

ESTIMATIVA DA EVAPORAÇÃO POTENCIAL, EM CONDIÇÕES DE CAMPO, USANDO O TANQUE «CLASSE A» MODIFICADO^{1/}

Wilson Jesus da Silva ^{2/}
Gilberto C. Sediyama ^{3/}
Dirceu T. Coelho ^{3/}
Salassier Bernardo ^{3/}

1. INTRODUÇÃO

Os valores de evaporação e de evapotranspiração são de grande importância para o planejamento de reservatórios, sistema de irrigação e de drenagem etc. Os dados de evaporação são especialmente importantes em regiões áridas, onde a água deve ser usada com a máxima eficiência. O conhecimento da necessidade d'água das culturas depende, particularmente, da determinação da perda d'água pela evapotranspiração dos campos cultivados (15).

Pode-se considerar a evapotranspiração como fator básico na determinação do total de água necessária durante o ciclo de uma cultura, quando se quer um manejo correto d'água nos trabalhos de irrigação (7).

Tanques especiais para medir a evaporação têm sido largamente utilizados há muitos anos (4). Recentemente, porém, foram desenvolvidas várias equações para a estimativa da evaporação, baseadas nos principais elementos meteorológicos observados. Entretanto, os tanques podem ser utilizados em maior número de trabalhos, com baixo custo e relativa facilidade. O tanque evaporimétrico pode proporcionar medida adequada da quantidade de água necessária para as culturas.

^{1/} Parte da tese apresentada, pelo primeiro autor, à U.F.V., como um dos requisitos para a obtenção do grau de «Magister Scientiae» em Engenharia Agrícola.

Recebido para publicação em 03.03.1980.

^{2/} EPAMIG, Cx. P. 515, 30000 Belo Horizonte — MG.

^{3/} Departamento de Engenharia Agrícola — U.F.V., 36570 Viçosa — MG.

O processo da evaporação não é idêntico ao da evapotranspiração, pois, mesmo com total abertura estomática das folhas, a resistência à difusão do vapor d'água é maior na superfície das folhas que numa superfície d'água (3). Por outro lado, o saldo do balanço de energia radiante e a rugosidade aerodinâmica nas superfícies da água não são iguais aos das superfícies cobertas com vegetação (5, 12). Entretanto, a evapotranspiração potencial de uma cultura pode ser estimada por meio de tanques, multiplicando-se o valor da evaporação medida em tanques pelo coeficiente da cultura (1, 6, 8, 10).

A utilização de um tanque de evaporação, em condições de campo, como um evaporímetro de confiança pode ser questionável, em razão das dificuldades práticas. Animais podem consumir e poluir a água no tanque aberto. Uma tela colocada sobre o tanque «Classe A» permite medidas de evaporação mais precisas. Vários tipos de telas e cercas têm sido usados para evitar tais problemas (4, 9). Recentemente, pesquisas têm demonstrado que a água do tanque «Classe A» coberto com tela de arame com 0,8 cm de malha evapora 10,4% menos que o tanque aberto, instalado em solos não irrigados, dentro do cercado de uma estação meteorológica (11). A cobertura com tela reduz a evaporação; porém, pode ser usada para estimar o valor da evapotranspiração real (2). A tela reduz a absorção da energia radiante e introduz um elemento de rugosidade, que aumenta a espessura da camada de difusão turbulenta, semelhante à rugosidade introduzida pelo crescimento das culturas em solo úmido. Um tanque telado pode ser um instrumento mais seguro para estimar a necessidade de água para a cultura que um tanque aberto em condições de campo.

Os tanques instalados sobre a superfície do solo são mais utilizados por causa da facilidade de instalação de limpeza e de conservação, embora haja uma grave objeção ao seu uso, que é a incidência de radiação solar nas suas paredes, a qual resulta em maior evaporação (15).

