

ISSN 0104-1347

Relações entre a evaporação medida em diferentes evaporímetros

Relationships between the measurements of evaporation with different evaporimeters

Clovis Alberto Volpe¹ e Alexsandra Duarte de Oliveira²

Resumo - Foram estabelecidos modelos estatísticos, através de análise de regressão linear, relacionando a evaporação de água medida através de tanques Classe A, GGI-3000 e Screened sunken (Young) entre si, e com o tanque de 20 m² (padrão), bem como os diferentes coeficientes para diferentes combinações de tanques, para um período de observações de 1971-2001. A evaporação medida nos tanques Classe A, GGI-3000 e Young foram superiores à evaporação medida no tanque de 20 m², em todos os meses do ano, sendo maior no tanque Classe A, enquanto que pouco diferiu a evaporação medida nos tanques GGI-3000 e Young.

Palavras-chave: tanque 20 m², tanque Classe A, tanque GGI-3000, tanque Screened sunken (Young), evaporação

Abstract - In this work the daily measures were compared in the monthly form of the evaporation in pans Class A, GGI-3000 and Screened sunken (Young) with the one of 20 m² tank for a period of thirty one year (1971-2001). The data were collected at the Agroclimatological Station of FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP. Daily mean values were correlated for each month and a statistical analysis for linear regression was applied. A simple relation between each pan and the 20 m² tank were also obtained. All the pans overestimated the evaporation when this value was compared to the 20 m² tank. The monthly average evaporation between the GGI-3000 and Screened sunken (Young) are similar.

Key words: 20 m² tank, Class A pan, GGI-3000 pan, Screened sunken pan (Young), evaporation

Introdução

A evaporação da água de uma superfície representa uma parcela significativa de contribuição para o equilíbrio hidrológico e, em relação ao balanço hídrico, constitui a parcela de água transferida para a atmosfera (SILVA et al., 2001). Conhecer valores representativos desse componente climatológico em ecossistemas atmosféricos torna-se essencial para compreensão de todo o sistema. Informações quantitativas de evaporação e evapotranspiração são necessárias nos vários campos científicos que tratam dos problemas do manejo de água. Dados confiáveis

de evaporação são exigidos para o planejamento, construção e operação de reservatórios e sistemas de irrigação e drenagem (BERLATO & MOLION, 1981).

A medida direta da evaporação da água exige a utilização de um reservatório, onde o nível da água possa ser medido com precisão. A diferença das alturas dos níveis da água em dias consecutivos indica o total evaporado no período. Em virtude da facilidade de se medir a evaporação em tanques, esta tem sido utilizada para estimar a evaporação de lagos e de culturas. Admite-se, desse modo, que existe correlação positiva entre a evaporação d'água do tanque e

¹Professor Adjunto do Departamento de Ciências Exatas/UNESP-Jaboticabal/SP, cavolpe@fcav.unesp.br

²Aluna de Doutorado na Produção Vegetal/UNESP-Jaboticabal/SP, aduarte@fcav.unesp.br

aquela do lago ou da superfície vegetada. Para o caso de superfície vegetada, alguns cuidados devem ser tomados na exposição do tanque para que a medida no tanque represente, da melhor maneira possível, a perda de água pela vegetação (PEREIRA et al., 1997).

Os tanques, em associação com outros instrumentos meteorológicos e estações, têm produzido uma enorme quantidade de dados, os quais são usados na determinação da evaporação de lagos (WMO, 1971) e na determinação da evapotranspiração de culturas (DOORENBOS & PRUITT, 1975; ALLEN et al., 1998). Muitas tentativas já foram feitas procurando relacionar a evaporação de tanques e a evaporação de lagos. Uma aproximação simples consiste no uso de um coeficiente de tanque, definido como a razão entre a evaporação do lago, ou de um tanque com diâmetro igual ou superior a 3,60 m, e a evaporação do tanque. Esse coeficiente, logicamente, deve ser apropriado para cada tanque e para determinada condição de clima, uma vez que a capacidade de armazenar energia dos tanques é menor que a dos lagos, assim como a exposição, a dimensão e o material de confecção conferem a cada tanque evaporação diferenciada. Na determinação da evapotranspiração potencial, a relação planta-tanque necessita de bastante atenção, uma vez que se deve considerar a rugosidade aerodinâmica da cultura, além da energia armazenada na água dos tanques (HOUNAM, 1971).

