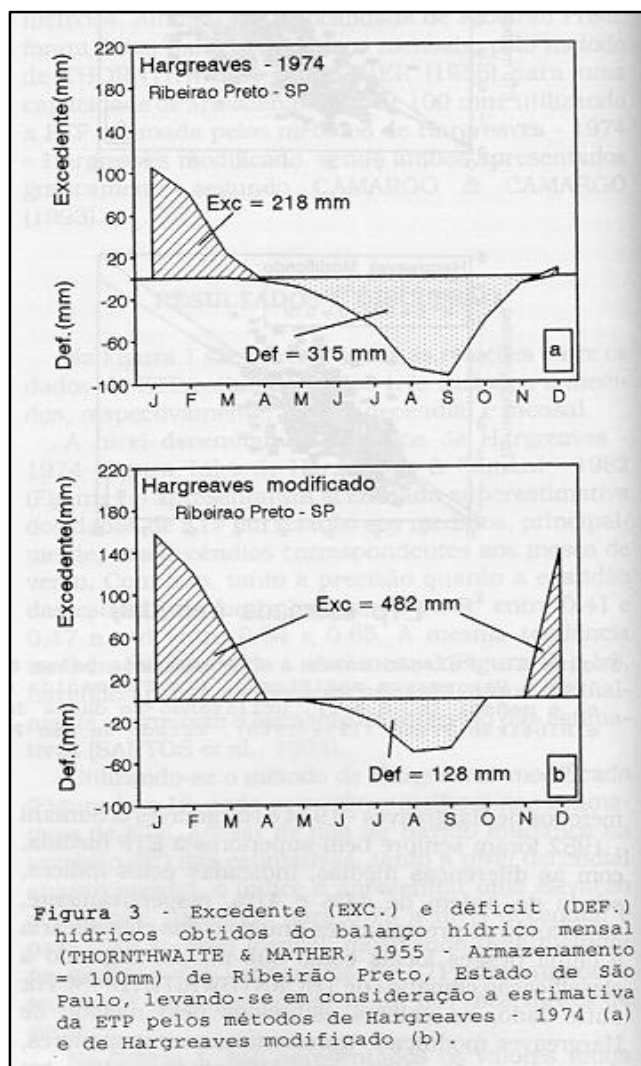
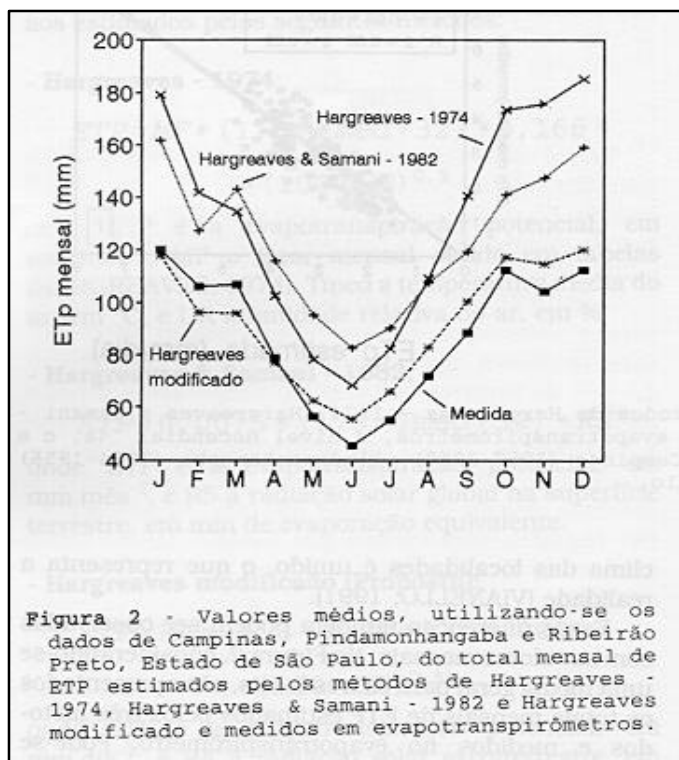


Figura 3 - Relação entre a ETP estimada pelos métodos de HARGREAVES - 1974, HARGREAVES & SAMANI - 1982 e HARGREAVES MODIFICADO, e a ETP medida em evapotranspirômetros, a nível decenal (a, c e e) = geral (b, d e f), utilizando-se dados de Campinas (1957-1960), Pindamonhangaba (1954-1960) e Ribeirão Preto (1958-1960), Estado de São Paulo.

