

AVALIAÇÃO DE MODELOS NA ESTIMATIVA DA EVAPORAÇÃO NOS RESERVATÓRIOS DE SOBRADINHO E TRÊS MARIAS

NAYARA P. A. VIEIRA¹, SILVIO B. PEREIRA², MAURO A. MARTINEZ³, FELIPE
B. SILVA⁴, DEMÉTRIUS D. DA SILVA⁵

¹Engenheira Agrônoma, Doutoranda em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, UFPA, nayara.paula.ufpa@gmail.com;

²Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, UFV, silviopereira@ufv.br;

³Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, UFV, mmauro@ufv.br;

⁴Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Engenharia Agrícola, UFV, felipe.bernardes.ufv@hotmail.com;

⁵Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, UFV, demetrius@ufv.br.

Apresentado no

XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: A evaporação é um dos principais processos envolvidos no balanço hídrico. Por conseguinte, objetivou-se estimar a evaporação nos reservatórios de Sobradinho e de Três Marias, localizados no rio São Francisco, a partir da aplicação dos modelos Penman, Linacre, Kohler, Thornthwaite e Complementary Relationship Lake Evaporation - CRLE e pelo método do Tanque Classe A – ECA (com coeficientes de tanque de 0,4, 0,6 e 0,8), e comparar os resultados dos diferentes métodos, adotando-se Penman como referência. A evaporação anual, estimada pelo modelo de Penman, para o reservatório de Sobradinho foi de 2.108 mm, a máxima foi de 2.690 mm e a mínima foi 1.330 mm estimada pelo ECA $k_p=0,8$ e ECA $k_p=0,4$, respectivamente. Para o reservatório de Três Marias a evaporação anual estimada pelo modelo de Penman foi de 1.615 mm, a máxima foi de 1.754 mm e a mínima foi 1.253 mm, estimada pelos modelos Linacre e Thornthwaite, respectivamente. O método que proporcionou resultados mais próximos daqueles obtidos por Penman, no reservatório de Sobradinho, foi o do ECA $k_p=0,6$, já em Três Marias foram os modelos Penman e CRLE, que apresentaram resultados de evaporação estatisticamente iguais.

PALAVRAS-CHAVE: Modelos Evaporimétricos, Parâmetros Meteorológicos, Rio São Francisco.

THE MODELS EVALUATION OF EVAPORATION ESTIMATIVE IN SOBRADINHO AND TRÊS MARIAS RESERVOIRS

ABSTRACT: Evaporation is one of the processes in the water balance. Therefore, the aims of this research were to estimate the evaporation at the Sobradinho and the Três Marias Reservoirs, located at the São Francisco River using the Penman, Linacre, Kohler, Thornthwaite, Complementary Relationship Lake Evaporation – CRLE models and the Class A pan methodology (with pan coefficients (k_p) of 0.4, 0.6, and 0.8), and compare the results obtained by the different methods to those obtained with the Penman method. The annual evaporation estimated by the Penman model for the Sobradinho reservoir was 2,108 mm, and the higher and lowest evaporations were 2,690 mm and 1,330 mm, estimated by the Class A pan with $k_p = 0.8$ and $k_p = 0.4$, respectively. For the Três Marias reservoir, annual evaporation estimated by the Penman model was 1,615 mm while the higher and lowest evaporations were 1,754 mm and 1,253 mm estimated by Linacre and Thornthwaite models, respectively. The method that provided evaporation estimations closest to the one obtained by Penman, at the Sobradinho reservoir, was the Class A pan using $k_p = 0.6$, for the Penman and CRLE models estimated statistically equal evaporation results in Três Marias.

KEYWORDS: Evaporimetricos Models, Meteorological Parameters, São Francisco River.

INTRODUÇÃO

A evaporação é um processo complexo que envolve o transporte simultâneo de massa e de energia (DIAS, 1986). A estimativa da evaporação, pode ser realizada pela utilização de modelos fundamentados no balanço de energia, nos processos de transferência, balanço hídrico, métodos aerodinâmicos e métodos combinados por meio de formulações empíricas ou semi-empíricas, e pelos tanques de evaporação (LEÃO et al., 2013).

Os métodos baseados no balanço de energia, os aerodinâmicos e os combinados são muito utilizados, sendo, muitos deles, derivados de um método ou de uma equação que serve de alicerce, como o que ocorre com as equações de Dalton e de Penman. Já as formulações empíricas ou semi-empíricas são comuns não só para determinar os diferentes coeficientes para os modelos teóricos, mas também para a parametrização dos modelos evaporimétricos (OLIVEIRA, 2009).

