

MEDIDA E ESTIMATIVA DA EVAPORAÇÃO NOTURNA DO TANQUE CLASSE A

JONES SIMON¹, LUIZ ROBERTO ANGELOCCI², FÁBIO VALE SCARPARE³,
ANDREA I. IRIGOYEN⁴, DERBLAI CASAROLI⁴, FÁBIO SCHWINGEL⁵

¹ Engenheiro Agrônomo, doutorando em Agronomia do PPG em Física do Ambiente Agrícola - ESALQ/USP, bolsista CAPES. Av. Pádua Dias, 11- CP 9, Piracicaba – SP, CEP 13.418-900, Fone: (19) 3429-4283 R: 236, E-mail: jsimon@esalq.usp.br

² Doutor em Agronomia, Professor Associado do Departamento de Ciências Exatas - ESALQ/USP, Piracicaba – SP. Bolsista do CNPq

³ Engenheiro Agrônomo, mestrando em Agronomia do PPG em Física do Ambiente Agrícola - ESALQ/USP, Piracicaba – SP.

⁴ Engenheiro(a) Agrônomo(a), Doutorando(a) em Agronomia do PPG em Física do Ambiente Agrícola - ESALQ/USP, Piracicaba – SP.
⁵ Engenheiro(a) Agrônomo(a), ESALQ/USP, Piracicaba – SP.

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - 02 a 05 de julho de 2007 –
Aracaju – SE

RESUMO: Os evaporímetros têm enorme aplicação em estudos de relações hídricas, principalmente o tanque Classe A. A evaporação de uma superfície de água livre é função do gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante e o ar. Pela existência desse gradiente à noite, pode ocorrer intensa evaporação do tanque nesse período, mesmo sem a presença da radiação solar. Neste trabalho foi determinada a proporção da evaporação noturna na evaporação diária total e, também, estudada a aplicabilidade do modelo de Dalton para estimar essa evaporação noturna. As medidas foram obtidas da média de 3 tanques em Piracicaba, SP. O desempenho do modelo de Dalton foi avaliado através de regressão linear entre os valores previstos pelo modelo e os medidos. A evaporação noturna representou, em média, 49% da diária, sendo superior no outono-inverno (53%), e 47% na primavera-verão. O modelo proposto por Dalton forneceu uma boa estimativa da evaporação noturna, na média do ano (subestimativa média de 7%), mas com dispersão elevada ($R^2=0,68$). Quando se comparam dados por período do ano, a equação de Dalton permitiu melhora da estimativa no outono – inverno do que na primavera – verão.

PALAVRAS CHAVE: evaporação noturna, tanque classe A, estação climatológica.

NIGHTTIME CLASS A PAN EVAPORATION: MEASUREMENT AND ESTIMATE

ABSTRACT: Evaporimeters like class A pan has a great applicability in hydrologic studies. Free water surface evaporation is function of the vapor pressure gradient between evaporative surface and the air. Due to the existence of this gradient at night, intensive nighttime evaporation may occur even without solar radiation. The aim of this study was to find out nighttime evaporation along daily period (24-h) and also evaluate the applicability of Dalton's model to estimate nighttime evaporation. It was used average records from three pans in Piracicaba-SP, Brazil. The performance of the evaporation estimate model proposed by Dalton was appraised by linear regression using predict data suggested by the model and records taken from the pans. Nighttime evaporation was responsible for 49% of daily period, upper in autumn-winter (53%), and 47% in spring-summer. The model proposed by Dalton showed good nighttime estimation, in yearly period (average underestimate of 7%), whereas it showed high dispersion ($R^2=0,68$). When records are compared in different periods of the year, Dalton's model allowed improving autumn-winter than the spring-summer evaluation.

