

EVAPORAÇÃO DO LAGO DE PORTO PRIMAVERA

Clóvis Angeli Sansigolo
 Jesus Marden dos Santos
 LMO, CPTEC, INPE, São José dos Campos, SP
sansigol@cptec.inpe.br

ABSTRACT

Evaporation estimates from Porto Primavera lake, in the west region of São Paulo State, was done by Morton's complementary relationships model, using daily records from 10 automatic weather stations around the lake, in 2001. Monthly averages ranging from 179mm in January (7% below potentials) and 67mm in June (40% below potentials) were obtained. Results on Monthly totals, interpolated by Kriging over the lake surface of 2250 Km², and daily rates in January and July for 4 selected sites, were shown. It is concluded that Morton's model provided more realistic and consistent estimates of Porto Primavera lake evaporation obtained from their effects on routine climatological observations needed to calculate potential evaporation.

1 - INTRODUÇÃO

Estimativas confiáveis de evaporação de lagos são essenciais no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos e estudos de impacto ambiental. A maioria dos métodos estima evaporação a partir de observações climatológicas de rotina de temperatura do ar, umidade, velocidade do vento e radiação ou usa medidas de tanques instalados em estações meteorológicas no ambiente terrestre, significativamente influenciado pela disponibilidade de água no solo para evapotranspiração da vegetação adjacente, portanto não representativas do ambiente sobre o lago.

Bouchet (1963) formulou a hipótese que variações na evapotranspiração (evaporação) potencial e a regional (de lago), são complementares devido às variações na disponibilidade de água no solo. Esta relação contorna a complexidade do sistema solo-planta de modo que a evapotranspiração regional (ET) ou evaporação de lago (EW) possa ser estimada a partir de seus efeitos sobre a temperatura e umidade do ar rotineiramente observadas, usadas nas estimativas de evapotranspiração (evaporação) potencial (EP). Uma racionalização conceitual e revisão sobre o assunto foi realizada por Morton (1983), que apresenta evidências experimentais indicando ser esta relação uma hipótese de trabalho plausível, que pode ser expressa por $EP + EW = 2 EW$

Na Figura 1 encontra-se a representação esquemática da relação complementar entre evaporação de lago e evaporação potencial no ambiente terrestre, sob condições de suprimento constante de energia radiante.

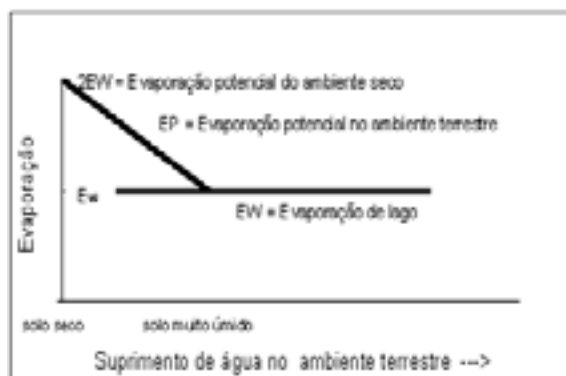


Figura 1. Representação esquemática da relação complementar entre evaporação de lago e potencial no ambiente terrestre, sob suprimento constante de energia radiante (Morton, 1983).

Quando não há água disponível para evapotranspiração no ambiente terrestre adjacente, $ET = 0$ e com o ar quente e seco, a evaporação potencial EP atinge sua taxa máxima $2 EW$ (evaporação potencial do ambiente seco). Assim que a disponibilidade de água à vegetação aumenta, resulta num aumento equivalente de ET, que provoca um umedecimento e resfriamento do ar na região que por sua vez leva à uma diminuição na EP. Finalmente, quando a disponibilidade de água aumenta significativamente, os valores de EP convergem para EW. A relação complementar prevê que a evaporação potencial num ambiente terrestre completamente seco pode ser até duas

vezes a evaporação do lago e irá decrescer em resposta ao aumento no suprimento de água às superfícies solo-planta adjacentes, até alcançar um mínimo igual à evaporação do lago.

