



Departamento de Ciências Exatas
Disciplina: Métodos Instrumentais de Análise Física do Ambiente
Prof. Dr. Sergio Oliveira Moraes

**Evapotranspiração e sua medida
por lisímetro de pesagem.**

Cícero Renê A. Barboza Júnior

Piracicaba-SP
Julho de 2009

Introdução

O clima é um dos fatores mais importantes que determina as necessidades hídricas de uma cultura para crescimento e rendimento ótimos, sem quaisquer limitações (Doorenbos & Kassam, 1994). As necessidades hídricas da cultura são normalmente expressas mediante a taxa de evapotranspiração da cultura (ET_c), também conhecida como evapotranspiração máxima (ET_m), a qual está relacionada à demanda evaporativa do ar, que por sua vez pode ser expressa pela evapotranspiração de referência (ET_o), por meio do coeficiente de cultura (K_c) (Pereira et al., 1997). Este trabalho faz uma breve revisão sobre Evapotranspiração de Referência e de Cultura, bem como sobre o método de medição direta por lisimetria.

Evapotranspiração de Referência (ET_o)

Doorenbos & Pruitt (1977), definiram ET_o como aquela que ocorre em uma extensa área de grama com altura de 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água. Essa definição vai ao encontro da definição de evapotranspiração potencial postulada por C. W. Thornthwaite, que segundo Camargo & Camargo (2000), utilizou o termo evapotranspiração potencial (ET_p) para expressar a ocorrência simultânea dos processos de transpiração e evaporação de um extenso gramado (superfície padrão de posto meteorológico), sem restrição hídrica, e em crescimento ativo, e por Penman (1948), que também adotou essa definição de ET_p. Já de acordo com Smith (1991), a ET_o pode ser definida como a evapotranspiração que ocorre de uma cultura hipotética, com altura fixa de 0,12 m, albedo igual a 0,23, e resistência da cobertura ao transporte de vapor d'água igual a 69 s m⁻¹, que representaria a evapotranspiração de um gramado verde, de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo e sem falta de água (Pereira et al., 1997).

Recentemente, Allen et al. (1998) redefiniu ET_o como sendo aquela de um gramado hipotético, com altura de 0,12 m, albedo igual a 0,23, e resistência da superfície ao transporte de vapor d'água igual a 70 s m⁻¹. Um gramado nessas condições possui índice de área foliar (IAF - m² de área foliar por m² de terreno ocupado) ao redor de 3 e assemelha-se a uma superfície verde sombreando totalmente o solo, bem suprida de umidade, e em crescimento ativo.

Assim definida ela representa um elemento climatológico que se contrapõe à chuva para expressar a disponibilidade hídrica regional. Teoricamente, ela seria a chuva adequada para que não houvesse deficiência de água no local.

Evapotranspiração da Cultura (ETc)

A evapotranspiração da cultura (ETc) ou máxima (ETm), é definida como aquela que ocorre de uma superfície vegetada com a cultura em qualquer fase de seu desenvolvimento e sem restrição hídrica. O conhecimento da ETc é fundamental em projetos de irrigação, pois ela representa a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e a produção em condições ideais. No entanto, sua estimativa é difícil e sujeita a muitos erros (Pereira et al., 1997). Para contornar essas dificuldades, utiliza-se estimativas da ETo corrigidas por um coeficiente de cultura (Kc), proposto por Jensen (1968), o qual é obtido pela relação entre ETc e ETo, determinados experimentalmente. O Kc varia com a cultura e com seu estágio de desenvolvimento. Valores de Kc podem ser obtidos em tabelas (Doorenbos & Pruitt, 1977; Doorenbos & Kassam, 1994; Pereira et al., 1997). No entanto, os valores de Kc também variam em função do método de estimativa de ETo.

Lisímetro

Lisímetro, palavra derivada do grego *Lysis*, que é dissolução ou movimento, e *metron*, que significa mensurar. Lisímetros são grandes recipientes com solo, instalados em condições de campo, com sistemas de pesagem ou controle de entrada e saída de água, e que apresentam uma superfície nua ou coberta por uma vegetação. Esses sistemas podem ser usados para determinação da evapotranspiração das culturas ou tão somente para a evaporação do solo (Aboukhaled et al., 1982; Howell et al., 1991; Wright, 1991; Grebet, 1991; Khan et al., 1993; Campeche, 2002). A medida direta de evapotranspiração por lisimetria é difícil e onerosa, justificando sua utilização apenas em condições experimentais.

Aboukhaled et al. (1982) e Howell et al. (1991) consideram lisímetros de pesagem como sendo o melhor equipamento disponível para medir com acurácia a evapotranspiração de referência e de culturas, como também para calibração de modelos.

Segundo Grebet & Cuenca (1991) o primeiro a utilizar um lisímetro para medidas de evapotranspiração em condições de campo foi Thorntwaite nos Estados Unidos (Thorntwaite et al., 1946).

