

ESTIMATIVA DA EVAPORAÇÃO LÍQUIDA NO LAGO DE SOBRADINHO¹

SILVIO B. PEREIRA², FERNANDO F. PRUSKI³, DEMETRIUS D. SILVA⁴, MÁRCIO M. RAMOS⁵

¹ Parte da tese de doutorado do primeiro autor.

² Eng^o Agrônomo, Pesquisador DCR/CNPq, Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD, Dourados – MS, Fone (67) 3411 3834, *sbueno@ceud.ufms.br*.

³ Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG.

⁴ Eng^o Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG.

⁵ Eng^o Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG.

**Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 4 de agosto de 2006 – João Pessoa – PB**

RESUMO: Um dos problemas existentes na gestão de recursos hídricos são as perdas de água por evaporação nos reservatórios de regularização. Com base nesse enfoque este trabalho teve como objetivo estimar a evaporação líquida no reservatório de Sobradinho por meio da metodologia do tanque Classe A e dos modelos Linacre, Kohler et al. e CRLE. Os resultados permitiram concluir que: Os valores obtidos pelo modelo Kohler et al. podem ser utilizados como base de referência para a estimativa da evaporação média anual do lago de Sobradinho; o coeficiente de tanque Classe A que melhor representou a variação sazonal de evaporação no lago de Sobradinho foi de 0,57; e a vazão média anual correspondente à evaporação líquida do reservatório de Sobradinho foi de $132 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

PALAVRAS-CHAVE: aproveitamento hidrelétrico, evaporação em lagos, recursos hídricos.

ESTIMATE OF THE EVAPORATION NET IN THE SOBRADINHO RESERVOIR

ABSTRACT: One the problems that exist in the administration of resources hydric is the losses of water for evaporation in the regularization reservoirs. This paper had the objective to esteem the net evaporation at lake Sobradinho through the Class A tank methodology and the Linacre, Kohler et al. and CRLE models. The following conclusions were: The values obtained by the Kohler et al. model can be used as reference base to estimate the annual average evaporation of lake Sobradinho; the coefficient of Class A tank that represented better the seasonal variation of evaporation in the lake Sobradinho was 0,57; and the annual average flow corresponding to net evaporation of Sobradinho reservoir was $132 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

KEY WORDS: hydroelectric power, regulated flow, water resources.

INTRODUÇÃO: Em 1973, a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) começou a construção do reservatório de Sobradinho, cujo lago formado, em 1979, e com a superfície de 4.214 km^2 é um dos maiores lagos artificiais do mundo, servindo como reservatório de regularização plurianual. O reservatório de Sobradinho localiza-se no Submédio São Francisco, a cerca de 40 km a montante das cidades de Juazeiro (BA) e Petrolina (PE), sendo sua potência instalada de 1.050 MW (CORREIA e DIAS, 2003). Um fator de grande importância na análise da vazão máxima permissível para a concessão de outorga são as perdas de água por evaporação nos reservatórios de regularização. A obtenção dos valores de evaporação permite avaliar a quantidade de água que se perde ou se ganha com a construção de um reservatório (KAN e DIAS, 1999). Portanto, estimativas confiáveis de evaporação nos reservatórios são essenciais tanto no planejamento e gerenciamento dos recursos

hídricos como em estudos de impacto ambiental. Com base neste enfoque o presente trabalho teve como objetivo estimar a evaporação líquida no lago de Sobradinho por meio da metodologia do tanque Classe A e dos modelos Linacre, Kohler et al. e CRLE.