Existem vários tipos de tanques de evaporação; alguns instalados à superfície do solo, outros enterrados, variando também em suas dimensões e no material de construção. Os três tipos mais difundidos no mundo são o Classe A (USWB), bastante utilizado no Ocidente; enquanto o GGI-3000 e o 20 m² são mais utilizados no leste da Europa (GANGOPADHYAYA et al., 1966).

No Brasil, OLIVEIRA (1971) comparou a evaporação da água medida através de vários modelos de tanques, utilizando dados de evaporação de um e dois anos e VOLPE et al. (1983), com dados de dez anos, compararam a evaporação dos tanques Classe A, GGI-3000, Screened sunken (Young) e de 20 m². As comparações feitas até agora em vários países indicam que os tanques enterrados fornecem dados geralmente menores do que aqueles obtidos por tanques colocados acima da superfície, devido a absorção de radiação e a transferência de calor sensível entre o ar do ambiente e sua parede (GANGOPADHYAYA et al., 1966; TAN & FULTON, 1980). Valores típicos de coeficientes de tanque em

base anual, definidos como a razão entre a evaporação do lago e a evaporação do tanque, são cerca de 0,70 para o Classe A, 0,82 para GGI-3000 e próximo a unidade para o 20 m² (BRUTSAERT, 1984).

Em vista do exposto este trabalho teve como objetivos:

- estabelecer, através de análise de regressão linear, modelos estatísticos lineares entre a evaporação diária média mensal medida em quatro tanques de evaporação;
- determinar a variação da evaporação diária média mensal durante o ano, nos quatro tipos de tanques;
- determinar os coeficientes de tanque mensal e anual, definidos como a razão entre a evaporação do tanque de 20 m² (de maior área) e a evaporação de cada um dos outros tanques.

Material e métodos

O trabalho foi realizado na Estação Agroclimatológica do Campus de Jaboticabal (UNESP), que apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 21°14'05" S, 48°17'09" W e altitude de 613,68m. Os dados utilizados referem-se às leituras diárias de evaporação de água medida em tanques de 20 m² (P), Classe A (CLA), GGI-3000 (GGI) e Screened sunken (Young) (YS) por um período de 31 anos, de 1971 a 2001. Os tanques encontram-se instalados em uma área plana, devidamente gramada e sem obstáculos que possam influenciar nas leituras. Não foram computados os dias em que a água transbordou devido ao excesso de chuvas, em cada um dos tanques.

Os tanques apresentam as dimensões e características de construção e montagem recomendados pela Organização Meteorológica Mundial, conforme descrição abaixo:

Tanque de 20 m²: tanque cilíndrico, com fundo plano construído de ferro de 4 mm de espessura e enterrado no solo. A altura é de 2 m e o diâmetro de 5 m (área da superfície evaporante igual a 20 m²). É pintado internamente com uma camada de tinta branca resistente a ação da água. É composto ainda de um poço tranquilizador construído de plástico PVC resistente, de 3 mm de espessura, com formato cilíndrico, e dimensões de 15,3 cm de diâmetro e 34 cm de altura, que é o ponto onde se efetuam as

medições, pois além de fornecer um espelho de água tranqüila, apresenta uma referência fixa. Neste ponto é assentado um linímetro com capacidade de medir até 0,01 mm de variações no nível da água. Esse nível é completado quando as leituras do linímetro indicam um valor mínimo abaixo do qual podem ser introduzidos erros.

Tanque Classe A: Tanque cilíndrico de 121 cm de diâmetro (área da superfície evaporante igual a 1,15 m²) e 25,5 cm de altura, com fundo plano, construído inteiramente de chapa galvanizada (n^o 22), montado em um suporte de madeira a 10 cm acima da superfície do solo. O tanque é cheio de água até 5 cm abaixo da sua borda. A fim de que as leituras possam ser efetuadas com precisão, um poço tranquilizador é colocado dentro do tanque a fim de evitar movimento da água. As leituras são efetuadas através de um parafuso micrométrico de gancho com precisão de medidas de até 0,02 mm no nível da água. Sempre que o nível da água chegar a cerca de 10 cm da borda, esta é a resposta até seu nível normal.