O maior lisímetro do mundo foi construído, com 29 m² de área por 0,96 m de profundidade, como descreveram Pruitt & Lourence (1985).

De acordo com Guiting (1991), a área de um lisímetro é inversamente proporcional à razão da evapotranspiração, ou seja, quanto maior a sua área, menor é a quantidade de água evapotranspirada quando comparados nas mesmas condições de campo com lisímetros de menor área. Esse autor afirma que lisímetros com área superior a 6 m² podem representar a evapotranspiração de uma cultura ocorrida em campo.

Tipos de Lisímetros

Existem vários tipos de lisímetros, como o de drenagem, de pesagem e de nível de lençol freático constante. (Aboukled et al., 1982).

Os lisímetros podem ter diferentes configurações, dependendo do clima, disponibilidade de materiais e custos envolvidos em sua construção. A qualificação do pessoal de montagem, os materiais disponíveis, tecnologia empregada, e o seu tamanho vão determinar o custo envolvido na construção.

Algumas décadas atrás, o uso de lisímetros de pesagem por parte da maioria das instituições de ensino e pesquisa era uma idéia remota, mas com a popularização da microeletrônica, esses equipamentos estão ganhando um novo impulso na pesquisa agrometeorológica. A difusão e a disponibilidade comercial de sensores eletrônicos como a célula de carga permitiram o uso cada vez mais comum e frequente na construção de lisímetros de pesagem, antes tido como equipamentos caros devido à complexidade de sistemas mecânicos e de alto custo de manutenção (Campeche, 2002).

Célula de carga

A célula de carga é um dispositivo mecânico/eletrônico que usa o extensômetro para medir deformação e então tensão e força. Atualmente, as células de carga de extensômetro tornaram-se de uso disseminado com sua adoção em balanças comerciais (as balança eletrônicas das padarias, dos supermercados, etc.) têm custo quase imbatível na montagem de um sistema de medição de força.

As células de carga são atualmente os dispositivos de medição de força mais utilizados. E dentre elas, a célula de carga de extensômetros domina o mercado. Entretanto deve-se mencionar que há células de carga que operam com outros princípios que não sejam a medição da deformação com extensômetros: as células de carga de carbono e as células de carga de fluidos estão entre elas.

Na célula de carbono, a compressão do carbono altera sua condutividade elétrica e então altera a tensão medida no circuito elétrico. No caso da célula de fluido, a compressão exercida sobre o fluido é medida no manômetro e utilizada para calcular a força.

Extensômetro

Instrumento utilizado para medir alterações nas dimensões lineares. Também chamado de medidor de deformação.

Os medidores de deformação chamados extensômetros elétricos são dispositivos de medida que transformam pequenas variações nas dimensões em variações equivalentes em sua resistência elétrica, e são usados entre os engenheiros de instrumentação. O extensômetro é a unidade fundamental destes dispositivos. O extensômetro é baseado no fato de que os metais mudam sua resistência elétrica quando sofrem uma deformação (Andolfato, 2004).

Erros embutidos na medida de ETc

Quatro tipos de erros de medida são apontados na literatura (exatidão, precisão, sensibilidade e resolução), com definições confusas e muitas vezes usadas incorretamente. Segundo Bloom (1992), acurácia ou exatidão é a quantidade que a medida difere a partir de um valor verdadeiro, estatisticamente pode-se dizer que é a dispersão dos valores medidos em torno da reta 1:1, que representa os valores reais. A precisão é a repetibilidade da medida, ou seja, o grau de variabilidade de sucessivas medidas de um valor constante. Pode-se dizer também que é a dispersão dos pontos em torno da média dos valores medidos. A sensibilidade é a menor variação de uma grandeza (massa, sinal elétrico etc.) detectada que provoca uma mudança de leitura do sistema, e a resolução é a menor escala da divisão ou o último dígito que pode ser lido (Campeche, 2002).

Howell et al. (1991) indicam que a exatidão de um lisímetro depende da resolução, que é o número de casas decimais da mensuração; da precisão, que é a estabilidade da mensuração; e da acurácia, que é a diferença entre valor mensurado e o valor verdadeiro.

Howell et al. (1995) afirma ainda que a massa do lisímetro é afetada por qualquer peso que incide diretamente sobre o equipamento, principalmente a força exercida pelo vento. Esses autores constataram que velocidades superiores a 5 m s^{-1} aumentam o desvio padrão das escalas e que o efeito dos ventos podem ser minimizados com o período de integração das leituras, mas nunca eliminados.