Um dos principais problemas na utilização de modelos na estimativa da evaporação é a falta de monitoramento dos dados meteorológicos sobre a superfície do reservatório, bem como medições dos perfis da temperatura da água, que informam a energia armazenada no corpo d'água, responsável por parte da evaporação (FONTES, 2005). Dessa forma, a maioria dos métodos disponíveis estima a evaporação a partir de observações de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar ou utiliza medidas de tanques de evaporação alocados em estações meteorológicas no ambiente terrestre (REIS; DIAS, 1998).

São disponíveis uma vasta gama de modelos para predição da evaporação em reservatório que se baseiam em informações meteorológicas, são eles: os propostos por PENMAN (1948), LINACRE (1993), KOHLER et al. (1955) e MORTON (1983a), entre outros (PEREIRA et al., 2009).

Dessa forma, objetivou-se estimar a evaporação nos reservatórios de Sobradinho e de Três Marias, localizados no rio São Francisco, a partir da aplicação dos modelos Penman, Linacre, Kohler, Thornthwaite e Complementary Relationship Lake Evaporation - CRLE e pelo método do Tanque Classe A – ECA (com coeficientes de tanque de 0,4, 0,6 e 0,8), e comparar os resultados dos diferentes métodos, adotando-se Penman como referência.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados meteorológicos para estimar a evaporação nos reservatórios de Sobradinho e Três Marias foram obtidos na CHESF (Companhia Hidrelétrica do São Francisco) e CEMIG (Companhia Energética do Estado de Minas Gerais). As informações referentes às estações utilizadas encontram-se na TABELA 1.

TABELA 1. Estações meteorológicas utilizadas. **Meteorological stations used for evaporation estimates.**

| Estação | Latitude | Longitude | Altitude | Período (19../ 20..) |
|-------------|-------------|-------------|----------|---------------------------------|
| Sobradinho | -09°25'59'' | -40°49'40'' | 371 | 80, 84, 86-91, 94, 96-98, 03-12 |
| Três Marias | -18°12'54'' | -45°15'33'' | 597 | 00, 01, 02 |

A estimativa da evaporação foi realizada com base nos modelos: PENMAN et al. (1948), LINACRE et al. (1993), KOHLER et al. (1995), THORNTHWAITTE (1948), modelo conceitual de relação complementar (CRLE) e tanque Classe A (ECA). As equações de cada modelo podem ser encontradas em Vieira (2015). No presente trabalho, o modelo de PENMAN et al. (1948) foi adotado como referência por apresentar uma base física mais realista e ser citado em várias literaturas como o que melhor representa a evaporação quando comparado ao método-padrão.

Foram avaliados diferentes valores do coeficiente (0,4, 0,6 e 0,8) a fim de verificar se para regiões áridas e semiáridas o valor 0,6 é o mais representativo, como referenciado na

literatura (PEREIRA et al., 2009). Esse método foi utilizado apenas para a estação Sobradinho, pois era a única que possuía dados de evaporação obtidos do tanque Classe A.

A comparação dos resultados obtidos com os diversos modelos e o tanque classe A com os resultados obtidos com o modelo de PENMAN et al. (1948) foi feita por meio do ajuste de um modelo de regressão linear simples. Neste modelo, a constante β_0 foi considerada nula, e o coeficiente angular β_1 foi testado a 5% de probabilidade, pelo teste “t”, para avaliar se ele é estatisticamente igual à unidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evaporação no reservatório de Sobradinho, estimada pelos modelos PENMAN et al. (1948), LINACRE et al. (1993), KOHLER et al. (1995), THORNTHWAITE (1948) e CRLE, e pelo método do tanque Classe A (ECA), utilizando três valores de coeficiente de tanque (k_p) 0,4, 0,6 e 0,8 estão ilustrados na FIGURA 1.