Resultados experimentais comparativos entre as estimativas de evaporação de lagos pelo método conceitual de relação complementar e balanços hídricos em 7 grandes lagos nos Estados Unidos e Canadá (Morton, 1983b), mostraram uma perfeita concordância, com erros inferiores a 10%.

No Brasil, Dias & Kelman (1987) compararam no período de 1979 a 1982, as estimativas mensais de evaporação pelos diferentes métodos climatológicos e medidas de tanque classe A no reservatório de Sobradinho, no Rio São Francisco, e concluíram que o método de Morton foi o que apresentou resultados mais uniformes, regionalmente coerentes e consistentes, para as 3 estações meteorológicas consideradas no estudo.

Trovati (1987) utilizou o método de Morton nas estimativas mensais de evaporação do lago de Ilha Solteira, SP, em 83 e 84, dois anos com características pluviométricas distintas e obteve por comparação com medidas de tanque classe A, coeficientes de tanque (evaporação de lago / evaporação de tanque) 0,84 para ano de 1983 (ano chuvoso) e 0,80 para 1984 (ano seco), resultados que comprovam a influência do ambiente terrestre ao redor do lago na evaporação do mesmo.

Roque & Sansigolo (2000) compararam, no período de 1976 a 97, as estimativas mensais de evaporação do lago de Taquaruçu, SP obtidas pelo método de Morton com as feitas pelo método de Penman e com medidas do tanque classe A. O método de Penman superestimou em 8% as estimativas pelo método de Morton, principalmente no inverno, que é o período seco na região. As medidas do tanque classe A foram, em média, 14% superiores às estimativas pelo método de Morton. O método de Penman e do tanque classe A forneceram boas estimativas de evaporação potencial, que foram cerca de 10% superiores às de evaporação do lago.

O objetivo deste trabalho são estimativas diárias de evaporação do lago de Porto Primavera pelo método de Morton, usando observações de 10 estações meteorológicas automáticas instaladas no entorno do lago, no ano de 2001.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

O lago da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Mota (Porto Primavera) da CESP, situa-se no Rio Paraná, no sudoeste do Estado de São Paulo (Pontal do Paranapanema), na divisa com o Estado do Mato Grosso do Sul e terá uma superfície inundada de 2.250 km² e acumulará um volume de 20 bilhões de m³ de água.

Dados diários coletados por um conjunto de 10 estações meteorológicas automáticas, distribuídas no entorno do lago como mostrado na figura 2, serão utilizados nas estimativas de evaporação do lago no ano de 2001.

As estimativas de evaporação serão feitas pelo modelo CRLE de Morton (1983), no qual as taxas de evaporação potencial EP são obtidas a partir da equação de Penman (1948), modificada por Kohler & Parmele (1967) para incluir os efeitos das variações de temperatura na superfície no balanço de radiação de ondas longas.



Figura 2. Localização do lago de Porto Primavera e das 10 estações meteorológicas automáticas.

As taxas de evaporação de equilíbrio, usadas para calcular as taxas de evaporação potencial do ambiente seco (2 EW) são calculadas pela equação de Priestley & Taylor (1972), modificada por Morton (1983) para também incluir os efeitos das variações de temperatura na superfície nos balanços de ondas longas e nas taxas de variação das pressões de saturação do vapor d'água com a temperatura (Δ): $EW = 13 + 1,12 \Delta_p / (\Delta_p + \gamma p) R_{nT_p}$, na qual Δ_p é a tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água com a temperatura de equilíbrio, γ a constante psicrométrica, p a pressão atmosférica e R_{nT_p} o saldo de radiação à temperatura de equilíbrio. As temperaturas de equilíbrio T_p , às quais as equações do balanço de energia e de transferência de vapor para uma superfície úmida dão o mesmo resultado, são calculadas iterativamente por: $\delta T_p = [R_n / f_w + v_D - v'_p + \lambda (T - T'_p)] / (\Delta'_p - \lambda)$, na qual $T_p = T'_p + \delta T_p$ e v'_p e Δ'_p são, respectivamente, a pressão de vapor e a tangente à curva da pressão de vapor à temperatura T'_p , correspondente a cada passo da iteração.