Tanque GGI-3000: Tanque cilíndrico com fundo cônico construído de chapa galvanizada, com as seguintes dimensões: diâmetro interno 61,8 cm (área da superfície evaporante de 0,30 m²), altura da parede de 60 cm, profundidade no centro de 68,5 cm. O tanque é enterrado no solo, com a borda a 7,5 cm acima da superfície do solo. A parte interna do tanque é pintada com tinta branca fosca, enquanto que, externamente é aplicada uma tinta anticorrosiva, com exceção da faixa de 7,5 cm acima da superfície do solo, que recebe a mesma tinta usada no interior. Na parte central do tanque existe um cano de ½ polegada de diâmetro que é a referência fixa onde se instala o recipiente volumétrico para a retirada do volume de água a ser medido numa proveta graduada em mm. O próprio sistema de medida determina quando se deve completar o nível de água ou retirá-la quando ocorrem excessos oriundos da precipitação.

Tanque Screened sunken (Young): Tanque cilíndrico com 61 cm de diâmetro (área da superfície evaporante igual a 0,29 m²) e 90 cm de profundidade, construído com chapa galvanizada. O tanque é enterrado no solo ficando a borda a 5 cm acima da superfície do solo. Um reservatório cilíndrico de 15 cm de diâmetro é ligado ao tanque à altura de 40 cm da extremidade e serve como poço tranquilizador para as leituras com parafuso micrométrico. O tanque é pintado de branco internamente e com uma tinta anticorrosiva por fora, exceto nos 5 cm que permanece

acima da superfície do solo que, também, é pintada de branco, como no seu interior. O nível da água é completado cada vez que este atinge 10 cm abaixo da borda superior do tanque.

As leituras do nível da água nos quatro tanques e da precipitação, quando ocorreu, foram efetuadas por volta das 7 horas local. Os dados referentes às precipitações foram obtidos através de um pluviômetro modelo Ville de Paris, instalado próximo ao local dos tanques.

A evaporação diária em cada tanque foi obtida pela equação $P \pm \Delta h$, onde P é a precipitação (em mm) e Δh é a variação no nível da água (mm) em cada tanque. A variação de nível (Δh) era obtida pela diferença entre a leitura inicial e a leitura final, num intervalo de 24 horas.

Com os dados diários da evaporação obtidos nos tanques efetuaram-se análises de regressão e estudos de correlação para cada mês, entre o tanque de 20 m² e o Classe A, o GGI-3000 e o Screened sunken (Young); entre o Classe A e o GGI-3000 e o Screened sunken (Young), e ainda entre o GGI-3000 e o Screened sunken (Young). Aplicou-se o teste F da análise de variância para regressão linear, determinaram-se o coeficiente de determinação (R^2) e o coeficiente de variação (CV). Foram também calculadas as razões entre o tanque de 20 m² com os demais. Para isto utilizou-se o pacote estatístico SAS (1990).

Resultados e discussão

As equações das retas de regressão obtidas a partir de dados de evaporação medida no tanque de 20m² (padrão) e nos tanques Classe A, GGI-3000 e Screened sunken (Young) estão apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3. Pode-se descrever a evaporação do tanque de 20 m² em função do tanque Classe A, GGI-3000 e Screened sunken (Young) através das equações apresentadas, embora em alguns meses, o coeficiente de determinação (R^2) seja pequeno. Isto significa que outros fatores, como velocidade do vento e déficit de pressão de vapor, devam ser considerados nas correlações.

Na Tabela 1, observa-se que em todos os meses, exceto maio, a regressão linear foi significativa ($P < 0,01$) indicando que existe uma relação funcional entre a evaporação de água no tanque Classe A e a evaporação de água no tanque de 20 m². Porém, os

Tabela 1. Equações de regressão linear entre a evaporação (mm d^{-1}) do tanque de 20m^2 (Y) e a evaporação (mm d^{-1}) do tanque Classe A (X); teste F, coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de variação (CV).