Vários autores têm recomendado pesquisas no sentido de testar tanques modificados, visando a determinar fatores de correção e, posteriormente, compará-los com resultados obtidos por meio de equações teóricas. Dessa forma, neste trabalho, procurou-se atender aos seguintes objetivos:

Estabelecer relações entre os valores da evaporação medidos no tanque «Classe A» padrão e os valores medidos em tanques «Classe A» modificados; comparar os resultados dos diversos tratamentos com os resultados obtidos pelos modelos de Penman, Bowen e McIlroy e determinar fatores de correção para os tanques utilizados, em relação ao tanque «Classe A» padrão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados meteorológicos foram obtidos na Estação Climatológica Principal do Instituto Nacional de Meteorologia/Universidade Federal de Viçosa (INMET/UFV), número 83.642, situada em Viçosa, MG, que se localiza na latitude de 20°45' S, na longitude de 42°51' W e numa altitude de 689 m.

Os dados de evaporação foram obtidos em tanques localizados dentro e próximo do cercado da Estação Climatológica. Foram utilizados 6 tanques, sendo: 2 «Classe A» padrão; 1 cercado com tela de arame número 22 e malha de 1,5 x 2,0 cm, tendo a cerca 1 m de altura, e 3 cobertos com o mesmo tipo de tela, sendo: 1 padrão, 1, com dispositivo de drenagem e 1 enterrado. Todas as leituras foram feitas diariamente, às 8 horas e 30 minutos, no período de 5 de março a 30 de junho de 1979.

As estimativas de evapotranspiração foram calculadas segundo os métodos de:

a) PENMAN, cuja equação utilizada foi

$$E = \frac{0,017 H \Delta / \gamma + REa}{\Delta / \gamma + 1}$$

em que

E = evaporação potencial (mm. dia⁻¹).

H = saldo de radiação (cal. cm⁻². dia⁻¹).

Δ = tangente geométrica à curva de saturação de vapor (mmHg.ºC⁻¹).

γ = constante psicrométrica (0,5 mmHg.ºC).

REa = poder evaporante do ar (mm.dia⁻¹).

O poder evaporante do ar foi calculado pela equação

$$REa = 0,35 (1 + \frac{U_2}{160}) (e_s - e_d)$$

em que

U_2 = velocidade do vento a 2,0 m acima da superfície do solo (Km.dia⁻¹).

e_s = pressão máxima de saturação de vapores à temperatura média do ar (mmHg).

e_d = pressão atual de vapores (mmHg).

A velocidade do vento a 2,0 m foi calculada pela equação

$$U_2 = U_1 \frac{\frac{2,00 - d}{\ln \frac{2,00 - d}{Z_0}}}{\frac{0,5 - d}{\ln \frac{0,5 - d}{Z_0}}}$$

em que

U_1 = velocidade do vento a 0,5 m de altura da superfície do solo (Km.dia⁻¹).

d = deslocamento do nível Z_0 (parâmetro de rugosidade), igual a zero para o caso de superfície d'água.

Z_0 = parâmetro de rugosidade, igual a 0,01 m para o caso de tanques evaporimétricos, segundo VAN BAEL (14) e PELTON (13).

b) BOWEN, cuja equação utilizada foi

$$E = \frac{H - G}{L (B + 1)}$$

em que

E = evaporação potencial média (mm.dia⁻¹).

G = fluxo de calor na água (cal.cm⁻².dia⁻¹).

L = calor latente de vaporização (590 cal.g⁻¹).

B = razão de Bowen.

O fluxo de calor na água foi estimado de acordo com as recomendações de JENSEN *et alii* (7) e usado para o solo

$$G = (T_{fa} - \frac{T_{f1} + T_{f2} + T_{f3}}{3}) \cdot 5$$

em que

T_{fa} = temperatura média da água do tanque «Classe A» padrão do dia em que se queria calcular o $G(^{\circ}F)$.

T_{f1} T_{f2} T_{f3} = temperaturas médias da água do tanque «Classe A» padrão dos dias anteriores ao dia da observação de T_{fa} ($^{\circ}F$).

A razão de Bowen foi calculada pela equação

$$B = \gamma \frac{T_2 - T_1}{e_2 - e_1}$$

em que

T_2 = temperatura do bulbo seco, para 1,5 m do nível do solo, observada no abrigo de instrumentos meteorológicos ($^{\circ}C$).

T_1 = temperatura média da superfície da água do tanque «Classe A» padrão ($^{\circ}C$).

e_2 = pressão máxima de saturação de vapores à temperatura média do ar (mmHg).

e_1 = pressão máxima de saturação de vapores à temperatura média da superfície da água (mmHg).

c) McILROY, cuja equação utilizada foi

$$LE = - (H + G) \left(1 - \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \frac{\Delta T}{\Delta T_W} \right)$$

em que

LE = evaporação potencial de equilíbrio ($mm \cdot dia^{-1}$).

