



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Comparação da estimativa de evapotranspiração de referência em Diamantina-MG



Camila Carvalho Chaves¹; Daniel Dantas²; Karine Rocha Santos³, Cristiano Christofaro⁴;

¹Graduanda em Eng. Florestal, UFVJM, Diamantina-MG Fone: (38)9982-7069, camilacarvalho.ufvjm@yahoo.com.br

²Graduando em Eng. Florestal, Depto. de Eng. Florestal, UFVJM, Diamantina-MG, dantasdaniel12@yahoo.com.br

³Graduanda em Eng. Florestal, UFVJM, Diamantina-MG, Fone: (38)9158-2421, karocho.floresta@hotmail.com

⁴Biólogo, Prof. Adjunto, Depto. de Eng. Florestal, UFVJM, Diamantina-MG, cristiano.christofaro@ufvjm.edu.br

RESUMO: A evapotranspiração de referência é um importante fator a ser considerado na caracterização climática local ou regional. O presente trabalho objetiva comparar o desempenho de quatro métodos diferentes para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) mensal, no município de Diamantina-MG. Os dados foram obtidos na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, localizada em Diamantina, a uma latitude de 18,25°S, longitude de 43,60°W e altitude de 1296,9 m, correspondendo ao período de 1961 a 2014. A evapotranspiração de referência foi estimada por quatro métodos distintos. Os resultados calculados juntamente com os dados de evaporação de Piché disponibilizados na estação meteorológica foram correlacionados entre si por meio do coeficiente de correlação de Spearman. Os valores médios anuais de ET_o obtidos no período foram 829 mm (Thornthwaite - Tw), 741 mm (Hargreaves - Hg), 853 mm (Droogers-Hargreaves - DH) e 638 mm (Penman-Monteith - PM). Já a evaporação de Piché, apresentou uma média anual de 1231 mm. Os melhores coeficientes de correlação em relação ao método PM foram obtidos para DH ($r_s = 0,901$) e Hg ($r_s = 0,898$), enquanto o método Tw apresentou baixo coeficiente de correlação com PM ($r_s = -0,051$). O método DH apresentou maior correlação com a evaporação de Piché ($r_s = 0,67$), quando comparada aos métodos Hg ($r_s = 0,49$), PM ($r_s = 0,59$) e Tw ($r_s = 0,14$). Assim, dada a facilidade de obtenção dos dados de entrada e a elevada correlação com o método PM, o método DH foi considerado como aquele que melhor representa a variabilidade dos dados. Outros estudos mais recomendados para caracterização da Evapotranspiração de referência na região estudada.

PALAVRAS-CHAVE: Thornthwaite, Hargreaves e Penman-Monteith

Comparison of the reference evapotranspiration estimated, in Diamantina-MG.

ABSTRACT: The reference evapotranspiration is an important factor to be considered in the local or regional climatic characterization. The objective of this work was to compare the performance of four different methods to estimate reference evapotranspiration (ET_o) monthly, in Diamantina-MG. Data were obtained from the meteorological station of Instituto Nacional de Meteorologia- INMET, located in Diamantina, at an latitude of 18°25 'S, longitude 43°30'W and altitude of 1296,9 m, corresponding to the period from 1961 to 2014. The reference evapotranspiration was estimated by four different methods. The results calculated with the Piché evaporation data published on the weather station were correlated by Spearman's correlation coefficient. The average annual values of ET_o obtained in the period were 829 mm (Thornthwaite - Tw), 741 mm (Hargreaves - Hg), 853 mm (Droogers-Hargreaves - DH) and 638 mm (Penman-Monteith - PM). Since the evaporation Piché, presented an annual average of 1231 mm. The best correlation coefficients with respect to the PM method DH were obtained ($r_s = 0.901$) and Hg ($r_s = 0.898$), whilst the Tw method showed low correlation coefficient with MW ($r_s = -0.051$). The DH method showed higher correlation with the evaporation Piché ($r_s = 0.67$) compared to the methods Hg ($r_s = 0.49$), PM ($r_s = 0.59$) and Tw ($r_s = 0.14$). Thus, given the ease of obtaining the input data and the high correlation with the MP method, the DH method was regarded as the one that best represents the



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



data variability. Other recommended more studies to characterize the reference evapotranspiration in the region studied.

KEYWORDS: Thornthwaite, Hargreaves e Penman-Monteith

INTRODUÇÃO

A determinação da quantidade de água perdida por evapotranspiração é fundamental para se conhecer o balanço hídrico de uma região, sendo um importante fator a ser considerado em classificações climáticas locais ou regionais. Essa perda afeta diretamente a dinâmica de bacias hidrográficas, a umidade atmosférica, a determinação da capacidade de reservatórios, o regime de chuvas, além de ser um dos principais parâmetros utilizados no planejamento, dimensionamento e manejo de um sistema de irrigação.