Mês	Equação	F	R^2	CV
JAN	$Y=1,35+0,55X$	37,95**	0,61	9,55
FEV	$Y=1,99+0,47X$	17,13**	0,42	9,57
MAR	$Y=2,08+0,44X$	12,48**	0,33	8,21
ABR	$Y=2,15+0,39X$	11,80**	0,33	7,79
MAI	$Y=2,63+0,16X$	1,38 ^{ns}	0,05	8,63
JUN	$Y=1,13+0,42X$	14,27**	0,37	9,39
JUL	$Y=1,69+0,32X$	13,94**	0,37	7,95
AGO	$Y=1,36+0,41X$	35,51**	0,60	7,63
SET	$Y=1,00+0,53X$	123,67**	0,84	6,00
OUT	$Y=1,37+0,51X$	134,39**	0,85	5,03
NOV	$Y=2,60+0,38X$	32,60**	0,60	6,13
DEZ	$Y=1,10+0,60X$	74,31**	0,76	6,37

** significativo a 1% ns não significativo

baixos valores de R^2 , principalmente nos meses de outono e inverno, indicam que a variação entre a evaporação dos dois tanques é pouco explicada pela regressão. Os altos valores dos coeficientes lineares das retas (1,00 a 2,63) associados aos coeficientes angulares muito abaixo da unidade, indicam que não há boa exatidão entre as medidas observadas nos dois tipos de tanque.

Quanto à regressão linear entre a evaporação da água do tanque GGI-3000 e a evaporação de água do tanque de 20 m^2 , nota-se na Tabela 2 que apenas nos meses de abril e maio ela não foi significativa ($P>0,01$). Os valores de R^2 são baixos em todos os meses do ano. Os altos valores dos coeficientes lineares das retas, assim como os valores dos coeficientes angulares muito abaixo da unidade, indicam que não há exatidão entre os valores observados de evaporação nos tanques GGI-3000 e de 20 m^2 .

Observa-se na Tabela 3 que o mesmo ocorre com a regressão linear entre a evaporação da água do tanque de 20 m^2 e a evaporação da água do tanque Screened sunken (Young), exceto nos meses de abril e junho, onde não é significativo ($P>0,05$) e nos meses de janeiro, março e maio onde é significativo ao nível de 5% de probabilidade.

A regressão linear entre a evaporação da água do Tanque Classe A e a evaporação da água do tanque GGI-3000, assim como a regressão linear entre a evaporação da água do Tanque Classe A e a evaporação da água do tanque Screened sunken foi

Tabela 2. Equações de regressão linear entre a evaporação (mm d^{-1}) do tanque de 20m^2 (Y) e a evaporação (mm d^{-1}) do tanque GGI-3000 (X); teste F, coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de variação (CV).

Mês	Equação	F	R^2	CV
JAN	$Y=3,03+0,32X$	9,76**	0,29	11,16
FEV	$Y=2,80+0,39X$	12,85**	0,35	10,11
MAR	$Y=1,78+0,55X$	21,97**	0,48	7,33
ABR	$Y=3,78+0,07X$	0,49 ^{ns}	0,02	9,41
MAI	$Y=2,67+0,17X$	4,14 ^{ns}	0,15	8,20
JUN	$Y=1,80+0,28X$	13,31**	0,36	9,39
JUL	$Y=2,19+0,06X$	19,43**	0,45	7,43
AGO	$Y=2,24+0,32X$	13,67**	0,36	9,59
SET	$Y=2,30+0,38X$	29,15**	0,52	10,06
OUT	$Y=2,99+0,33X$	23,39**	0,50	9,27
NOV	$Y=3,26+0,32X$	27,58**	0,56	6,44
DEZ	$Y=2,32+0,46X$	14,51**	0,39	10,26

** significativo a 1% ns não significativo

significativa ($P<0,05$) em todos os meses (Tabelas 4 e 5), exceto nos meses de maio, no primeiro caso, e no mês de julho no segundo caso. Em ambos os casos foram baixos os coeficientes de determinação (R^2). Os valores dos coeficientes linear e angular da reta mostram que não há exatidão entre a evaporação observada no tanque Classe A e nos tanques GGI-3000 e Screened sunken.