ΔT = diferença da temperatura do bulbo seco a dois níveis de altura (0,5m e 1,5m) ($^{\circ}C$).

ΔT_W = diferença da temperatura do bulbo úmido a dois níveis de altura (0,5m e 1,5m) ($^{\circ}C$).

Quando se usa esse modelo para estimar a evaporação no tanque «Classe A» ou a evapotranspiração em solo com muita umidade, pode-se considerar que as diferenças de temperaturas, em dois níveis, são muito próximas para os bulbos úmido e seco, podendo-se, portanto, considerar

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_W} = 1$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados (Quadro 1) revelou que a evaporação medida no tanque «Classe A» padrão foi 14,6% maior que a evaporação medida no tanque coberto; 13,3% maior que a evaporação medida no tanque cercado e 31,0% maior que a evaporação medida no tanque enterrado.

QUADRO 1 - Comparação entre os valores acumulados de evaporação medidos no tanque "Classe A" padrão e nos tanques modificados, na região de Viçosa, MG. Período de 05 de março a 30 de junho de 1979 (118 dias)				
Tanques "Classe A"				
	Padrão	Coberto	Cercado	Enterrado
Tanque "Classe A" Padrão	348,36	303,94	307,37	265,85
Diferenças %	0	+ 14,6	+ 19,4	+ 31,0

Analizando as equações de regressão e os respectivos coeficientes de correlação (r) entre os dados diários (Quadro 2), pode-se observar que os tanques modificados que melhor se correlacionaram com o tanque padrão, para o período estudado, foram, em ordem decrescente: tanque coberto com tela, tanque cercado com tela e tanque enterrado.

Determinou-se a evaporação pelos métodos de Penman, Bowen e McIlroy, e os resultados encontram-se na Figura 1. Verifica-se que a evaporação calculada pelo método de Penman foi maior que a obtida pelo método de Bowen, que, por sua vez, foi maior que a encontrada pelo método de McIlroy.

Tanto na equação de Bowen como na de Penman admite-se a superfície evaporante saturada e o ar próximo a essa superfície não saturado, ao passo que na equação de McIlroy admite-se a superfície evaporante saturada e o ar próximo a essa superfície também saturado (evaporação de equilíbrio). Estas foram, talvez, as razões por que os valores da evaporação calculados pelas equações de Penman e Bowen apresentaram-se maiores que os da equação de McIlroy.

Por meio do Quadro 3 pode-se verificar que os valores de evaporação calculados pelo método de Penman superestimaram em 4,7, 20,1, 18,7 e 37,3% os valores medidos no tanque «Classe A» padrão, no tanque «Classe A» coberto, no tanque «Classe A» cercado e no tanque «Classe A» enterrado, respectivamente. Os valores de evaporação calculados pelo método de Bowen subestimaram em 0,8% os valores medidos no tanque «Classe A» padrão e superestimaram em 13,7, 12,4 e 30,0% os valores medidos no tanque «Classe A» coberto, no tanque «Classe A» cercado e no tanque «Classe A» enterrado, respectivamente. Os valores de evaporação calculados pelo método de McIlroy subestimaram em 9,0% os valores medidos no tanque «Classe A» padrão e superestimaram em 4,3, 3,2 e 19,3% os valores

QUADRO 2 - Comparaçāo da evaporação medida no tanque "Classe A" e nos tanques modificados, região de Viçosa, MG. Dados diários, do período de 05 de março a 30 de junho de 1979

Tanque modificado	Mês					
	Março	Abri	Maio	Junho	Regressão	(r)
	Regressão (r)	Regressão (r)	Regressão (r)	Regressão (r)	Regressão (r)	Regressão (r)
Coberto	$Y = 0,18 + 1,09 X$ 0,96*	$Y = 0,13 + 1,09 X$ 0,97*	$Y = 0,08 + 1,11 X$ 0,97*	$Y = -0,01 + 1,16 X$ 0,97*	$Y = -0,01 + 1,16 X$ 0,97*	
Cercado	$Y = 0,41 + 1,03 X$ 0,91*	$Y = 0,13 + 1,06 X$ 0,99*	$Y = 0,07 + 1,09 X$ 0,98*	$Y = 0,09 + 1,09 X$ 0,98*	$Y = 0,09 + 1,09 X$ 0,96*	
Enterrado	$Y = 0,37 + 1,14 X$ 0,90*	$Y = -0,04 + 1,32 X$ 0,96*	$Y = 0,20 + 1,24 X$ 0,89*	$Y = 0,21 + 1,25 X$ 0,85*	$Y = 0,21 + 1,25 X$ 0,85*	

Y = evaporação medida no tanque "Classe A" padrão (mm. dia⁻¹).