As taxas de evaporação potencial EP , e os saldos de radiação às temperaturas de equilíbrio R_{nT_p} , são dados por: $EP = R_{nT} - \lambda f_w (T_p - T)$ e $R_{nT_p} = EP + \gamma p f_w (T_p - T)$, na qual λ e f_w são, respectivamente, os coeficientes de transferência de calor e vapor d'água. Os saldos de radiação R_{nT} são dados pela diferença entre a irradiância solar absorvida e as perdas de ondas longas: $R_{nT} = (1 - a) R_G - B$, na qual o albedo médio com nebulosidade (a) e o balanço de ondas longas (B), são obtidos por: $a = a_0 [S + (1 - S) (1 - Z / 330)]$ e $B = \epsilon \sigma (T + 273)^4 [1 - (0,71 + 0,007 v_D \bar{p} / ps (1 + \rho))]$, na qual ρ é o incremento na radiação atmosférica devido às nuvens (Morton, 1983).

Finalmente, as estimativas de evaporação de lago EW , pelo método de Morton (1983), são obtidas por: $EW = 2EW - EP$.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 encontram-se as estimativas dos totais mensais de evaporação de lago no ano de 2001, calculadas pelo método de Morton, usando dados diários de 10 estações meteorológicas automáticas instaladas no entorno do lago de Porto Primavera.

Tabela 1. Totais mensais (mm) de evaporação do lago de Porto Primavera, SP, em 2001.

Estação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	DP
Jan	152	179	164	179	189	190	196	154	190	200	179.3	17.2
Fev	121	164	120	136	144	144	163	132	160	155	143.9	16.5
Mar	132	164	141	151	164	164	201	164	190	171	164.2	20.6
Abr	108	144	110	117	101	90	123	117	125	131	116.6	15.4
Mai	83	107	69	74	86	73	84	83	85	86	83.0	10.4
Jun	72	78	62	59	71	56	68	63	70	70	66.9	6.7
Jul	82	82	71	62	83	69	81	78	82	82	77.2	7.3
Ago	90	114	89	107	95	104	103	103	104	103	101.2	7.7
Set	146	131	108	130	108	136	126	126	120	125	125.6	11.7
Out	124	162	111	149	149	181	153	159	150	166	150.4	20.1
Nov	128	158	109	147	145	174	158	161	149	161	149.0	18.7
Dez	134	180	145	164	148	190	175	186	174	169	166.5	18.6
Ano	1373	1665	1302	1479	1488	1577	1638	1534	1608	1629	1529.3	119.7
Temp.	22,3	23,1	23,1	23,2	22,3	21,7	24,3	23,5	24,8	23,1	23,1	0,93
Prec.	1575	1469	1619	1742	1359	1315	1473	1348	1038	1389	1432.7	193.7

1 – Pres. Venceslau, 2 – Andradina, 3 – Bataguassú, 4 – Brasilândia, 5 – Dracena, 6 – Teodoro Sampaio, 7 – Panorama, 8 – Anaurilândia, 9 – Pres. Epitácio, 10 – Porto Primavera.

As taxas médias para o conjunto das 10 estações variaram de 179mm em janeiro a 67mm em junho, com desvios padrões inferiores à 13%. O total anual em 2001 foi de 1529mm, levemente superior ao das precipitações na região, de 1433mm.

Os totais mensais de evaporação do lago de Porto Primavera, interpolados por Kriging, a partir das estimativas baseadas nas observações de 10 estações, são mostrados na figura 3. Verifica-se que em janeiro, a amplitude entre as maiores taxas de evaporação (200mm), à montante do lago, e as menores (150mm), à jusante, é cerca de 50mm.

Em julho, esta amplitude é reduzida para cerca de 30mm (90-60mm), devido principalmente aos maiores gradientes de temperatura e umidade que ocorrem no verão e na primavera.