Tabela 3. Equações de regressão linear entre a evaporação (mm d^{-1}) do tanque de 20m^2 (Y) e a evaporação (mm d^{-1}) do tanque Screened sunken (Young) (X); teste F, coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de variação (CV).

Mês	Equação	F	R^2	CV
JAN	$Y=3,39+0,26X$	4,50*	0,16	12,14
FEV	$Y=2,18+0,50X$	12,72**	0,35	10,13
MAR	$Y=3,49+0,22X$	6,20*	0,20	8,99
ABR	$Y=3,05+0,23X$	2,27 ^{ns}	0,09	9,09
MAI	$Y=2,56+0,19X$	4,44*	0,16	8,16
JUN	$Y=2,26+0,14X$	2,67 ^{ns}	0,10	11,25
JUL	$Y=2,02+0,29X$	10,37**	0,30	8,36
AGO	$Y=1,94+0,37X$	16,43**	0,41	9,25
SET	$Y=1,73+0,48X$	34,61**	0,60	9,57
OUT	$Y=1,53+0,55X$	29,61**	0,56	8,70
NOV	$Y=3,38+0,29X$	13,12**	0,37	7,65
DEZ	$Y=1,84+0,54X$	17,21**	0,43	9,91

** significativo a 1% * significativo a 5%
ns não significativo

Tabela 4. Equações de regressão linear entre a evaporação (mm d⁻¹) do tanque Classe A (Y) e a evaporação (mm d⁻¹) do tanque GGI-3000 (X); teste F, coeficiente de determinação (R²) e coeficiente de variação (CV).

MÊS	EQUAÇÃO	F	R ²	CV
JAN	Y=3,32+0,54X	15,72**	0,40	11,24
FEV	Y=2,60+0,66X	28,30**	0,54	9,16
MAR	Y=2,49+0,64X	14,04**	0,36	8,46
ABR	Y=3,34+0,37X	7,41*	0,24	10,00
MAI	Y=3,31+0,18X	2,38 ^{ns}	0,09	9,84
JUN	Y=2,79+0,31X	6,35*	0,21	10,90
JUL	Y=3,40+0,32X	6,26*	0,21	11,51
AGO	Y=2,81+0,64X	16,77**	0,41	11,08
SET	Y=2,74+0,68X	32,68**	0,59	11,38
OUT	Y=3,38+0,62X	26,28**	0,53	11,32
NOV	Y=2,99+0,66X	27,41**	0,55	9,71
DEZ	Y=2,52+0,69X	15,52**	0,40	11,37

** significativo a 1% * significativo a 5%
ns não significativo

A regressão linear entre a evaporação do tanque Screened sunken e a evaporação da água do tanque GGI-3000 não foi significativa (P>0,01) apenas nos meses de maio e junho (Tabela 6). Os valores dos coeficientes de determinação são baixos e, por se tratarem de dois tanques enterrados e praticamente com a mesma área de superfície evaporante, os valo-

Tabela 6. Equações de regressão linear entre a evaporação (mm d⁻¹) do tanque GGI-3000 (Y) e a evaporação (mm d⁻¹) do tanque Screened sunken (Young) (X); teste F, coeficiente de determinação (R²) e coeficiente de variação (CV).

Mês	Equação	F	R ²	CV
JAN	Y=0,36+0,95X	73,90**	0,75	9,67
FEV	Y=-0,98+1,17X	121,69**	0,84	6,90
MAR	Y=2,98+0,41X	22,22**	0,47	8,13
ABR	Y=0,41+0,89X	13,25**	0,36	13,28
MAI	Y=2,29+0,38X	3,25 ^{ns}	0,12	16,78
JUN	Y=2,87+0,14X	0,57 ^{ns}	0,02	20,16
JUL	Y=0,28+0,94X	18,12**	0,43	16,02
AGO	Y=1,05+0,77X	23,17**	0,49	12,48
SET	Y=0,73+0,87X	25,53**	0,53	15,77
OUT	Y=-1,37+1,20X	31,99**	0,58	14,43
NOV	Y=1,76+0,70X	14,91**	0,40	14,27
DEZ	Y=-0,14+1,01X	114,85**	0,83	6,24

** significativo a 1% ns não significativo

Tabela 5. Equações de regressão linear entre a evaporação (mm d⁻¹) do tanque Classe A (Y) e a evaporação (mm d⁻¹) do tanque Screened sunken (Young) (X); teste F, coeficiente de determinação (R²) e coeficiente de variação (CV).

