
AVALIAÇÃO DE UM CONJUNTO LISIMÉTRICO DE OPERAÇÃO VERSÁTIL EM LAVRAS - MG

I. Lisímetro de drenagem; avaliação das medidas, aspectos construtivos e manejo operacional

J. L. M. SOUZA¹; P. CASTRO NETO²; C. A. IGNÁCIO³

INTRODUÇÃO

A história da lisimetria tem seu início no século XVII, porém somente nas cinco últimas décadas é que a lisimetria tomou um progresso rápido e significativo graças ao desenvolvimento da eletrônica, mecânica, ciências do solo, irrigação e micrometeorologia.

Os avanços na lisimetria continuam principalmente nos estudos da evapotranspiração e manejo da água para irrigação e drenagem, em que são desenvolvidos inúmeros modelos e simulações que permitem maior compreensão das relações água-solo-planta-atmosfera.

Dos tipos básicos de lisímetros – lisímetros pesantes e lisímetros não pesantes, também conhecidos como volumétricos, drenagem ou compensação – vários modelos foram desenvolvidos. A seleção do tipo de lisímetro a ser adotado é função do propósito do uso e do grau de precisão necessário. Uma boa instalação que permita

¹ Professor assistente, Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais/Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Cx. P. 672 - CEP. 80035-050.

² Professor adjunto, Departamento de Engenharia/Universidade Federal de Lavras, MG, CEP 37200-000.

³ Engenheiro florestal - M.S. pela UNB, Brasília - DF.

precisão de 0,03 a 0,05 mm de água pode chegar a 50.000 dólares e consumir um tempo de construção de vários meses, além de necessitar de mão-de-obra especializada para a sua operação.

Devido às dificuldades econômicas que as escolas e centros de pesquisa estão passando nas últimas décadas, é fundamental a seleção e utilização de lisímetros que sejam de custo baixo, fácil operação e apresentem relativa precisão nas medidas. Com base nestas características, foi construído dentro do projeto de Meteorologia Aplicada à Agrometeorologia (METAGRO, 1986) um evapotranspirômetro não pesante, com a finalidade de ser versátil, ou seja, que possa trabalhar como lisímetro de drenagem, subirrigação ou a lençol freático fixo.

O objetivo do trabalho foi avaliar os desvios entre as medidas da evapotranspiração de referência (ET_o), obtidas num evapotranspirômetro versátil trabalhando como lisímetro de drenagem com as medidas obtidas pelo evapotranspirômetro do tipo Thornthwaite-modificado e o manejo operacional deste lisímetro.

REVISÃO DE LITERATURA

HILLEL *et al.* (1969) definiram os lisímetros como sendo grandes recipientes cheios de solo, geralmente enterrados no campo para representar suas condições naturais, nos quais as relações do sistema água-solo-planta possam ser reguladas e monitoradas de forma mais conveniente e precisa que em um perfil de solo natural.

CAMARGO (1966), OMETTO (1981) e BURMAN *et al.* (1983) mencionaram que as medidas da evapotranspiração diretamente no campo, através de lisímetros e evapotranspirômetros, constituem tarefa onerosa e trabalhosa, mostrando-se aplicáveis apenas em postos meteorológicos especializados ou estações experimentais devidamente aparelhadas. Essas medidas destinam-se a calibrar e desenvolver métodos de estimativa da evapotranspiração ou determinar o consumo de água por uma cultura qualquer nas distintas fases de seu desenvolvimento.

Autores como HILLEL *et al.* (1969), PRUITT *et al.* (1972), NAKAGAWA (1984), MEYER *et al.* (1988), MEYER e MATEOS (1990) utilizaram lisímetros em seus experimentos e obtiveram excelentes resultados. No entanto, o custo alcançado por cada equipamento empregado é muito alto, posto que necessitam de sistemas sofisticados e complicados de pesagem ou área do tanque muito grande.

ABOUKHALED *et al.* (1982) declararam que os lisímetros de lençol freático constante são bastante comuns em países da Europa, Ásia e Oriente Médio, têm custo relativamente baixo e são de fácil operação. Apesar da possibilidade das determinações diárias da evapotranspiração, os dados geralmente são tomados a períodos semanais ou a cada dez dias. Para VILLA NOVA e REICHARDT (1989), atualmente estes equipamentos são os mais utilizados para a determinação do valor da evapotranspiração.