MATERIAL E MÉTODOS: A estimativa da evaporação no lago de Sobradinho foi calculada pelos modelos do tanque Classe A (ECA), LINACRE (1993), KOHLER et al. (1955) e CRLE, proposto por MORTON (1983). Os coeficientes de tanque normalmente utilizados para a estimativa da evaporação em lagos são de 0,6 a 0,8. Neste trabalho adotou-se o coeficiente de 0,6 em função de ser este o valor mais comum em regiões áridas, como é o caso do reservatório de Sobradinho. As equações utilizadas para a estimativa da evaporação por meio dos modelos Linacre e Kohler et al. correspondem a uma adaptação da equação de Penman feita a partir de várias observações de evaporações em lagos. A equação utilizada para estimar a evaporação, pelo modelo CRLE, foi obtida da modificação da equação de Priestley e Taylor (MORTON, 1983) feita para atender ao modelo CRLE. A estimativa da evapotranspiração real relativa ao período anterior à construção do reservatório de Sobradinho foi realizado por meio do método do balanço hídrico climatológico, proposto por Thorntwaite e Mather (1955), sendo a evapotranspiração potencial, parâmetro de entrada no modelo, estimada pela metodologia proposta por Penman-Monteith, contida na publicação da FAO 56 (ALLEN et al., 1998). Os valores de evaporações líquidas médias mensais para o reservatório de Sobradinho foram obtidos pela diferença entre a evaporação do lago, estimada por meio dos modelos climatológicos, e a evapotranspiração real na área correspondente ao reservatório de Sobradinho antes da sua construção. Para o período anterior a construção do reservatório utilizou-se as informações climatológicas fornecidas pela Agência Nacional das Águas (ANA) e para o período posterior pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF). Foi realizada a análise de sensibilidade para os modelos Linacre, Kohler et al. e CRLE, conduzida para os parâmetros de entrada dos modelos, tais como: precipitação, temperatura, velocidade do vento e insolação, variando-os, individualmente, enquanto os outros eram mantidos constantes. A análise de sensibilidade quantifica o efeito que as mudanças nas variáveis de entrada exercem na evaporação média anual no reservatório de Sobradinho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Figura 1 estão apresentadas as evaporações médias mensais estimadas pelos modelos do tanque Classe A, Linacre, Kohler et al. e CRLE. As evaporações totais anuais estimadas por esses modelos foram: 2.149 mm (Linacre), 2.026 mm (ECA), 1.904 mm (Kohler et al.) e 1.796 mm (CRLE). Tendo em vista que o método do tanque Classe A apresentou um valor médio entre os modelos Linacre e Kohler et al. e respondeu diretamente às condições climáticas da região, adotou-se como modelo-padrão na comparação dos comportamentos dos demais modelos. Os comportamentos da evaporação líquida no lago de Sobradinho (Figura 2) foram semelhantes aos da evaporação do lago, entretanto com queda nos valores calculados, sendo esta mais acentuada em março, em decorrência da alta evapotranspiração real ocasionada pela elevação da precipitação média mensal. As evaporações líquidas totais anuais estimadas pelos modelos tanque Classe A, Linacre, Kohler et al. e CRLE foram de 1.452, 1.575, 1.330 e 1.222 mm, respectivamente.

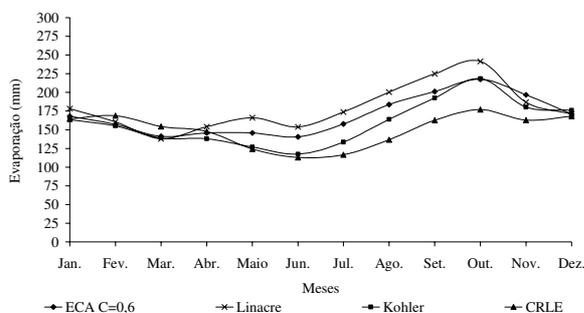


Figura 1. Evaporação no lago de Sobradinho estimada pelos modelos do tanque Classe A, Linacre, Kohler et al. e CRLE, considerando-se o período de 1980 a 1999.

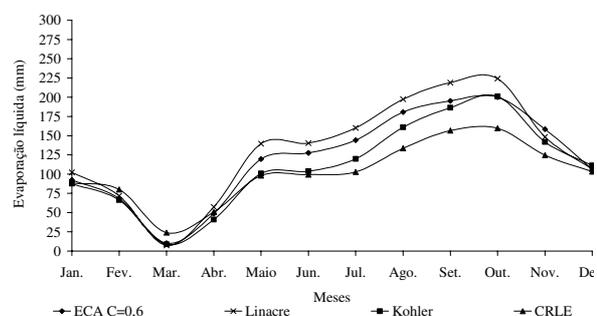


Figura 2. Evaporação líquida no lago de Sobradinho estimada pelos modelos do tanque Classe A, Linacre, Kohler et al. e CRLE, considerando-se o período de 1980 a 1999.

Evidenciam-se dois efeitos distintos no comportamento da evaporação no reservatório de Sobradinho, os quais compreendem, de modo geral, expressivo aumento da evaporação a partir de junho e redução a partir de outubro, prolongada até junho. Neste mês, os valores foram mínimos em todos os modelos, à exceção de Linacre, que apresentou a menor estimativa da evaporação em março. A estimativa da evaporação obtida pelos modelos pode ser melhor entendida pela análise de sensibilidade (Figura 3).