Mês	Equação	F	R ²	CV
JAN	Y=3,99+0,42X	6,11*	0,20	12,91
FEV	Y=1,52+0,85X	29,05**	0,55	9,09
MAR	Y=3,54+0,43X	20,21**	0,45	7,87
ABR	Y=2,06+0,64X	10,91**	0,31	9,49
MAI	Y=2,16+0,48X	23,68**	0,50	7,32
JUN	Y=2,32+0,43X	18,83**	0,44	9,18
JUL	Y=3,20+0,37X	3,79 ^{ns}	0,14	12,00
AGO	Y=1,38+0,92X	53,19**	0,69	8,05
SET	Y=1,31+0,91X	66,26**	0,74	8,99
OUT	Y=0,26+1,09X	46,65**	0,67	9,53
NOV	Y=2,18+0,76X	33,14**	0,60	9,19
DEZ	Y=1,69+0,83X	20,27**	0,47	10,73

** significativo a 1% * significativo a 5%
ns não significativo

res dos coeficientes lineares foram melhores e os coeficientes angulares foram mais próximos a unidade, indicando que são mais próximos os valores de evaporação observados nesses tanques.

O coeficiente de tanque, ou a razão entre a evaporação média diária mensal do tanque de 20m² e os demais tanques, variou de 0,64 a 0,83 para o tanque Classe A, de 0,77 a 0,93, para o GGI-3000 e de 0,76 a 0,92 para o Screened sunken, com valores médios anuais de 0,75, 0,85 e 0,84, respectivamente (Tabela 7). Os valores para cada tanque variaram em função do mês, e essa variação está em concordância com os dados de OLIVEIRA (1971), obtidos para Piracicaba, e os dados das estações de Valday e Duborka, publicados em GANGOPADHYAYA et al. (1966). O coeficiente médio anual de 0,75 obtido para o Classe A é, praticamente, igual ao obtido por OLIVEIRA (1971) para Piracicaba (0,76) e ao obtido na estação de Valday (0,77) e pouco superior ao encontrado na estação de Duborka (0,68) (GANGOPADHYAYA et al., 1966). O valor de 0,85 encontrado para o GGI-3000 foi praticamente igual ao valor do Screened sunken (Young) (0,84). O coeficiente médio anual do GGI-3000, de 0,85, foi obtido em 31 anos de observações, enquanto no trabalho de OLIVEIRA (1971) com dois anos de observações, este coeficiente foi de 0,95, valor bem superior ao obtido para Jaboticabal no presente trabalho. O GGI-3000 e o Screened sunken (Young) por apresentarem maior

Tabela 7. Valores médios diários de evaporação (mm d⁻¹) medida em diferentes evaporímetros para cada mês, no período de 1971 a 2001, em Jaboticabal, SP e razão entre a evaporação do tanque de 20 m² e a evaporação dos demais evaporímetros.

Mês	Tanque de 20 m ² (P)	Classe A (CLA)	GGI-3000 (GGI)	Screened sunken (YS)	P/CLA	P/GGI	P/YS
JAN	4,78	6,21	5,34	5,29	0,77	0,90	0,90
FEV	4,95	6,26	5,54	5,53	0,79	0,89	0,90
MAR	4,61	5,76	5,22	5,14	0,80	0,88	0,90
ABR	4,10	5,02	4,54	4,65	0,82	0,90	0,88
MAI	3,30	4,01	3,77	3,85	0,82	0,88	0,86
JUN	2,76	3,84	3,37	3,54	0,72	0,82	0,78
JUL	3,20	4,69	4,11	4,10	0,68	0,78	0,78
AGO	3,81	5,99	4,93	5,01	0,64	0,77	0,76
SET	4,54	6,70	5,84	5,92	0,68	0,78	0,77
OUT	5,15	7,40	6,50	6,53	0,70	0,79	0,79
NOV	5,34	7,24	6,45	6,67	0,74	0,83	0,80
DEZ	5,34	6,47	5,73	5,79	0,83	0,93	0,92
MÉDIA	4,32	5,80	5,11	5,17	0,75	0,85	0,84