A evapotranspiração de referência (ET_o) é definida como aquela que ocorre em uma extensa superfície coberta com grama de 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água (Doorenbos & Pruitt, 1977). Bernardo et al. (1996) relatam que a ET_o pode ser determinada por métodos diretos e indiretos, sendo os métodos diretos os que utilizam lisímetros, parcelas experimentais no campo, controle de umidade do solo e método de entrada e saída de água em grandes áreas. No entanto, por apresentarem custos elevados, seu uso tem ficado restrito a instituições de pesquisas, tendo sua utilização justificada na calibração regional de métodos indiretos.

Diversos modelos indiretos têm sido propostos para a estimativa da ET_o, sendo diferenciados por suas concepções e número de variáveis envolvidas. Por exemplo, a equação de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), que considera a interatividade entre a base física e os parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos da planta. Por requerer várias informações climáticas, seu uso pode se tornar inviável devido à indisponibilidade e/ou à baixa qualidade das informações (Allen et al., 1998). Os métodos disponíveis incluem ainda a equação de Hargreaves (Hargreaves & Allen, 2003), em que a ET_o é calculada com base em valores da temperatura média do ar e da radiação solar global (R_s), o de Droogers-Hargreaves (Droogers & Allen, 2002) e Thornthwaite (Thornthwaite & Wilm, 1944), dentre outros.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é comparar o desempenho de cinco métodos diferentes, Thornthwaite (Tw), Hargreaves (Hg), Droogers-Hargreaves (DH), Penman-Monteith (PM) e Piché, para estimação da evapotranspiração de referência (ET_o) mensal, no município de Diamantina-MG.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados foram obtidos na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, localizada em Diamantina, a uma latitude de 18,25°S, longitude de 43,60°W e altitude de 1296,9 m, correspondendo ao período de 1961 a 2014. Foram utilizadas neste estudo as seguintes variáveis: velocidade média do vento (km/h), evaporação do Piché (mm), evapotranspiração potencial (mm), evapotranspiração real (mm), insolação total (h), nebulosidade média (%), precipitação total (mm), pressão atmosférica média (mbar), temperatura máxima média (graus Celsius), temperatura compensada média (graus Celsius), temperatura mínima média (graus Celsius) e umidade relativa (%).

Todo o processamento foi realizado com o auxílio do programa R, (R Core Team, 2014), utilizando o pacote SPEI (Vicente-Serrano et al., 2010).

A evapotranspiração potencial foi calculada utilizando-se os métodos Thornthwaite (Tw) (Thornthwaite & Wilm, 1944), Hargreaves (Hg) (Hargreaves & Allen, 2003), Droogers-Hargreaves

(DH)(Droogers & Allen, 2002) e Penman-Monteith (PM) (Allen et al., 1998). Os resultados calculados foram correlacionados, por meio do coeficiente de correlação de Spearman, aos dados de evaporação de Piché e ao método PM, utilizados como referência neste estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação em Diamantina pode ser dividida em duas estações bem definidas, a estação chuvosa, de outubro a março, e a estação seca, de abril a setembro. Sendo maior no mês de dezembro (269,8 mm) e menor em junho e julho (7 mm) (Tabela 1).

As médias anuais da evaporação de Piché e de PM, utilizados como referências neste estudo foram, respectivamente, de 1231,2 mm e 638 mm, com valor máximo de 136,6 mm no mês de agosto e mínimo de 82,7 mm em abril obtido pelo Piché e máximo de 82 mm no mês de janeiro e mínimo de 17 mm em julho obtido pelo método PM. Valores inferiores aos encontrados por Oliveira et al. (2005) em Goiânia-GO, em que a ETo máxima obtida por PM foi de 186 mm, no mês de março, e a mínima de 45 mm, no mês de maio. As médias mensais dos dados climáticos no período considerado neste estudo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Médias mensais dos dados climáticos no período de 1961 a 2014

Mês	TComp. (°C)	UR (%)	Piché (mm)	PM (mm)	Insolação (h/dia)	T.Mín (°C)	T.Máx (°C)	Precip. (mm)	Veloc. do vento (km/h)	Nebulosidade (%)
Janeiro	20,2	79,0	95,5	82	5,6	16,7	25,3	256,8	20,1	7,5
Fevereiro	20,5	75,9	100,7	66	5,9	16,6	25,8	133,2	18,9	6,9
Março	20,2	79,4	89,8	62	5,7	16,5	25,4	164,0	17,5	6,9
Abril	18,9	79,4	82,7	60	6,1	15,3	24,2	76,6	15,8	6,3
Mai	17,2	77,4	88,6	65	6,8	13,4	22,6	26,5	16,6	5,6
Junho	16,1	75,5	91,9	55	6,5	12,0	21,7	7,0	17,0	4,9
Julho	15,7	72,3	109,1	17	7,3	11,3	21,4	7,0	18,4	4,5
Agosto	16,8	67,2	139,6	21	7,8	12,0	23,0	11,2	19,6	4,3
Setembro	18,1	68,3	136,0	31	6,0	13,5	24,1	35,2	20,5	5,6
Outubro	19,3	72,7	120,9	34	5,6	15,1	25,0	117,4	19,3	6,8
Novembro	19,6	79,8	89,9	69	4,7	15,9	24,5	231,0	18,4	7,9
Dezembro	19,9	81,3	86,4	77	4,9	16,5	24,9	269,8	19,5	7,9
Média	18,6	75,9	1231,2	638	6,1	14,6	24,0	1335,7	18,5	6,3