KEYWORDS: night-time evaporation, class A pan, climatology station

INTRODUÇÃO: Os evaporímetros têm enorme aplicação nos estudos com relações hídricas, sendo o Tanque Classe A, o mais difundido no mundo. Um dos problemas do seu uso é a defasagem que pode ocorrer entre as condições de demanda atmosférica e a evaporação neles medida. Como a evaporação é função do gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante e o ar, mesmo sem radiação solar à noite, ela pode continuar ocorrendo em alta taxa. Independente do clima, essa evaporação noturna pode ser apreciável, como observou HYPSEY (2006) ao trabalhar com represas na Austrália. O fluxo de uma determinada propriedade que ocorre a partir de uma superfície natural é regulado primordialmente pela diferença de concentração dessa propriedade na superfície e no ar, e por uma resistência aerodinâmica à sua difusão (PEREIRA et al., 1997). Desta forma, o ar em movimento, gera constantemente um gradiente de pressão de vapor, em função da temperatura da superfície líquida e do ar, da própria pressão de vapor do ar e da velocidade do vento. A evaporação a partir de qualquer superfície úmida é consequência dos efeitos combinados de vento, umidade da atmosfera e das características físicas da superfície. Segundo KUCERA (1954), sob certas condições ambientais, a evaporação pode ser independente do déficit de saturação. Porém, para pequenas superfícies, cujas temperaturas deveriam seguir de perto a temperatura do ar, GORDON (1940) propôs que uma alta correlação é possível entre a evaporação e o déficit de pressão. O objetivo deste trabalho foi determinar a importância da evaporação noturna em relação à evaporação diária, e verificar sua relação com o modelo proposto por Dalton (DEACON et al., 1958).

MATERIAL E MÉTODOS: As medidas foram realizadas no Posto Agrometeorológico da ESALQ/USP (latitude: 22°30'30''S, longitude: 47°38'00''W e altitude: 456m), Piracicaba, SP, utilizando-se uma série 24 meses de observações de três tanques Classe A. As medidas nos tanques foram feitas por parafuso micrométrico durante cinco dias na semana, e simultaneamente, pelo uso de um sistema automático marca Novalinx Systems, acoplado a um sistema de aquisição de dados Campbell Scientific, mod. CR-10X. No interior de cada tanque, a cerca de 15 cm do seu fundo, foi instalado um termopar de cobre-constantan, protegido por um microabrigo constituído de tubo de PVC branco com diâmetro interno de 100 mm, permitindo ter-se uma temperatura média da água. As medidas na datalogger eram efetuadas a cada minuto, com médias tiradas a cada 15 min. As leituras de parafuso micrométrico eram realizadas todos os dias às 7h30min, hora local. Uma filtragem dos dados eliminou os dias de medidas com problemas, devido às chuvas e transbordamento do tanque, lavagem, problemas no sistema automático. Um trabalho anterior com esses dados mostrou que o sistema automático teve bom desempenho, quando comparado com as medidas com parafuso micrométrico (SCHWINGEL et al., 2001), de modo que os dados automáticos acabaram sendo utilizados, pois eles é que permitiam separar a evaporação diurna e a noturna. MCGINN & McLEAN (1995), comparando sensores automáticos de medida e medidas manuais de evaporação encontraram diferença significativa naquelas coletadas no sistema potenciométrico, em nível de 5% para o teste *t* de Student. Eles recomendam uma série de cuidados para minimizar estes erros. Foi considerada como evaporação noturna a médias das medidas que ocorreram no período entre 18h00min de um dia e 07h00min do dia seguinte. Os valores de evaporação noturna foram comparados com aqueles estimados pela equação de Dalton (DEACON et al., 1958; CAMARGO & CAMARGO, 1985; PEREIRA et al., 1997):

$$E = [(e_s - e_a) \cdot f(u)] / \lambda \quad (1)$$

em que E = evaporação por unidade de tempo (mm.d^{-1}); e_s = pressão do vapor em função da temperatura da superfície evaporante (kPa); e_a = pressão do vapor na atmosfera acima (kPa); $f(u)$ = função da velocidade horizontal do vento ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}.\text{kPa}^{-1}$) e; $\lambda = 2,45 \text{ MJ.L}^{-1}$.

$$f(u) = m(a + bu) \quad (2)$$

em que $f(u)$ = função da velocidade horizontal do vento; $m = 6,43 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}.\text{kPa}^{-1}$; $a = 1$; $b = 0,526 \text{ s.m}^{-1}$ e u é a velocidade do vento a 2 m de altura (m.s^{-1}). PENMAN (1948) definiu os primeiros valores para a equação da função de vento. O valor de a proposto por VILLA NOVA & REICHARDT (1989) para a evaporação de uma superfície de água livre é de 0,5. A utilização do déficit de pressão de saturação, na equação de Dalton, é baseada na suposição de que as temperaturas da superfície da água e do ar são de mesma grandeza (SEDIYAMA, 1996). Com os dados obtidos foram realizadas análises de estatística descritiva, verificando-se a confiabilidade dos dados individuais e após realizou-se as regressões lineares entre os dados de evaporação de tanque e as estimativas, e as relações entre as medidas noturnas e diárias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na tabela 1 apresentam-se os dados diários (24 horas) e noturnos de evaporação de tanque medidos por sistema automático em tanques classe A, sendo estes subdivididos em duas estações (primavera-verão, outono-inverno), ainda sua descrição estatística e relação entre ambas, mostrando a importância da evaporação noturna no total diário.