coeficiente de tanque que o Classe A apresentou evaporação mais próxima a de um lago, representada **aqui pelo Tanque de 20 m²**.

Segundo HOUNAM (1973) existem evidências de que o coeficiente dos tanques apresenta marcada variação estacional. A principal causa da variação estacional no coeficiente dos tanques é o calor armazenado no lago ou em tanques maiores, determinando defasagem entre a evaporação e a radiação solar. Outro fator que contribui é a diferença que existe entre a transferência advectiva de calor nos tanques, especialmente os situados acima do nível do solo, e nos lagos.

KOHLER et al., citados por HOUNAM (1973), avaliaram nos Estados Unidos a variação geográfica do coeficiente do tanque Classe A. Eles encontraram altos valores de coeficientes ($\approx 0,80$) associados a regiões de alta umidade do ar e baixa radiação solar. Em regiões de clima quente e seco, o coeficiente apresenta valores tão baixos como 0,60.

A maneira direta de contornar o problema da variabilidade geográfica é através de determinação local ou regional do coeficiente de tanque. Outra aproximação é ajustar a evaporação do tanque em função das condições locais e utilizar um coeficiente médio; esse é o método indicado pela Organização Meteorológica Mundial (BERLATO & MOLION, 1981).

Embora não existam observações quantitativas suficientes sobre essas interações,

algumas considerações qualitativas podem ser feitas. No que se refere à radiação solar, um tanque enterrado, como o GGI-3000, não absorve quantidade significativa de radiação solar através de suas paredes verticais. Também o albedo de um tanque desse tipo não deve ser muito diferente do albedo de um lago. Entretanto, num tanque situado a alguns centímetros acima do nível do solo, como o Classe A, há interceptação e absorção pelas paredes. Também nesse tanque, o ar flui em volta do tanque e por baixo dele, tornando a advecção de energia fator importante (BERLATO & MOLION, 1981).

Os fatores citados modificam as condições do balanço de radiação entre tanques elevados e enterrados, ocasionando diferenças na temperatura da água entre os tanques, na pressão de vapor do ar e apresentando diferenças marcantes em relação ao lago.

Na Tabela 7 observa-se que o Tanque Padrão (20 m²) apresenta, em média, 75% da evaporação do tanque Classe A, 85% da evaporação do GGI-3000 e 84% da evaporação do Screened sunken (Young).

Sabe-se que a taxa de evaporação depende da área da superfície de água do tanque que interage com a atmosfera. A evaporação diminui exponencialmente com o aumento da área da superfície do tanque. Dessa forma, o Tanque de 20 m², por apresentar maior área da superfície evaporante, apresenta menor taxa de evaporação que os demais. Praticamente, não há diferenças entre as taxas de evaporação dos tanques GGI-3000 e Screened sunken

(Young), pois ambos são enterrados e possuem quase as mesmas dimensões. O tanque Classe A, mesmo apresentando maiores dimensões que o GGI-3000 e Screened sunken (Young), apresenta maior taxa de evaporação, isto porque o tanque Classe A está sempre exposto completamente às condições ambientais, pois não está enterrado.