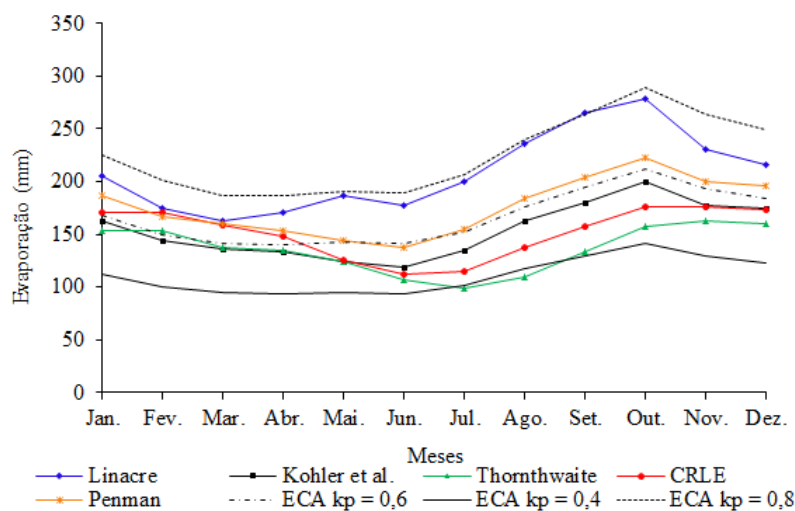


FIGURA 1. Evaporação mensal média (mm) no reservatório de Sobradinho para o período de 1980 a 2012.

Em outubro todos os modelos atingiram a máxima evaporação, mantendo altas taxas até meados de janeiro, diminuindo, a partir daí, ao longo dos meses, até atingir o valor mínimo no inverno, apresentando, portanto, comportamento similar ao modelo de PENMAN et al. (1948). O tanque Classe A ($k_p = 0,6$), ao longo do ano, foi o método que apresentou comportamento mais próximo e similar ao modelo de PENMAN et al. (1948) (FIGURA 1).

Na FIGURA 1 é evidenciado um expressivo aumento da evaporação mensal a partir do mês de julho, em quase todos os modelos, com exceção do modelo THORNTHWAITE (1948), no qual o aumento ocorre a partir de agosto. Em novembro ocorre o valor máximo de evaporação para THORNTHWAITE (1948), e para os demais modelos, ele é atingido no mês de outubro. O pico de evaporação no mês de outubro é justificado pela incidência de maiores valores de insolação, temperatura e velocidade do vento, associados com a baixa precipitação (VIEIRA, 2015). A partir daí a redução nas taxas de evaporação mensal prolonga-se até junho.

Ainda de acordo com a FIGURA 2, em junho, as taxas de evaporação foram mínimas em quase todos os modelos, com exceção de LINACRE et al. (1993), que foi em março, e THORNTHWAITE (1948), que foi em julho. Junho, o mês de menor evaporação para a maioria dos modelos, correspondeu ao final do período chuvoso. Segundo VIEIRA (2015), esse mês é caracterizado por baixos valores de precipitação, temperatura e insolação, bem

como velocidade do vento, correspondente à média anual da região. YU et al. (2011), realizou um estudo de evaporação e balanço de energia para um lago do Tibet-Himalaya e constataram que diminuições na insolação, temperatura e velocidade do vento acarretavam uma redução na taxa de evaporação, corroborando os resultados encontrados.

O fato de o modelo de THORNTHWAITE (1948) considerar apenas os valores de temperatura média do ar pode explicar a menor taxa de evaporação estimada em julho, já que neste mês a temperatura média do ar é a menor do ano.

Os valores de evaporação anual no reservatório de Sobradinho encontram-se dispostos, em ordem decrescente, na TABELA 2.

Com base nos valores de evaporação anual (mm) fica evidente que o método do tanque Classe A ($k_p = 0,6$) e os modelos KOHLER et al. (1995) e CRLE foram os que apresentaram resultados mais semelhantes ao de PENMAN et al. (1948) (TABELA 2). O Classe A ($k_p = 0,6$) foi o método que obteve o resultado mais próximo a PENMAN et al. (1948). O uso do coeficiente do tanque igual a 0,4 e 0,8 é o que fornece resultados mais divergentes em relação à PENMAN et al. (1948), com diferenças anuais de 778,2 mm e 528,4 mm, respectivamente.

TABELA 2. Evaporação anual (mm) no reservatório de Sobradinho para o período de 1980 a 2012. **Annual evaporation (mm) in Sobradinho reservoir for the period of 1980 to 2012.**

| Modelos | Evaporação anual (mm) |
|-------------------------------|-----------------------|
| Tanque Classe A ($k_p=0,8$) | 2.690,4 |
| Linacre | 2.505,0 |
| Penman | 2.108,0 |
| Tanque Classe A ($k_p=0,6$) | 1.994,7 |
| Kohler et al. | 1.846,4 |
| CRLE | 1.819,0 |
| Thornthwaite | 1.632,0 |
| Tanque Classe A ($k_p=0,4$) | 1.329,8 |

As estimativas dos coeficientes angulares ($\hat{\beta}_1$) das equações de regressão entre os valores de evaporação estimados pelo modelo de PENMAN et al. (1948) e os outros modelos estão dispostos na TABELA 3.