Os métodos apresentaram estimativas significativamente diferentes entre si, de acordo com o teste “t” a 5% de significância. As médias anuais de evapotranspiração de referência variaram de 452,5 a 1175,2 mm, para os métodos de Hargreaves e Droogers-Hargreaves, respectivamente (Figura 1).

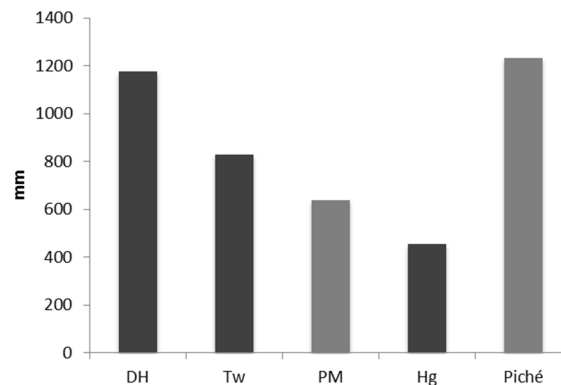


Figura 1. Médias anuais de evaporação de Piché e evapotranspiração de referência obtidas pelos métodos de Droogers-Hargreaves (DH), Thornthwaite (Tw), Penman-Monteith (PM) e Hargreaves (Hg) no período estudado.

Observa-se que para a Evaporação de Piché, os respectivos valores mínimo e máximo mensal médio foram de 83 mm para o mês de abril e 140 mm para o mês de agosto (Figura 2), com um valor médio ao longo do ano de 103 mm. Em relação aos métodos, os valores mínimos mensais de ETo estimada variaram de 14 mm para o método de Hg no mês de junho, a 72 mm para DH no mês de janeiro (Figura 2). Os valores máximos mensais das ETo estimadas variaram de 67 mm para Hg no mês de abril, a 131 para DH no mês de setembro (Figura 2).

Ao longo do ano, os valores médios de ETo que mais se aproximaram da Evaporação de Piché foram os de DH, em que é possível verificar um comportamento semelhante entre a ETo estimada e os valores de Evaporação (Figura 2), indicando que a utilização da precipitação como indicativo da insolação no método DH contribuiu para uma melhor representação da ETo. O método de Hg, que considera as temperaturas do ar e a latitude, foi o que mais se distanciou dos valores de Evaporação, apresentando as menores médias. Segundo Oliveira et al. (2005), essa discrepância nas estimativas pode estar relacionada a variações climáticas não consideradas pelo método de Hg ao longo do ano, como a precipitação e umidade relativa do ar.

Ainda de acordo com a figura 2, verifica-se que o comportamento sazonal entre os métodos e a Evaporação de Piché é mais semelhante no período chuvoso (outubro a novembro), e mais desigual no período seco (abril a setembro), em que a Evaporação apresentou seus maiores valores e os métodos de Tw, PM e Hg apresentaram as menores estimativas. O método de Thornthwaite apresentou tendências similares àquelas verificadas em um estudo no Estado de São Paulo, com resultados mais satisfatórios no período chuvoso e menos satisfatórios no período seco (Borges e Mediondo, 2007).

Tendo o método de PM como referência, verifica-se que Hg apresentou um comportamento sazonal mais semelhante, em que em ambos há uma redução nos valores de ETo entre os meses de maio e julho (Figura 2). No entanto, pode-se observar uma leve tendência de Hg subestimar os valores de ETo, resultado contrastante com o obtido por Oliveira et al. (2001), em que o método de Hg superestimou a ETo durante todos os meses do ano quando comparado com PM. Verifica-se uma tendência de superestimativa da ETo obtidas por Tw e DH, em relação a PM, principalmente nos meses de julho a outubro. Apenas no mês de janeiro o método de PM apresentou uma estimativa de ETo maior que todos os outros métodos.