Na Tabela 1, são apresentados os valores totais médios anuais de ETP, para cada uma das localidades analisadas, estimados pelos três métodos e medidos no evapotranspirômetro. As estimativas de ETP pelos métodos de Hargreaves - 1974 e Hargreaves & Samani - 1982 foram sempre bem superiores à ETP medida, com as diferenças médias, indicadas pelos índices, sendo da ordem de 47% e 41%, respectivamente, superando as precipitações anuais o que classificaria o clima desses locais como sub-úmido, segundo a classificação climática de THORNTHWAITE (1948). Por outro lado, os valores estimados pelo método de Hargreaves modificado apresentaram erros menores, da ordem de 19% em Campinas, 11% em Pindamonhangaba e apenas 1% em Ribeirão Preto, com os valores de ETP sendo

sempre inferiores aos totais anuais normais de chuva, indicando que o clima das localidades é úmido, o que representa a realidade (VIANELLO, 1991).

Essas diferenças também podem ser observadas com os valores mensais. Na Figura 2, considerando-se uma média geral para os três locais, são apresentados os totais mensais de ETP estimados pelos três métodos e medidos no evapotranspirômetro. Pode-se observar que a ETP estimada pelos métodos de Hargreaves - 1974 e Hargreaves & Samani - 1982 se mantiveram acima da ETP medida durante todos os meses do ano. Por outro lado, as estimativas de ETP pelo método simplificado ficaram bastante próximas dos valores medidos.



Na Figura 3 são apresentados os extratos do balanço hídrico, segundo método gráfico proposto por CAMARGO & CAMARGO (1993), da localidade de Ribeirão Preto, estimando-se a ETP pelos métodos de Hargreaves - 1974 (Figura 3a) e de Hargreaves modificado (Figura 3b). Utilizando-se a ETP estimada pelo método de Hargreaves - 1974 verifica-se que após alguns meses de excesso de água no solo

as deficiências hídricas se prolongam praticamente de abril a novembro, acumulando 315 mm. Isso inviabilizaria o cultivo de plantas perenes, como café, laranja e cana-de-açúcar, culturas normalmente encontradas nessa região. Já, o balanço hídrico que leva em consideração o método de Hargreaves modificado (Figura 3b), representa com mais fidelidade o que acontece em condições normais na região, com deficiências hídricas de inverno, maio a setembro, com um total normal de aproximadamente 130 mm, o que permite o cultivo das culturas acima citadas, expressando a realidade.

CONCLUSÕES

O presente estudo permite as seguintes conclusões:

- os métodos de estimativa da ETP de Hargreaves - 1974 e Hargreaves & Samani - 1982 não se mostram viáveis para as condições do Estado de São Paulo, superestimando demasiadamente esse elemento durante todos os meses do ano;

- o método de estimativa da ETP proposto neste trabalho (Hargreaves modificado) mostra-se viável de utilização nas condições do Estado de São Paulo, apresentando elevados níveis de concordância entre os dados estimados e medidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Altino Aldo Ortolani e ao Eng^o Agr^o José Ricardo Macedo Pezzopane, da Seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agrônomo, pela revisão do manuscrito e sugestões apresentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARGO, A. P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 21, n. 12, p. 163- 213, 1962.
- CAMARGO, A. P. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. Campinas, 3^a edição. Instituto Agrônomo, 24 p., 1971. (Boletim Técnico n^o 116).
- CAMARGO, M.B.P., CAMARGO, A.P. Representação gráfica informatizada do extrato do balanço hídrico de Thornthwaite & Mather. **Bragantia**, Campinas, v. 52, n. 2, p. 169-172, 1993.
- HARGREAVES, G. H. Estimation of potential and crop evapotranspiration. **Transactions of the ASAE**, St.Joseph, v. 17, n. 4, p. 701-704, 1974.

- HARGREAVES, G. H. **Climate and irrigation requirements for Brazil**. Logan: Utah State University, 1976. 44p.
- HARGREAVES, G. H. **Water requirements manual for irrigated crops and rainfed agriculture**. Logan: Utah State University, 1977. 41 p.
- HARGREAVES, G. H. Developing practical agroclimatic models for sorghum and millet. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF AGROMETEOROLOGY OF SORGHUM AND MILLET IN THE SEMI-ARID TROPICS, 1982, Patancheru, India. **Proceedings...**, Patancheru: ICRISAT, 1984. p. 183-188.
- HARGREAVES, G. H., SAMANI, Z. A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of the Irrigation and Drainage Division of the ASCE**, New York, v. 108, n. IR3, p. 223-230, 1982.
- MALEK, E. Comparison of alternative methods for estimating ETp and evaluation of advection in the Bajgah area, Iran. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 39, n. 1, p. 185-192, 1987.
- SANTOS, A.O., BERGAMASCHI, H., CUNHA, G. R. Avaliação de métodos para a estimativa da evapotranspiração máxima da alfafa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.2, p.37-42, 1994.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **The Geographical Review**, New York, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C. W., MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology. Laboratory of Climatology, New Jersey, v. 8, n. 1, 104 p. 1955.
- VIANELLO, R. L., ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1991. 449 p.
- WILLMOTT, C. J., ACKLESON, S. G., DAVIS, R. E., et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.