Com base nos resultados da TABELA 3, é notório que nenhum dos modelos obteve resultados estatisticamente iguais ao modelo de PENMAN et al. (1948). O modelo LINACRE et al. (1993) e o método do tanque Classe A, utilizando o coeficiente igual a 0,8, são os únicos que estimam valores de evaporação superiores. A maior discrepância foi proporcionada pelo ECA ($k_p = 0,8$), no qual a evaporação é superestimada em 28%, enquanto LINACRE et al. (1993), superestima em 19%.

Os resultados obtidos pelos modelos KOHLER et al. (1995), CRLE, THORNTHWAITE (1948) e pelo método tanque Classe A com $k_p = 0,6$ e $k_p = 0,4$ são subestimados em relação a PENMAN et al. (1948). A maior diferença nos resultados é com relação ao ECA ($k_p = 0,4$) e THORNTHWAITE (1948), nos quais os valores encontrados são inferiores a PENMAN et al. (1948) em 37% e 23%, respectivamente. Já os modelos CRLE, KOHLER et al. (1995) e ECA ($k_p = 0,6$) subestimaram os valores obtidos de PENMAN et al. (1948) em 14%, 12% e 6%, respectivamente.

TABELA 3. Valores de $\hat{\beta}_1$ estimados a partir da comparação dos resultados dos outros modelos com aqueles obtidos com Penman, por meio da equação da reta $\hat{Y} = \hat{\beta}_1 X$, para o reservatório de Sobradinho – BA. **Estimated values of $\hat{\beta}_1$ based on comparison of the results of other models with those obtained by the Penman model, by means of the line equation $\hat{Y} = \hat{\beta}_1 X$ for Sobradinho reservoir, in Bahia state, Brazil.**

| Modelos | Penman |
|---------------|--------|
| Linacre | 1,187* |
| Kohler et al. | 0,878* |
| Thornthwaite | 0,769* |
| CRLE | 0,859* |
| ECA 0,4 | 0,63* |
| ECA 0,6 | 0,945* |
| ECA 0,8 | 1,276* |

* a diferença entre os modelos é significativa pelo teste t a 5% de probabilidade, ^{ns} os modelos não diferem significativamente pelo teste t a 5% de probabilidade.

Com base nos diferentes coeficientes do tanque utilizados, o que melhor representou o processo evaporativo para a região de Sobradinho foi $k_p = 0,6$, uma vez que o $k_p = 0,8$ estimou lâminas superiores em relação a todos os modelos, e o $k_p = 0,4$ estimou lâminas inferiores, além de ser o coeficiente que estima resultados próximos ao modelo de PENMAN et al. (1948). Tais resultados corroboram as pesquisas científicas que apontam o coeficiente de 0,6 como o mais representativo para regiões áridas. PEREIRA et al. (2009) indicaram o coeficiente de 0,57 como o mais representativo para o lago de Sobradinho, reafirmando o resultado encontrado no presente trabalho.

Aplicando a equação de PENMAN et al. (1948) RIMMER et al. (2009) estimaram as taxas de evaporação para o lago Kinneret, Israel, e observaram que os resultados da evaporação da água no lago, quando a mudança de calor armazenado é desconsiderada, são muito semelhantes à evaporação medida no tanque Classe A com coeficiente 0,6, da mesma forma que no presente trabalho.

Na FIGURA 3, estão apresentadas as estimativas da evaporação para o reservatório de Três Marias – MG, pelos modelos PENMAN et al. (1948), LINACRE et al. (1993), KOHLER et al. (1995), THORNTHWAITE (1948) e CRLE.

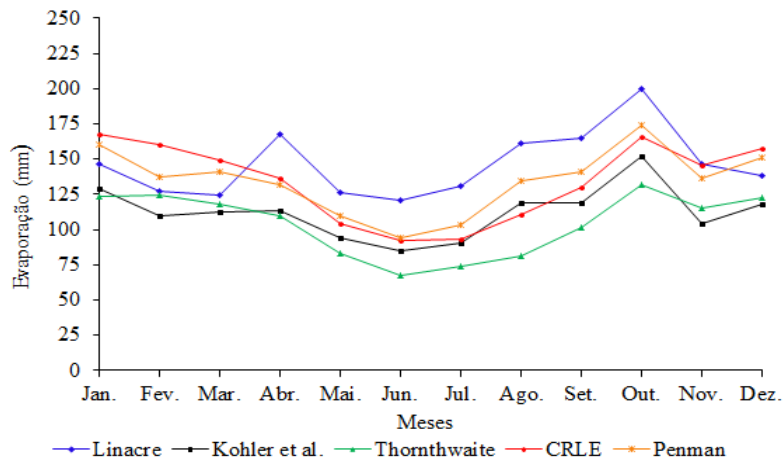


FIGURA 2. Evaporação mensal média (mm) no reservatório de Três Marias para os períodos de 2000, 2001 e 2002.