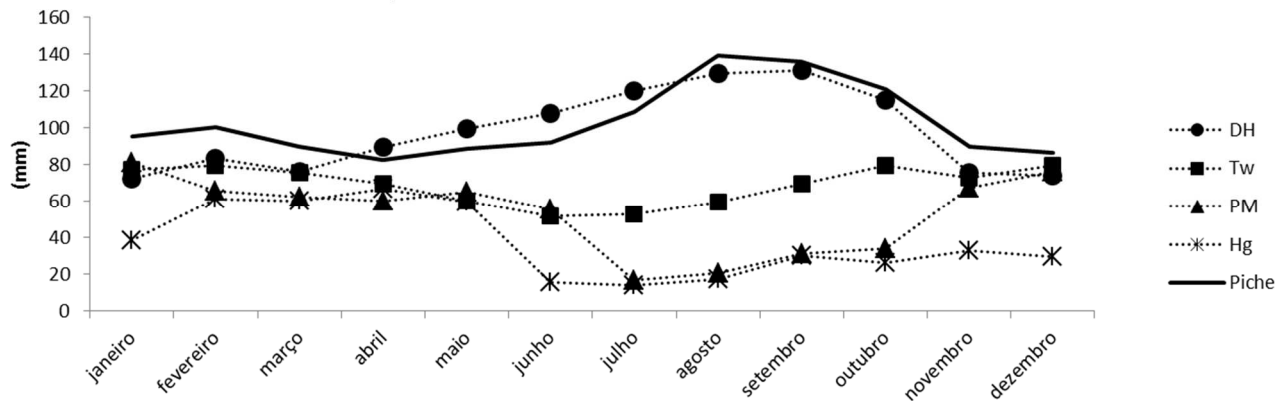


Figura 2. Médias mensais de evaporação de Piché e evapotranspiração de referência obtidas pelos métodos de Droogers-Hargreaves (DH), Thornthwaite (Tw), Penman-Monteith (PM) e Hargreaves (Hg) no período estudado.

O índice de correlação de Spearman indicou baixa correlação entre a Evaporação de Piché e o método de Tw ($r_s = 0,14$), e maiores correlações com os métodos de Hg ($r_s = 0,49$), PM ($r_s = 0,59$) e DH ($r_s = 0,67$). Já o método de PM apresentou altas correlações com os métodos de DH ($r_s = 0,90$) e Hg ($r_s = 0,90$), e baixa correlação com o método de Tw ($r_s = -0,05$), sendo estas as maiores e a menor correlações verificadas neste estudo. O método de Tw apresentou as menores correlações com os outros métodos e a Evaporação de Piché. Enquanto DH apresentou as maiores correlações com PM e a evaporação de Piché, isso pode ser explicado pela formulação desse modelo, que envolve o balanço de radiação, que segundo Pereira et al. (1997) e Bonomo (1999) é responsável por 80% da ETo.

Tabela 2. Matriz de correlação entre os métodos de estimação de ETo, Thornthwaite (Tw), Hargreaves (Hg), Droogers-Hargreaves (DH) e Penman-Monteith (PM) e a Evaporação de Piché

	Hg	DH	Tw	PM	Piché
Hg	1,000	0,804	0,206	0,898	0,493
DH	0,804	1,000	-0,106	0,901	0,667
Tw	0,206	-0,106	1,000	-0,051	0,143
PM	0,898	0,901	-0,051	1,000	0,593
Piché	0,493	0,667	0,143	0,593	1,000

CONCLUSÕES

Pode-se considerar que o método de DH representou melhor a variabilidade da ETo quando comparado ao PM e à evaporação de Piché. Assim, dada a maior facilidade de obtenção dos dados de entrada para este método, recomenda-se sua utilização na caracterização da Evapotranspiração de Referência na região estudada.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration** - guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 297 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



BERNARDO, S.; SOUSA, E.F.; CARVALHO, J.A. **Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), para as “áreas de baixada e de tabuleiros” da região Norte Fluminense.** Campos dos Goytacazes: UENF, 1996. 14p. (Boletim Técnico).

BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de Cerrado de Minas Gerais.** 1999. 224p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

BORGES, A.C.; MEDIONDO, E.M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 293–300, 2007.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. **Crop water requirement.** Rome: FAO, 1977. 144p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).

DROOGERS, P.; ALLEN, R.G. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. **Irrigation and Drainage Systems**, [local desconhecido], v. 16, n. 1, p. 33–45, 2002.

HARGREAVES, G. H.; ALLEN, R. G. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 129, n. 1, p. 53-63, 2003.

OLIVEIRA, L. F. C. et al. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 121-126, jul/dez, 2001.

OLIVEIRA, R. Z. et al. Comparação de metodologias de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Goiânia, GO. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 19-27, 2005.

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

VICENTE-SERRANO, S.M; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J.I.A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. **Journal of Climate**, v. 23, n. 7, p. 1696-1718, 2010.

THORNTHWAITE, C. W.; WILM, H. G. Report of the committee on evapotranspiration and transpiration 1943-1944. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v.25, n. 5, p.686-693, 1944.