Allen et al. (1991) afirmam que esses equipamentos medem valores pontuais de evapotranspiração e cuidados devem ser tomados quando se analisam essas medidas para caracterizar a evapotranspiração de uma grande área cultivada. Segundo esses autores, a finalidade do lisímetro é de justamente medir uma amostra representativa de somente uma dimensão (vertical) da evapotranspiração bem como as trocas de energia de uma cultura. Partindo desse princípio, é essencial que o lisímetro seja circundado por uma vegetação de uma dimensão representativa da evapotranspiração. Variáveis como espaçamento das paredes entre a parte externa e interna, a área que a

vegetação ocupa dentro do lisímetro, radiação e advecção térmicas oriundas das paredes, altura dos anéis e entrada de calor sensível (efeito oásis), sem dúvida são as maiores causas de erros de interpretações de medidas lisimétricas.

Referências

ABOUKALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. Lysimeters. Rome: FAO, 1982. 68p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 39).

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O. ; JENSEN, M. E. Environmental requirements of lysimeters. In: ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O. et al. (Ed.) Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 170-181.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56)

ANDOLFATO R. P. ; CAMACHO J. S.; BRITO G. A.; Extensometria Básica. Apostila. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho-UNESP, Ilha Solteira, 46p. 2004.

BLOON, A. J. Principles of instrumentation for physiological ecology. In: PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J. R.; MOONEY, H. A. et al. (Ed) Plant physiological ecology: field methods and instrumentation. London: Chapman and Hall, 1992. p.1-13.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. Bragantia, v.59, n.2, p.125-137, 2000.

CAMPECHE, L.F.S.M. Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida 'Tahiti'(Citrus latifolia Tan.). 2002. 62 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper 24, 2nd ed., Rome, 179p. 1977.

DOORENBOS, J.; KASSAM, AH. Efeito da água no rendimento das culturas. Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33. Tradução Gheyi, H.R. ET all, UFPB, Campina Grande. FAO. 306p. 1994.

GREBET, P. Precision lysimetry in France. In: ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O. et al. (Ed.) Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 105-113

GREBET, P.; CUENCA, R. History of lysimeter desing of environmental disturbances. In: ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O. et al. (Ed.) Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 10-18.

QUITING, W. Relationship between lysimeter area and evapotranspiration (ET). In: ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O. et al. (Ed.) Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 416-422.

HOWELL, T. A.; SCHNEIDER, A. D.; JENSEN, M. E. History of lysimeter desing and use for evapotranspiration measurements. In: ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O. et al. (Ed.) Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 1-9.

JENSEN, M.E. Water consumption by agricultural plants. In: Koslowsky, T.T. Water deficits and plant growth. Academic Press, New York, Volume 2,1968.

KHAN, B. R.; MAINUDDIN, M.; MOLLA M. N. Desing, construction and testing of a lysimeter for a study of evapotraspiration of different crops. Agricultural Water Management, v. 23, p.183-197, 1993.

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. R. Soco London, A193: 120-146, 1948.

PEREIRA, AR.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PRUITT, W. O.; LOURENCE, F. G. Experinces in lysimeter for ET and surface drag measurements. In: NATIONAL CONFERENCE ON ADVANCESIN EVAPOTRANSPIRATION, Chicago, 1985: Advances in evapotraspiration: proceedings. St. Joseph: ASAE, 1985. p.51-69. (ASAE. Publication, 14-85).

SMITH, M. Report on expert consultation on procedures fro revision of FAO methodologies for crop water requirements. Rome, FAO, 1991. 45p.

THORNTWAITE, C. W.; WILM, H. G.; MATHER, J. R. et al. Report of the commitee on evaporation and transpiration. Transactions of the American Geological Institute, v.27, n.5, p.721-723, 1946.

WRIGHT, J. L. Using weighing lysimeters to develop evapotraspiration crop coefficients. In: ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O. et al. (Ed.) Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 191-199.

Anexo



FIGURA 1 – Vista geral de uma área de citros, com destaque para o local de instalação dos lisímetros de pesagem.



FIGURA 2 - Planta em estágio inicial de desenvolvimento.



FIGURA 3 - Planta com dois anos de idade.



FIGURA 4 - Planta com seis anos de idade.



FIGURA 5 – Lisímetros de drenagem com grama.



FIGURA 6 – Lisímetros de drenagem, detalhe.



FIGURA 7– Poço de coleta de drenagem dos lisímetros.

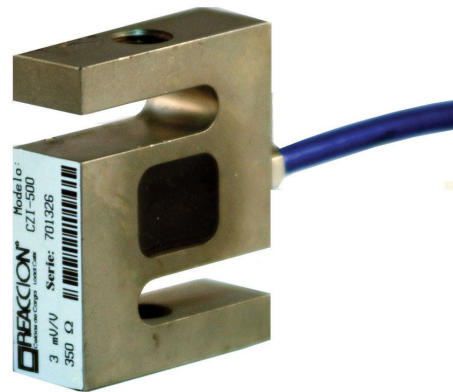


FIGURA 8 – Célula de carga tipo "S".