Autores como ASSIS (1978), ENCARNAÇÃO (1980 e 1987), BARBIERI (1981), PAVANI (1985), PERES (1988) e MOURA (1990) utilizaram lisímetros de lençol freático constante em seus experimentos e todos são unânimes em afirmar que estes equipamentos mostraram-se bastante viáveis à determinação do consumo de água pelas culturas, sendo de fácil operação e com boa precisão para períodos diários.

MATERIAL E MÉTODOS

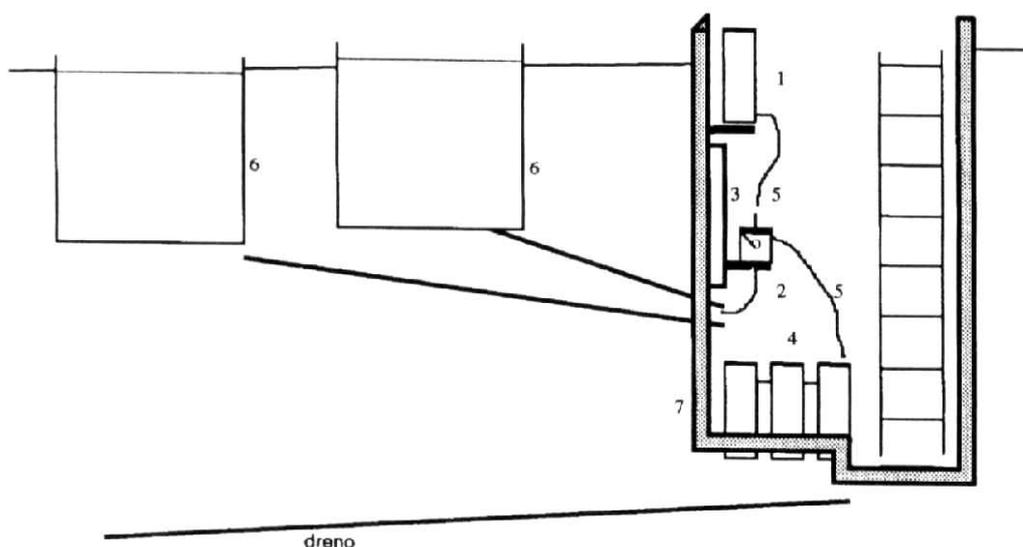
O trabalho foi conduzido em uma área localizada no *campus* da Universidade Federal de Lavras, em um local que se encontra junto ao posto agrometeorológico no campo experimental do Departamento de Biologia, a uma latitude de 21°14', longitude de 45°00' W Gr. e altitude 915 m.

A área experimental constituiu-se de um conjunto evapotranspirométrico de três evapotranspirômetros do tipo Thornthwaite-modificado que se encontram instalados na estação agrometeorológica e uma unidade de 85 x 85 m coberta por uma cultura de referência, grama-batatais (*Paspalum notatum* F.), ao lado da estação agrometeorológica, contendo em seu centro um conjunto evapotranspirométrico composto de seis lisímetros.

O clima da região, de acordo com os critérios propostos por Wilhem Köppen, classifica-se como Cwb, caracterizado por inverno seco com verões brandos e estação chuvosa no verão.

O solo é um Latossolo Roxo distrófico, textura muito argilosa, fase cerradão em transição para floresta, relevo suave ondulado, pela classificação brasileira ou *typic acrorthox* pela Soil Taxonomy (ANDRADE, 1979).

As unidades lisimétricas foram instaladas na ocasião da realização do projeto Metagro, sob a coordenação do professor Pedro Castro Neto, conforme METAGRO (1986). Duas baterias evapotranspirométricas foram construídas, uma sob solo gramado e outra sob solo cultivado, contendo cada uma em seu interior seis lisímetros instalados.



- 1 = Reservatório alimentador graduado, feito de PVC (0,178 m de diâmetro por 0,60 m de comprimento);
- 2 = Caixa de passagem, feita de PVC (0,14 m de diâmetro por 0,20 m de altura);
- 3 = Reservatório de drenagem graduado, feito de PVC (0,178 m de diâmetro por 0,60 m de comprimento);
- 4 = Dispositivo que possibilita a regulagem do lençol freático;
- 5 = Mangueira que interliga o ladrão contido na caixa de passagem do reservatório de drenagem;
- 6 = Caixa principal de fibra de vidro (1,2 m de diâmetro por 1,2 m de altura);
- 7 = Fosso principal contendo dimensão de 2,2 m de largura, 3,5 m de comprimento e 3,35 m de profundidade.