X = evaporação medida nos tanques modificados (mm. dia⁻¹).

r = coeficiente de correlação.

* = significativo, ao nível de 1,0%, pelo teste de t.

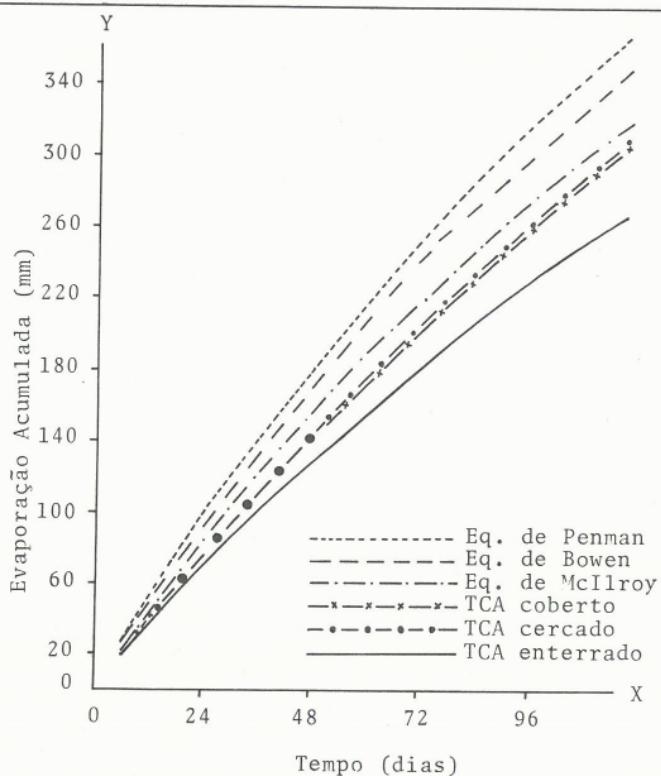


FIGURA 1 - Gráfico da evaporação acumulada estimada pelas equações de Penman, Bowen e McIlroy e valores de evaporação medidos nos tanques "Classe A" padrão e nos tanques modificados, em percentagem.

medidos no tanque «Classe A» coberto, no tanque «Classe A» cercado e no tanque «Classe A» enterrado, respectivamente.

Analisando as equações de regressão e os respectivos coeficientes de correlação (r) entre os dados acumulados da evaporação de 7 dias, medidos e estimados (Quadro 4), nota-se que, para o período estudado, os tanques que melhor se correlacionaram, em ordem decrescente, com o método de Penman foram: tanque «Classe A» coberto, tanque «Classe A» padrão, tanque «Classe A» enterrado e tanque «Classe A» cercado; com o método de Bowen: tanque «Classe A» padrão, tanque «Classe A» coberto, tanque «Classe A» enterrado e tanque «Classe A» cercado; com o método de McIlroy: tanque «Classe A» coberto, tanque «Classe A» enterrado e tanque «Classe A» padrão.

Na Figura 2, nota-se que não houve, praticamente, diferença entre os valores de evaporação medidos no tanque «Classe A» coberto e no tanque «Classe A» cercado. O fato de serem os valores de evaporação medidos no tanque «Classe A» coberto e no tanque «Classe A» cercado menores que os valores de evaporação medidos no tanque «Classe A» padrão deve-se, provavelmente, ao fato de que a tela in-

QUADRO 3 - Desvios entre os valores de evaporação estimados pelas equações de Penman, Bowen e McIlroy e os valores de evaporação medidos nos tanques "Classe A" padrão e nos tanques modificados, em porcentagem