O valor médio diário anual da evaporação no Tanque de 20 m² foi de 4,32 mm d⁻¹, variando de 2,76 mm d⁻¹, no mês de junho, a 5,34 mm d⁻¹, nos meses de novembro e dezembro. Nos tanques GGI-3000 e Screened sunken (Young), os valores médios diários anual foram, respectivamente, de 5,11 e 5,17 mm d⁻¹, variando de 3,37 mm d⁻¹, no mês de junho, a 6,50 mm d⁻¹, no mês de outubro, para o tanque GGI-3000, e variando, no Screened sunken (Young) de 3,54 mm d⁻¹, no mês de junho, a 6,67 mm d⁻¹ no mês de novembro. No tanque Classe A, a evaporação média diária anual foi de 5,80 mm d⁻¹, variando de 3,84 mm d⁻¹, no mês de junho, a 7,40 mm d⁻¹, no mês de outubro.

Os três tipos de tanques forneceram valores médios mensais de evaporação superiores aos obtidos com o tanque de 20 m², em todos os meses do ano (Figura 1). A maior diferença foi encontrada entre os tanques de 20 m² e o Classe A, devido, principalmente por se tratar de um tanque colocado acima da superfície do solo, onde ao contrário dos outros tanques que se encontram enterrados, recebe radiação através de suas paredes, como também há troca de calor com o ar ambiente.

Conclusões

Independentemente do mês, a evaporação dos tanques GGI-3000 e Young Screen foram praticamente

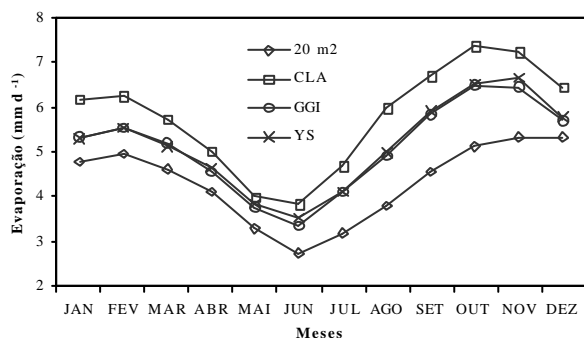


Figura 1. Variação da evaporação média diária mensal medida em diferentes tanques ao longo do ano em Jaboticabal, SP.

iguais, e seus valores mais próximos ao tanque de 20 m², quando comparados com o tanque Classe A. Todos os tanques estudados apresentaram taxa média de evaporação superior ao Tanque padrão (20 m²). De maneira geral, observa-se que a regressão linear entre a evaporação dos tanques, embora significativa em praticamente todos os meses, apresenta baixos valores de coeficientes de determinação.

Referências bibliográficas

- ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration**. Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 299 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- BERLATO, M.A.; MOLION, L.C.B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. 95 p. (Boletim Técnico, n. 7).
- BRUTSAERT, W. **Evaporation into the atmosphere**. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company., 1984. 299 p.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Roma: FAO, 1975. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- GANGOPADHYAYA, M. et al. **Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration**. Geneva: WMO. 1966. 121 p. (Technical Note, 83).
- HOUNAM, C.E. **Problems of evaporation assessment in the water balance**. Geneva: WMO. 1971, 80 p. (Technical Note, 13).
- HOUNAM, C.E. **Comparison between pan and lake evaporation**. Geneva: WMO. 1973, 52 p. (Technical Note, 126).
- OLIVEIRA, A.S. **Estudos comparativos da evaporação potencial estimada por tanques e pelo método de Penman**. Piracicaba: USP, 1971. 91 p, Tese (Livro docência), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1971.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 183 p, 1997.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**. 5. ed. Cary, 1990. V. 1, 956 p.
- SILVA, J.F. et al. Comparação de dados de tanques classe A em estação meteorológica de superfície. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001. Fortaleza, **Anais...**, Fortaleza: FUNCEME, 2001. p 799-800.
- TAN, C.S.; FULTON, J.M. Ratio between evapotranspiration of irrigated crops from floating

lysimeters and Class A pan evaporation, **Canadian Journal of Plant. Science**, v. 60, p. 197-201, 1980.

VOLPE, C.A.; ANDRÉ, R.G.B.; VALARELLI, J.P. Comparação da evaporação medida em diferentes evaporímetros e em tanque padrão (20m In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA,

3., 1983. Campinas, **Anais...**, Campinas: IAC, 1983, p. 191-203.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Guide to meteorological instrument and observing practices**. Genebra: WMO, 1971. 355 p. (WMO n° 8, TP,3).