Figura 1 - Croquis em corte da unidade lisimétrica

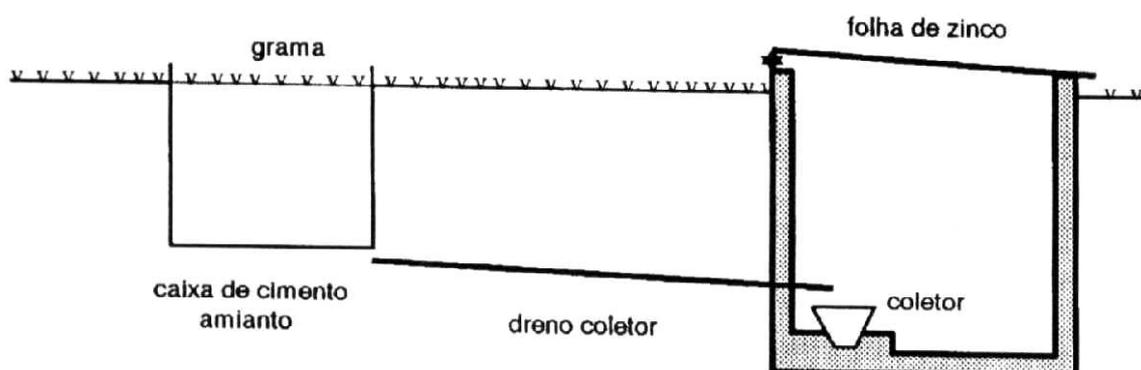


Figura 2 - Croquis em corte dos evapotranspirômetros tipo Thornthwaite-modificado que se encontram instalados na estação agrometeorológica.

As unidades lisimétricas foram projetadas para serem utilizadas de forma independente e de maneira versátil. Cada lisímetro consta de caixa de fibra de vidro enterrada e cheia de solo; caixa de passagem que possibilita variar o nível do lençol freático entre 0 e 85 cm de profundidade, contendo um sistema de bóia ligada a um reservatório alimentador e de drenagem; fosso principal.

O evapotranspirômetro do tipo Thornthwaite-modificado encontra-se instalado na estação agrometeorológica, contendo um total de três caixas de cimento amianto de 500 litros, que trabalham como vaso suporte para a cultura de referência.

A operação dos evapotranspirômetros

As leituras dos equipamentos foram realizadas diariamente às 8 horas.

As irrigações foram realizadas diariamente adotando, conforme CAMARGO (1966), uma base de rega uniforme e inalterada enquanto a drenagem percolada no dia seguinte à rega fosse menor que um litro.

No reservatório de drenagem do lisímetro, um tubo de plástico transparente com 1 cm de diâmetro, colocado na vertical e solidário a uma escala graduada em milímetros, permitia a leitura do total diário de água drenada pelo sistema.

A altura de precipitação também foi coletada diariamente na estação e na área gramada de 85 x 85 m.

A mensuração da evapotranspiração da cultura de referência (ET_o) foi obtida através do balanço de massas para um intervalo de tempo:

$$\text{onde: } ET_o = I + P + S - Q \pm \Delta A$$

Como o evapotranspirômetro do tipo Thornthwaite-modificado trabalha somente como drenagem, para a avaliação do funcionamento, a bateria de lisímetros versáteis foi também utilizada como drenagem. Portanto, a avaliação do funcionamento do reservatório de alimentação e o sistema de regulação do lençol freático ficaram fora da avaliação deste artigo.

logo:
$$ETo = I + P - Q$$

sendo:

I = irrigação;

P = altura pluviométrica;

S = lâmina fornecida pelo reservatório de drenagem-alimentação do lisímetro;

Q = lâmina coletada pelo reservatório de drenagem do lisímetro ou evapotranspirômetro;

ΔA = variação do armazenamento. Esta componente foi desprezada do balanço de massas, uma vez que os valores diários da evapotranspiração foram agrupados em períodos de 5 dias (pêntadas), o que proporcionou uma pequena variação do seu valor.

Os dados da ETo medida nos lisímetros e no evapotranspirômetro do tipo Thornthwaite-modificado foram agrupados em períodos de 5 dias (pêntadas) e, a partir daí, estabeleceu-se entre os valores medidos correspondentes uma análise de regressão linear com seu respectivo coeficiente de correlação

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliação das medidas da evapotranspiração de referência obtidas através do evapotranspirômetro do tipo Thornthwaite-modificado (EToTw) e dos lisímetros (EToLm), os dados diários da evapotranspiração foram agrupados em períodos de 5 dias (pêntadas). Na realização desses agrupamentos levou-se em consideração a seguinte situação: considerou-se todos os dias do período experimental, exceto aqueles em que ocorreram precipitações. Essa situação deve-se ao fato de que altas pluviometrias prejudicam bastante as leituras nos equipamentos, como já constatado por CAMARGO (1966) e SOUZA (1992).