Na FIGURA 2, constata-se expressivo aumento da evaporação mensal a partir do mês de julho, em todos os modelos, até o mês de outubro. A partir do mês de janeiro, os valores de evaporação apresentam ligeiro decréscimo até abril, tornando-se mais acentuados até junho. Neste mês ocorre o valor mínimo, para todos os modelos, mês em que os menores índices de insolação, temperatura e velocidade do vento, aliados à baixa precipitação, foram registrados. THORNTHWAITE (1948) estimou a menor taxa de evaporação e LINACRE et al. (1993), a taxa de evaporação mais elevada em junho.

Para a maioria dos modelos a evaporação máxima foi observada em outubro, com exceção do modelo CRLE, no qual foi verificada no mês de janeiro (FIGURA 3). Em conformidade com VIEIRA (2015), em outubro, ocorreram os maiores valores de insolação e temperatura, a velocidade do vento ficou próxima da média anual e a precipitação ainda encontrava-se baixa na região. Um pico de evaporação no modelo de LINACRE et al. (1993) é evidenciado em abril, o que pode ser justificado pelo fato de o modelo levar em consideração a precipitação, já que no mês de abril não há ocorrência de precipitação em Três Marias.

Na TABELA 4 os valores de evaporação anual no reservatório de Sobradinho encontram-se dispostos, em ordem decrescente.

TABELA 4. Evaporação anual (mm) no reservatório de Três Marias para o período de 2000, 2001 e 2002. **Annual evaporation (mm) in Três Marias reservoir for the period of 2000, 2001, and 2002.**

| Modelos | Evaporação anual (mm) |
|---------------|-----------------------|
| Linacre | 1.754,3 |
| Penman | 1.615,0 |
| CRLE | 1.613,0 |
| Kohler et al. | 1.345,7 |
| Thornthwaite | 1.253,0 |

Com base nos valores de evaporação anual (mm), apresentados na TABELA 3, o modelo CRLE apresentou uma diferença de apenas 2 mm em relação à PENMAN et al. (1948). Os demais modelos obtiveram valores mais distintos de evaporação anual. O modelo que mais diferiu de PENMAN et al. (1948) foi THORNTHWAITE (1948), que estimou uma lâmina evaporada anual 362 mm menor que a de PENMAN et al. (1948).

As estimativas dos coeficientes angulares ($\hat{\beta}_1$) das equações de regressão entre os valores de evaporação estimados pelo modelo de PENMAN et al. (1948) e os outros modelos estão dispostos na TABELA 3.

TABELA 5. Valores de $\hat{\beta}_1$ estimados a partir da comparação dos resultados dos outros modelos com aqueles obtidos com Penman, por meio da equação da reta $\hat{Y} = \hat{\beta}_1 X$, para o reservatório de Três Marias – MG. **Estimated values of $\hat{\beta}_1$ based on comparison of the results of other models with those obtained by the Penman model, by means of the line equation $\hat{Y} = \hat{\beta}_1 X$ for Três Marias reservoir, in Minas Gerais state, Brazil.**

| Modelos | Penman |
|---------------|---------------------|
| Linacre | 1,094* |
| Kohler et al. | 0,831* |
| Thornthwaite | 0,778* |
| CRLE | 1,001 ^{ns} |

* a diferença entre os modelos é significativa pelo teste t a 5% de probabilidade, ^{ns} os modelos não diferem significativamente pelo teste t a 5% de probabilidade.

A partir dos resultados apresentados na TABELA 6, fica comprovado que os modelos de PENMAN et al. (1948) e CRLE estimam valores de evaporação que não diferem estatisticamente. O único modelo que superestima a evaporação calculada por PENMAN et al. (1948) é o modelo LINACRE et al. (1993), com a magnitude de 9%. Já os modelos KOHLER et al. (1995) e THORNTHWAITE (1948) subestimam as lâminas evaporadas em 17% e 22%, respectivamente.