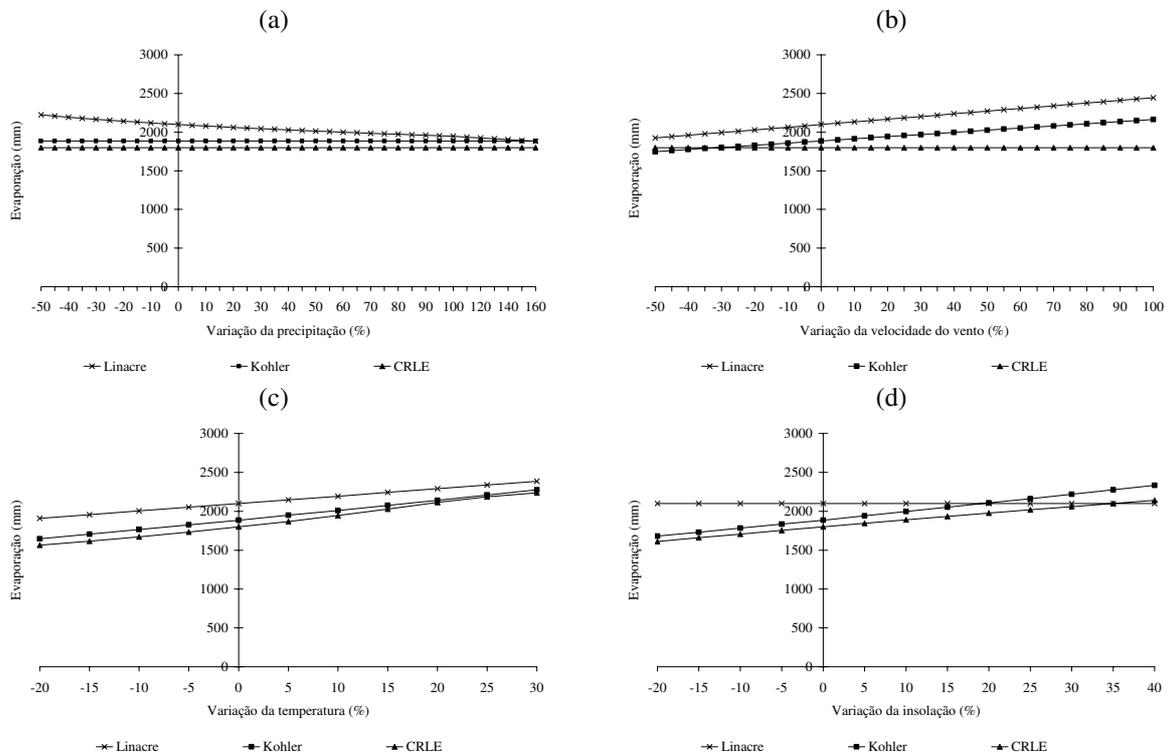


Figura 3. Sensibilidade dos modelos Linacre, Kohler et al. e CRLE aos parâmetros climáticos relativos à precipitação (a), velocidade do vento (b), temperatura (c) e insolação (d).

No mês de maior evaporação (outubro), observa-se que o modelo Linacre é o que apresenta a maior estimativa. O modelo Linacre é o único sensível à variação da precipitação, conforme pode ser evidenciado pela declividade da linha que representa esse parâmetro (Figura 3a). Sendo baixa a precipitação em outubro, o modelo Linacre tende a uma maior estimativa da evaporação em relação aos modelos Kohler et al. e CRLE. Outro fator que contribui para a maior estimativa da evaporação é a sensibilidade que este apresenta à variação da velocidade do vento, principalmente quando comparado com o modelo CRLE, que não apresenta sensibilidade a essa variável climática. Entretanto, com relação ao modelo Kohler et al., notou-se que as declividades das linhas representadas pelas variações desse parâmetro são praticamente iguais, não sendo, portanto, o fator que conduziu a diferença na estimativa da evaporação nesse mês. Em relação à análise de sensibilidade à temperatura (Figura 3c), o modelo Linacre é menos sensível em comparação com os modelos Kohler et al. e CRLE, fazendo com que o aumento da temperatura em outubro ocasionasse maior aproximação entre eles, bem como a falta de sensibilidade à insolação pelo modelo Linacre e as altas sensibilidades dos modelos Kohler et al. e CRLE (Figura 3d). O mês de menor evaporação (junho) correspondeu ao final do período chuvoso, com exceção do modelo Linacre. Esse mês caracterizava-se por baixas precipitação, temperatura e insolação e alta umidade relativa, bem como velocidade de vento correspondente à média anual. A maior proximidade na estimativa da evaporação entre os modelos Kohler et al. e CRLE pode ser explicada por: a) maior sensibilidade dos modelos Kohler et al. e CRLE à temperatura, tendo sido identificado nesse mês baixa temperatura; e b) ocorrência de velocidade de vento ainda não expressiva na região. O aumento das diferenças entre os modelos Kohler et al. e CRLE em relação ao Linacre ocorreu, principalmente, devido às baixas precipitação e insolação. A alta precipitação evidenciada em março (157 mm), correspondendo a cerca de 30% do total anual precipitado, e a baixa velocidade do vento ($1,1 \text{ m s}^{-1}$) fizeram com que o modelo Linacre apresentasse a menor estimativa da