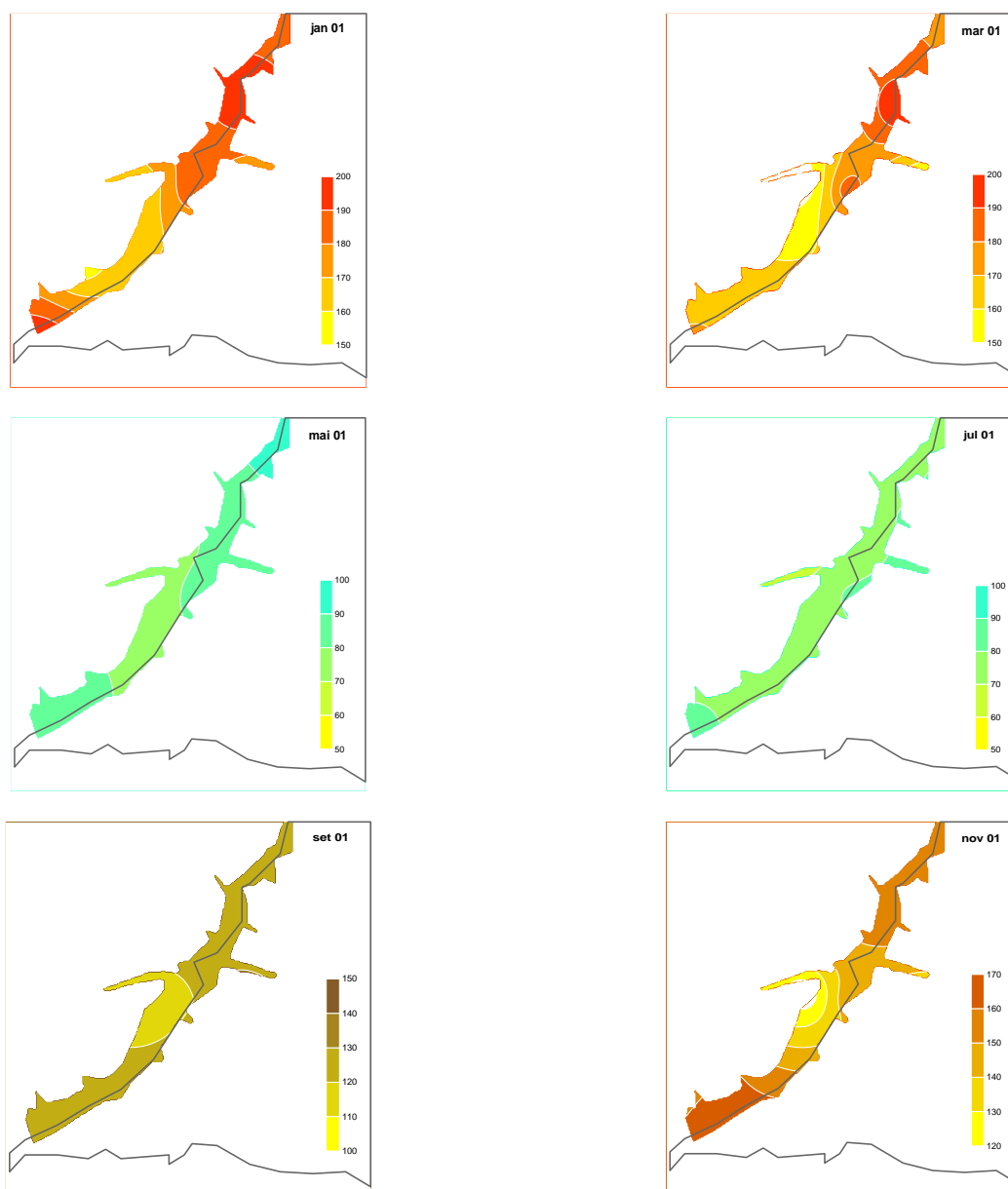


Figura 3. Totais mensais de evaporação do lago de Porto Primavera, SP, interpolados por kriging a partir das estimativas baseadas em observações de 10 estações meteorológicas.