De modo geral, o modelo LINACRE et al. (1993) tendeu a maior estimativa da evaporação para o reservatório de Sobradinho e Três Marias. As menores estimativas, para ambos os reservatórios, foram observadas no modelo de THORNTHWAITE (1948).

VAREJÃO-SILVA (2006) fez críticas relacionadas à equação de THORNTHWAITE (1948), alertando que este método fornece apenas uma aproximação da ordem de grandeza que se deseja conhecer, pois não considera inúmeros fatores intervenientes no processo de evaporação. ROSENBERRY et al. (2007), testando 15 métodos para estimar a evaporação em um lago localizado em uma região de clima úmido e continental, constataram que o modelo de THORNTHWAITE (1948) forneceu estimativas precisas da evaporação na região, ao contrário do observado no presente trabalho, indicando que, para regiões de climas semiáridos e áridos, o modelo tende a subestimar os resultados.

CONCLUSÕES

Em relação ao modelo de PENMAN et al. (1948) os resultados apresentados permitem as seguintes conclusões:

- o modelo LINACRE et al. (1993) superestima os resultados de evaporação em ambos os reservatórios;
- os modelos KOHLER et al. (1995) e THORNTHWAITE (1948) subestimam os resultados de evaporação em ambos os reservatórios;
- o modelo Complementary Relationship Lake Evaporation (CRLE) subestima os resultados de evaporação para o reservatório de Sobradinho, para Três Marias estimam resultados estatisticamente iguais;
- o método do tanque Classe A, com $K_p = 0,6$, apresenta resultado mais próximo ao

de PENMAN et al. (1948) para o reservatório de Sobradinho.

REFERÊNCIAS

DIAS, N.L.C. *Estimativas climatológicas de evaporação em lagos*. 1986. 175 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 1986.

FONTES, A.S. *Estudo da evaporação em reservatórios situados em região semi-árida: uso de bacia experimental*. 2005. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2005.

KOHLER, M.A.; NORDENSEN, T.J.; FOX, W.E. Evaporation from pans and lakes, U.S. *Weather Bureau Research*, n. 38, p. 1-21, 1955. (Paper 38).

LINACRE, E.T. Data-sparse estimation of lake evaporation using a simplified Penman equation. Elsevier Science Publishers B.V. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 64, p. 237-256, 1993.

LEÃO, R.A.O.; SOARES, A.A.; TEIXEIRA, A.S.; SILVA, D.D. Estimativa da evaporação no açude Banabuiú, no Estado do Ceará, por diferentes métodos combinados, derivados da equação de Penman. *Engenharia Agrícola*, v. 33, n. 1, p. 129-144, 2013.

MORTON, F.I. Operational estimates of lake evaporation. *Journal of hydrology*, v. 66, p. 77-100, 1983.

OLIVEIRA, G.X.S. *Relações entre medidas de evaporação de superfícies de água livre por evaporímetros e estimativas por métodos meteorológicos em duas regiões do Estado de São Paulo*. 2009. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2009.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society*, v. 193, p. 120-145, 1948.

PEREIRA, S.B.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; RAMOS, M.M. Evaporação líquida no lago de Sobradinho e impactos no escoamento devido à construção do reservatório. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 3, p. 346-352, 2009.

REIS, R.J.; DIAS, N.L. Multi-season lake evaporation: energy-budget estimates and CRLE model assessment with limited meteorological observations. *Journal of Hydrology*, v. 208, p. 135-147, 1998.

RIMMER, A.; SAMUELS, R.; LECHINSKY, Y. A comprehensive study across methods and time scales fluxes from Lake Kinneret, Israel. *Journal of Hydrology*, v. 379, p. 181-192, 2009.

ROSENBERRY, D.O.; WINTER, T.C.; BUSO, D.C.; LIKENS, G.E. Comparison of 15 evaporation methods applied to a small mountain lake in the northeastern USA. *Journal of Hydrology*, v. 340, p. 149-166, 2007.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geography Review*, v. 38, p. 55-94, 1948.

VAREJÃO-SILVA, M.A. *Meteorologia e Climatologia*. Recife: 2006. 443 p. Versão Digital 2.

VIEIRA, N.P.A. *Estimativa de evaporação nos reservatórios de Três Marias – MG e Sobradinho – BA*. 2015. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

YU, S.; LIU, J.; XU, J. Evaporation and energy balance estimates over a large inland lake in the Tibet-Himalaya. *Environ Earth Sci*, v. 64, p. 1169-1176, 2011.