Os valores de evaporação de primavera-verão foram bem superiores ao outono-inverno, sendo 99% e 81% maiores para evaporação diária e noturna, respectivamente. Esse valor relativo menor para evaporação noturna mostra que, quando se subtrai o termo radiativo da relação, as diferenças entre estações ficam menos salientes. Esta tendência foi visualizada também nos valores de relação E_N/E_T encontrados, sendo maior na estação de outono-inverno. Em ambas as estações, a evaporação noturna representou uma alta fração da diária, cerca de 53% no outono-inverno e 48% na primavera-verão, com média de 49% no ano, sendo um pouco maior no outono-inverno. Trabalhando em dez regiões da Austrália, HIPSEY (2006) encontrou que, em média, entre 35–45% do total de perda de água por evaporação ocorre no período noturno, e ainda que para os meses de inverno esta contribuição pode chegar a valores de 55-70%. Estes valores mais elevados ocorrem em função de um maior número de horas com velocidades de vento menores, o que favorece o aumento na frequência das perdas pelo processo de convecção livre. Deve-se lembrar que no trabalho na Austrália, a evaporação medida foi de uma superfície extensa de água livre, representada por represas.

Tabela 1. Comparação entre os valores de evaporação noturna e evaporação diária entre estações e o total de dados, e a relação E_N/E_T . $F = 0,05$

Período	Evaporação diária (E_T)			Evaporação Noturna (E_N)			Relação E_N/E_T
	Média	D. Padrão	F	Média	D. Padrão	F	
Prim/Ver	6,54	1,88	0,59	3,13	0,88	0,30	0,478
Out/Inv	3,28	0,71	0,16	1,73	0,32	0,07	0,529
Total	4,64	1,76	0,24	2,29	0,84	0,11	0,493

A perda evaporativa noturna tem sua importância evidente quando se fala em evapotranspiração e introduz-se o fator planta na equação. Segundo MALEK (1992), a evapotranspiração noturna pode ser uma parte importante da evapotranspiração nas 24h,

principalmente em áreas com elevada velocidade do vento, encontrando valores de até 14% em cultivo com alfafa irrigada. Entretanto, por se tratar de superfície de água livre, a evaporação do tanque classe A é maior do que a evapotranspiração, na qual se soma o fator da perda transpiratória ser regulada pelos estômatos da planta.

Muitas relações têm sido feitas com o objetivo de estimar a evaporação em função das variáveis do ambiente que a coordenam no período noturno, trabalhos como o de KUCERA (1954), McGINN & McLEAN (1995) buscam relacioná-la com o déficit de pressão, com a velocidade do vento e com a temperatura do ar. No caso presente, empregou-se um modelo simples baseado nas deduções de Dalton e que vários autores aperfeiçoaram para uma aplicação confiável e que considere integrados os efeitos de vento, déficit de pressão e temperatura da superfície evaporante em uma só equação.

A regressão linear entre a evaporação medida e a estimada desta forma apresentou boa exatidão (coeficiente angular da reta igual a 0,93) e boa precisão na média do ano ($r^2 = 0,68$) embora nos valores mais elevados, a dispersão dos dados seja maior (Figura 1). Quando se divide em dois períodos anuais (Figura 2), observa-se uma melhora na exatidão dos dados para outono-inverno ($b = 1,005$), com um aumento na dispersão dos dados ($r^2 = 0,663$), enquanto no período primavera-verão, a dispersão de dados torna-se menor ($r^2 = 0,703$), mas com uma exatidão prejudicada ($b = 0,826$). MARQUES FILHO & RIBEIRO (1986) comentam que medidas diárias apresentam baixa correlação, pois o período estudado é pequeno e a evaporação noturna sofre influência por defasagem, de fatores que ocorreram no dia anterior, sendo a melhor forma de estudá-la, trabalhando-se com médias semanais ou mensais. Entretanto, mesmo com os valores diários é possível verificar que o uso da equação de Dalton permite uma boa estimativa da evaporação noturna do tanque.