As estimativas diárias de evaporação potencial e de lago, além das precipitações, para 4 das 10 estações consideradas no estudo, encontram-se na figura 4. As taxas de evaporação de lago foram cerca de 7 % inferiores às potenciais em janeiro e 40 % em julho. Como as taxas de evaporação potencial referem-se ao ambiente terrestre, estas são bastante superiores às de evaporação do lago, principalmente no inverno que é o período seco na região. O conceito de relação complementar incluído no modelo de Morton considera o efeito da evaporação do próprio lago diminuindo o gradiente vertical de temperatura e umidade do ar e conseqüentemente sua evaporação. Neste caso (evaporação diária) desprezam-se os efeitos de advecção, que podem se tornar significativos no caso de estimativas em menores intervalos de tempo e serem incorporados à relação complementar como mostrado em Parlange & Katul (1992).

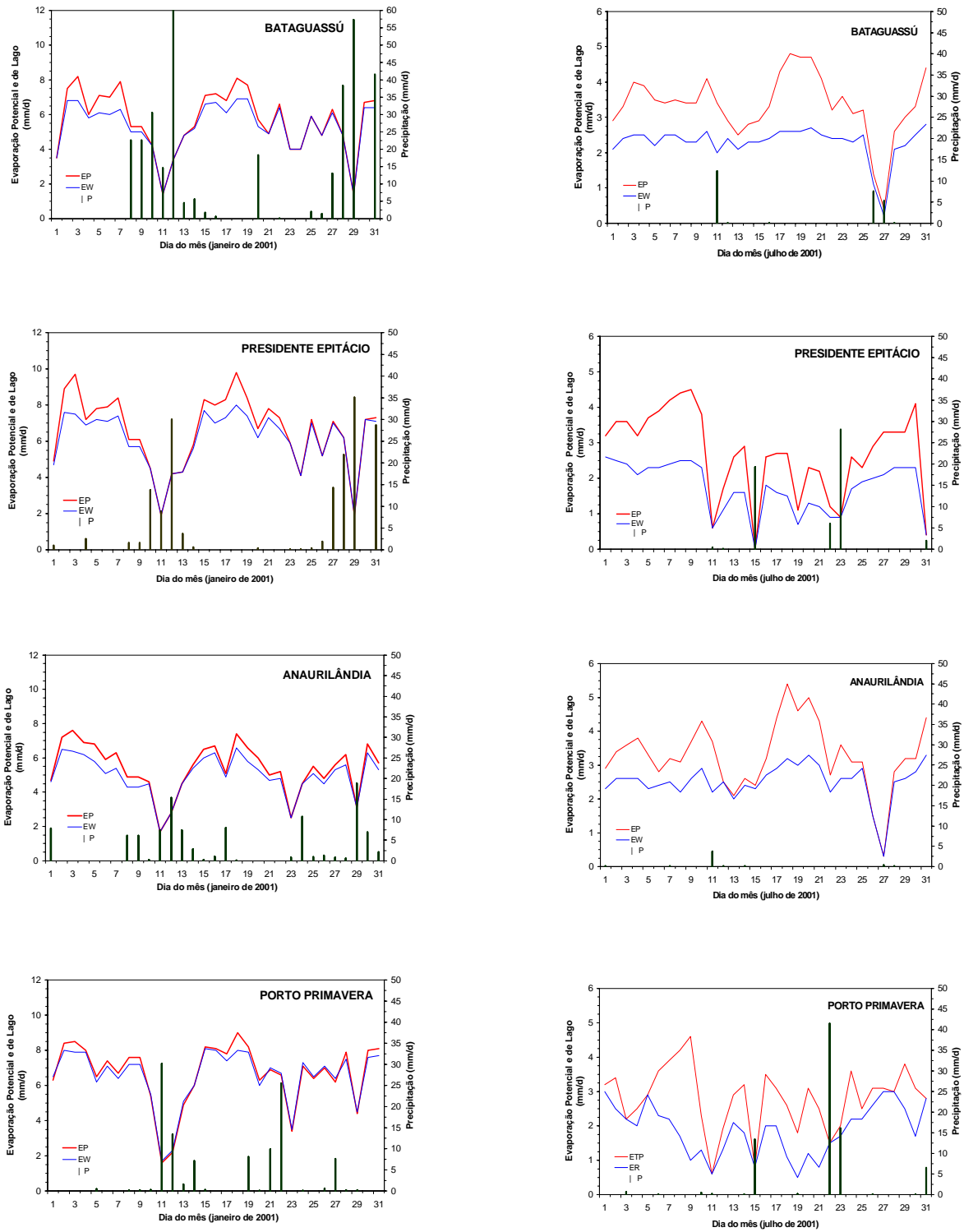


Figura 4. Estimativas diárias de evaporação potencial (EP), de lago (EW) e precipitação (P), em janeiro e julho de 2001, em 4 estações meteorológicas próximas ao lago de Porto Primavera, SP.

O modelo conceitual de relação complementar de Morton fornece estimativas mais realistas e consistentes, principalmente em regiões sazonalmente secas, de evaporação de lagos, obtidas a partir de seus efeitos nas observações climatológicas de rotina, usadas para cálculo da evaporação potencial.

Este modelo também permite prever, a partir de séries de dados climatológicos convencionais, qual seria o impacto ambiental de grandes lagos projetados no microclima de uma dada região.

4 - REFERÊNCIAS

- BOUCHET, R. J. 1963. Evapotranspiration réelle et potentielle, signification climatique. International Association of Scientific Hydrology, *Proceedings*, Berkeley, CA. Simposium Publication n. 62, p. 134-142.
- BRUTSAERT, W.; STRICKER, H. 1979. An advection-aridity approach to estimate actual evapotranspiration. *Water Resources Research*, v.15, n. 2, p. 443-450.