Métodos	Tanques "Classe A"			
	Padrão	Coberto	Cercado	Enterrado
Penman	+ 4,7	+ 20,1	+ 18,7	+ 37,3
Bowen	- 0,8	+ 13,7	+ 12,4	+ 30,0
McIlroy	- 9,0	+ 4,3	+ 3,2	+ 19,3

terferiu na radiação solar e na velocidade do vento na superfície da água, diminuindo sua ação evaporante. O tanque «Classe A» enterrado, com cobertura de tela, apresentou valores de evaporação menores que os dos demais tanques, possivelmente em razão da menor velocidade do vento na superfície da água, por estar em nível inferior ao dos outros tanques e não estar sujeito ao fluxo de radiação solar na sua parede.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estudado o comportamento dos tanques «Classe A» modificados, para a estimativa da evaporação, em condições de campo, para a região de Viçosa, MG, confrontando valores de evaporação medidos em diversos tanques e valores estimados pelos métodos de Penman, Bowen e McIlroy.

Analisando as relações entre os dados de evaporação medidos nos tanques e estimados pelas equações, em valores diários, para o período estudado, pode-se concluir que:

- O uso da tela diminuiu 14,5%, como cobertura, e 13,3%, como cerca, a evaporação no tanque «Classe A» padrão, possivelmente porque a tela diminuiu a radiação solar e a velocidade do vento na superfície da água desses tanques.
- Houve maior correlação entre os dados de evaporação no tanque coberto e os valores de evaporação calculados pelos métodos de Penman, Bowen e McIlroy.
- A evaporação medida nos tanques enterrado e coberto foi 31,0% menor que a evaporação medida no tanque «Classe A» padrão. Essa redução deve-se à menor velocidade do vento na superfície da água e à ausência de fluxo de radiação solar através das paredes do tanque enterrado.
- A evaporação medida no tanque «Classe A» apenas coberto proporcionou mais consistência e segurança dos dados, além de aproximar-se mais do valor da evapotranspiração real.

QUADRO 4 - Comparação dos valores de evaporação estimados pelas equações de Penman, Bowen e McIlroy com a evaporação medida no tanque "Classe A" padrão e nos tanques modificados. Período de 05 de março a 30 de junho de 1979. Valores semanais.

Métodos						
Tanque	Penman	Bowen	McIlroy	Regressão	(r)	Regressão
"Classe A"	Regressão	(r)	Regressão	(r)	Regressão	(r)
Padrão	$Y = -5,30 + 1,31 X$	0,94*	$Y = -7,62 + 1,36 X$	0,96*	$Y = -3,79 + 1,10 X$	0,87*
Coberto	$Y = -4,87 + 1,47 X$	0,95*	$Y = -6,99 + 1,53 X$	0,95*	$Y = -3,71 + 1,25 X$	0,88*
Cercado	$Y = -4,32 + 1,43 X$	0,91*	$Y = -6,52 + 1,49 X$	0,91*	$Y = -2,58 + 1,17 X$	0,82*
Enterrado	$Y = -0,67 + 0,67 X$	0,91*	$Y = -2,83 + 1,48 X$	0,92*	$Y = 0,43 + 1,17 X$	0,82*

Y = evaporação estimada em cada método (mm.dia⁻¹).

X = evaporação medida nos tanques (mm.dia⁻¹).

r = coeficiente de correlação.

* = significativo, ao nível de 1%, pelo teste de t .