evaporação nesse mês. De modo geral, observou-se que o modelo Linacre tendeu a uma maior estimativa da evaporação em toda a faixa de variação contemplada na análise de sensibilidade. Entretanto, quando a precipitação, a temperatura e a insolação aumentavam e a velocidade do vento diminuía, os modelos estudados tendiam a convergir para uma mesma estimativa da evaporação, fato evidenciado, principalmente, nos meses de janeiro e dezembro. Com os valores das estimativas das evaporações líquidas e conhecidas as áreas de acumulação do lago de Sobradinho, calcularam-se as vazões decorrentes dessas evaporações (Tabela 1). A comparação entre os quatro modelos utilizados permitiu evidenciar que o modelo CRLE, embora seja o de maior complexidade de utilização, foi o que apresentou o comportamento com maior discrepância em relação aos demais, subestimando a evaporação no reservatório.

Tabela 1. Vazão líquida evaporada no reservatório de Sobradinho, estimada com o uso dos modelos do tanque Classe A (ECA C=0,6), Linacre, Kohler et al. e CRLE

Modelos	Vazão Líquida Evaporada ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
ECA C=0,6	140
Linacre	155
Kohler et al.	130
CRLE	120

Tendo em vista que o modelo Kohler et al. apresenta uma base conceitual mais fundamentada na equação original de Penman, considera-se que os valores estimados pelo modelo Kohler et al. podem ser utilizados como uma boa alternativa na determinação da evaporação média anual no lago de Sobradinho. Considerando que o modelo do tanque Classe A representa bem a variação sazonal da evaporação, sugere-se, como procedimento alternativo para representação da evaporação do reservatório de Sobradinho, a correção dos valores obtidos pelo método do tanque Classe A a partir do uso de um coeficiente de tanque que represente a relação entre o valor de evaporação obtido pelo modelo de Kohler et al. e as evaporações medidas no tanque Classe A. Essa correção conduz a um valor de 0,57 em vez de 0,6, inicialmente utilizado como coeficiente de tanque. Portanto, considerando os valores obtidos por esse procedimento, a vazão média anual correspondente à evaporação líquida no lago de Sobradinho foi de $132 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, sendo, na análise mensal, a vazão líquida evaporada de maior magnitude de $211 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, ocorrida em setembro.

CONCLUSÕES: Os resultados obtidos permitiram concluir que: 1) Os valores obtidos pelo modelo de Kohler et al. (1955) podem ser utilizados como base de referência para a estimativa da evaporação média anual do lago de Sobradinho; 2) O coeficiente de tanque Classe A que melhor representou a variação sazonal de evaporação no lago de Sobradinho foi 0,57; e 3) A vazão média anual correspondente à evaporação líquida do reservatório de Sobradinho foi de $132 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Grop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requeriments, FAO irrigation and drainage. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 328p. (Paper, 56).
- CORREIA, M.F.; DIAS, M.A.F.S. Variação do nível do reservatório de Sobradinho e seu impacto sobre o clima da região. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS, v. 8, n. 1, p. 157-168, 2003.
- KAN, A.; DIAS, N.L. Evaporação, evapotranspiração e evaporação líquida no reservatório de Foz do Areia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS, v. 4, n. 3, p. 29-38, 1999.
- KOHLER, M.A.; NORDENSEN, T.J.; FOX, W.E. Evaporation from pans and lakes, U.S. **Weather Bureau Research**, 1955. 21 p. (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**, Amsterdam, v. 64, p. 237-256, 1993.
- MORTON, F.I. Operational estimates of lake evaporation. **Journal of hydrology**, v. 66, p. 77-100, 1983.