- BRUTSAERT, W. *Evaporation into the atmosphere: Theory, history and applications*. D. Reidel, Hingham, Massachussets. 1982. 299 p.
- DIAS, N. L. C.; KELMAN, J. 1987. Comparações entre modelos climáticos e o uso de tanque classe A para estimar a evaporação no reservatório de Sobradinho. In: VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Salvador, 1987. *Anais*, São Paulo, ABRH, p. 162-167.
- KOHLER, M. A., PARMELE, L. H. Generalized estimates of free-water evaporation, *Water Resources Research*, v. 3, n. 4, p. 996-1005, 1967.
- MORTON, F. I. 1975. Estimating evaporation and transpiration from climatological observations. *Journal of Applied Meteorology*, v.14, p. 488- 497.
- MORTON, F. I. 1979. Climatological estimates of lake evaporation. *Water Resources Research*, v.15, n.1, p. 64-76.
- MORTON, F. I. 1983. Operational estimates of lake evaporation. *Journal of Hydrology*, v. 66, p.77-100,
- MORTON, F. I. 1986. Pratical estimates of lake evaporation . *Journal of Climate and Applied Meteorology*, v. 25, p. 371-387.
- PARLANGE, M. B., KATUL, G. G. An advection-aridity model. *Water Resources Research*, v. 28, n. 1, p. 127-132, 1992.
- PENMAN, H. L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Royal Meteorological Society. *Proceedings*, London, ser. A, v.193, p. 120-145.
- PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR R. J. 1972. On the assessment of the surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, v. 100, p. 81- 92.
- ROQUE, R. O.; SANSIGOLO, C. A. 2001. Estimativas de evaporação do lago de Taquaruçu, SP pelo modelo conceitual de Morton. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, n.1, p. 21-28.
- SELLERS, B. H. 1986. Calculating the surface energy balance for lake and reservoir modeling. *Reviews of Geophysics*, v. 24, n.3, p. 625-649.
- TROVATI, L. R. 1987. Estimativas da evaporação do Lago de Ilha Solteira através do modelo de relação complementar In: VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Salvador, 1987. *Anais*, São Paulo, ABRH, v .2, p. 162-167.