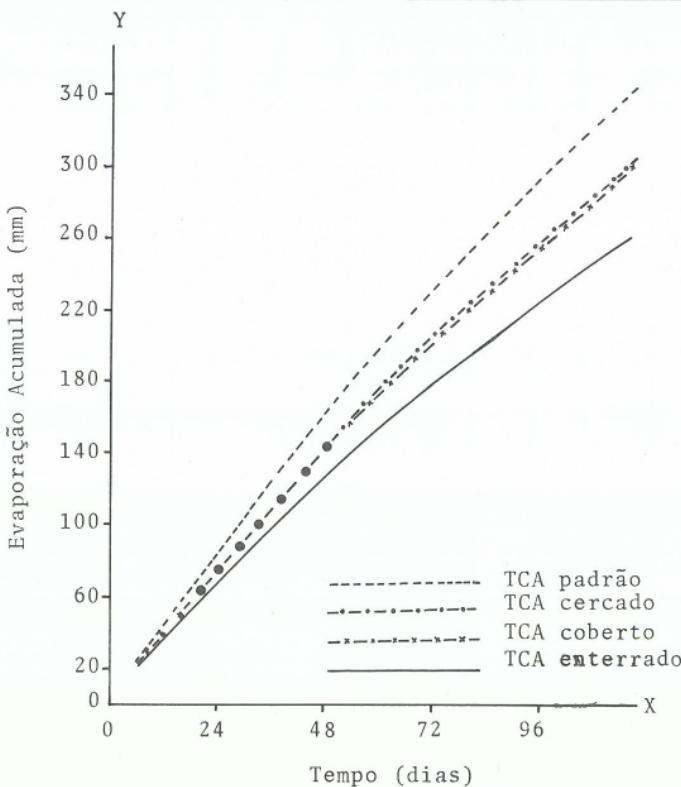


FIGURA 2 - Gráfico da evaporação acumulada medida nos tanques "Classe A" (TCA) padrão, coberto, cercado e enterrado.

5. SUMMARY

Screened Class A evaporation pans were employed for estimating upward water vapor flux from bodies of water. The measured values of evaporation data were compared to standart Class A evaporation pan data and the estimated value of evapotranspiration by the methods of Penman, Bowen and McIlroy.

An analysis of the effect of the screen on evaporation showed that the screen, when used as a cover, reduced evaporation 14.5%; 13.3% when used as a fence surrounding the evaporation pan; and, 13.0% when used as a cover on sunken pans. Weekly potential evapotranspiration values calculated by Penman, Bowen and McIlroy equations agreed in magnitude and were highly correlated with weekly values of screened evaporation pan measurements.

6. LITERATURA CITADA

- ASSIS, F.N. *O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre evaporação e precipitação*. Tese de Mestrado, UFSCar, São Paulo, 1978.

- tre evapotranspiração medida e estimada. ESALQ, Piracicaba, 1978. 74 p. (Tese Mestrado).
2. CAMPBELL, R.B. & PHENE, C.J. Estimating potential evapotranspiration from screened pan evaporation. *Agric. Meteorol.*, 16:343-352. 1976.
 3. CHANG, J.H. *Climate and agriculture-an ecological survey*. Chicago, Aldine Book Company, 1968. 266 p.
 4. DOOREMBOS, J. & PRUITT, W.O. *Guidelines for predicting crop water requirements*. Rome, FAO, 1977. 180 p. (Irrigation and Drainage Paper 24).
 5. FRITSCHEN, L.J. & SHAW, R.H. Evapotranspiration for corn as related to pan evaporation. *Agron. J.*, 53:149-150. 1961.
 6. HANSON, C.L. & RAUZI, F. Class A evaporation as affected by shelter and daily prediction equation. *Agric. Meteorol.*, 18:27-37. 1977.
 7. JENSEN, M.E.; WRIGHT, H.L. & PRATT, B.J. Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. *Transac. of the ASAE*, 69:954-959. 1971.
 8. McILROY, I.C. & ANGUS, D.C. Grass, water and soil evaporation at Aspendale. *Agric. Meteorol.*, 1:201-224. 1964.
 9. PEREIRA, H.C. Field measurement of water use for irrigation control in Kenya coffee. *J. Agric. Sci.*, 49:459-466. 1957.
 10. PRUITT, W.O. Empirical methods of estimating evapotranspiration using primarily evaporation pans. In: PROCEEDING CONFERENCE EVAPOTRANSPIRATION. Chicago, ASAE, 1966. p. 57-61.
 11. STANHILL, G. The control of field irrigation from measurements of evaporation. *Isr. J. Agric. Res.*, 12:51-62. 1962.
 12. TANNER, C.B. Evaporation of water from plants and soil In: Kolowski, T.T., ed. *Water deficits and plant growth*. New York, Academic Press, 1968. p. 13-186.
 13. TANNER, C.B. & PELTON, W.L. Potential evapotranspiration estimates by the approximate energy balance method of Penman. *J. Geophys. Res.*, 65:3391-3413. 1960.
 14. VAN BAVEL, C.H.M. Potential evaporation: the combination concept and its experimental verification. *Water Resour. Res.*, 2:455-467. 1966.
 15. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration*. Geneva, 1968. 121 p. (Technical Note 83).