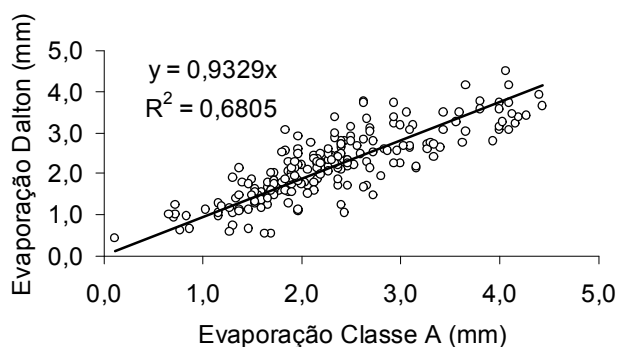


Figura 1. Regressão linear entre a evaporação do tanque Classe A e a estimativa pela equação proposta por Dalton, para o total de dados coletados, Piracicaba, 1999 – 2001.

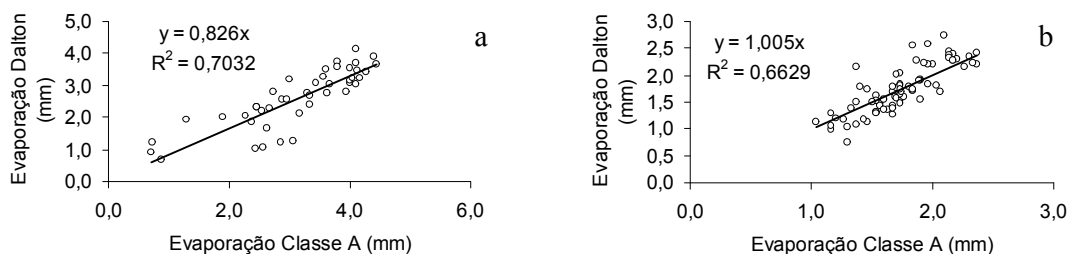


Figura 2. Regressão linear entre a Evaporação do tanque Classe A e a estimativa pela equação proposta por Dalton, para primavera-verão (a) e outono-inverno (b), Piracicaba, 1999 – 2001.

CONCLUSÕES: A evaporação noturna é quantitativamente de grande importância no total diário, representando em média 50% do total. Ela reflete em parte as condições do período diurno, pelo armazenamento de calor na água do tanque, mas também das condições noturnas de demanda atmosférica. Esse aspecto, que pode gerar defasagem entre a evapotranspiração de uma cobertura vegetal e a evaporação do tanque, precisa ser mais bem estudado e considerado no uso do tanque classe A em estudos de consumo de água das culturas, principalmente em escala diária.

A evaporação noturna calculada através da equação de Dalton fornece uma boa estimativa da evaporação que ocorre no tanque para dados diários, embora a literatura prefira trabalhar com médias de períodos maiores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.
- DEACON, E.L.; PRIESTEY, C.H.B.; SWINBANK, W.C. Evaporation and the water balance. In: Arid Zone Research. **Climatology: Reviews of research**. Paris: UNESCO, 1958. p. 9-34.
- GORDON, W. E. Normograms for the conversion of psychrometric data into expressions of vapor pressure, dew point, relative humidity, or vapor pressure deficit. **Ecology**, v. 21:505-508, 1940.
- HIPSEY, M. R. **The significance of night time evaporation from irrigation farm dams: summary report**. Canberra : Land & Water Australia, 2006. 6 p.
- KUCERA, C. L. Some Relationships of Evaporation Rate to Vapor Pressure Deficit and Low Wind Velocity. **Ecology**, vol. 35, n. 1, p. 71-75, 1954.
- MALEK, E. Night-Time Evapotranspiration vs Daytime and 24-h Evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, 138(1-2):119-129, 1992.
- MARQUES FILHO, A. O.; RIBEIRO, M. N. G. Evaporação do tanque classe A e a sua relação com parâmetros climáticos. **Acta Amazônica**, v. 17, p. 263-272, 1986.
- McGINN, S.; McLEAN, H. Monitoring Free-Water Evaporation at Automated Weather Stations. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**: v. 12, n. 6, p. 1363-1366, 1995.
- PENMAN, H. C. Natural evapotranspiration from open water, bare soil and grass. **Proceedings of Royal Society London**, v. A193, 120-145, 1948.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. FEALQ, 183p. 1997.
- SCHWINGEL, F.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Comparação de medidas de evaporação do tanque Classe A com parafuso micrométrico e com sistema automático. In: **Anais do XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e da III Reunião Latino-americana de Agrometeorologia**, Fortaleza-CE, p. 415-416, 2002.
- SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. i-xii, 1996.
- VILLA NOVA, N. A. & REICHARDT, K. **Evaporação/Evapotranspiração de um ecossistema e suas relações com o meio ambiente**. Engenharia Hidrológica, Rio de Janeiro, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 2:145-197, 1989.