A interferência da energia advectiva proporcionada pela área adjacente aos evapotranspirômetros, conforme SOUZA *et al.* (1994), não foi considerada na situação colocada acima, posto que os dois modelos de evapotranspirômetros encontram-se muito próximos e sujeitos, portanto, aos mesmos desvios nas medidas.

Os resultados obtidos podem ser observados na tabela 1 e estão representados graficamente na figura 3.

A tabela 2 apresenta uma análise de regressão, em pêntadas, entre os valores da ETo medida nos lisímetros (EToLm) e no evapotranspirômetro do tipo Thornthwaite-modificado (EToTw).

As avaliações realizadas para as pêntadas mostram que a ETo medida nos lisímetros tem um desvio médio de 0,008 mm/dia em relação às medidas feitas no evapotranspirômetro do tipo Thornthwaite-modificado, sendo o desvio padrão destes desvios médios igual a 0,229. Além do baixo desvio apresentado entre as leituras da ETo medida nos dois modelos de evapotranspirômetro, os dados mostram uma correlação alta (0,9588) e significativa pelo teste de *t* a 1% de probabilidade.

Tabela 1 - Valores médios em pântadas da ETo, em mm/dia, medidos nos lisímetros (EToLm) e no evapotranspirômetro do tipo Thornthwaite-modificado (EToTw).

	Pântadas	EToLm	EToTw	Prec.*		Pântadas	EToLm	EToTw	Prec.*
1	(01 a 05/12)	--	--	16,9	25	(31/03 a 04/04)	3,1	3,1	0,0
2	(06 a 10/12)	5,3	4,6	7,4	26	(05 a 09/04)	3,3	3,5	5,3
3	(11 a 15/12)	--	--	33,5	27	(10 a 14/04)	--	--	29,3
4	(16 a 20/12)	--	--	7,0	28	(15 a 19/04)	2,0	2,3	5,5
5	(21 a 25/12)	--	--	112,0	29	(20 a 24/04)	2,7	2,7	0,0
6	(26 a 30/12)	--	--	24,4	30	(25 a 29/04)	2,9	3,0	0,0
7	(31/12 a 04/01)	--	--	37,8	31	(30/04 a 04/05)	2,3	2,4	0,0
8	(05 a 09/01)	--	--	117,2	32	(05 a 09/05)	2,6	2,8	0,0
9	(10 a 14/01)	--	--	60,6	33	(10 a 14/05)	2,3	2,4	0,0
10	(15 a 19/01)	--	--	27,9	34	(15 a 19/05)	2,1	2,2	0,0
11	(20 a 24/01)	2,7	3,0	5,6	35	(20 a 24/05)	2,6	2,3	0,0
12	(25 a 29/01)	--	2,6	4,4	36	(25 a 29/05)	2,3	2,2	0,0
13	(30/01 a 03/02)	--	--	57,6	37	(30/05 a 03/06)	1,8	--	0,0
14	(04 a 08/02)	--	--	39,9	38	(04 a 08/06)	1,9	1,9	0,0
15	(09 a 13/02)	--	--	137,0	39	(09 a 13/06)	2,5	2,1	25,3
16	(14 a 18/02)	--	--	64,8	40	(14 a 18/06)	1,7	1,6	0,0
17	(19 a 23/02)	--	2,3	5,0	41	(19 a 23/06)	1,8	1,8	0,0
18	(24 a 28/02)	--	2,7	37,9	42	(24 a 28/06)	--	1,6	15,3
19	(01 a 05/03)	--	--	110,3	43	(29/06 a 03/07)	1,6	1,6	0,0
20	(06 a 10/03)	2,4	2,2	5,4	44	(04 a 08/07)	1,8	1,9	3,6
21	(11 a 15/03)	2,8	2,9	66,3	45	(09 a 13/07)	1,2	1,4	0,0
22	(16 a 20/03)	--	--	10,0	46	(14 a 18/07)	2,1	2,0	0,0
23	(21 a 25/03)	--	3,2	0,0	47	(19 a 23/07)	2,0	2,0	0,0
24	(26 a 30/03)	--	2,9	63,0	48	(24 a 28/07)	2,0	2,3	14,2

* Somatório da precipitação ocorrido na pântada (mm).

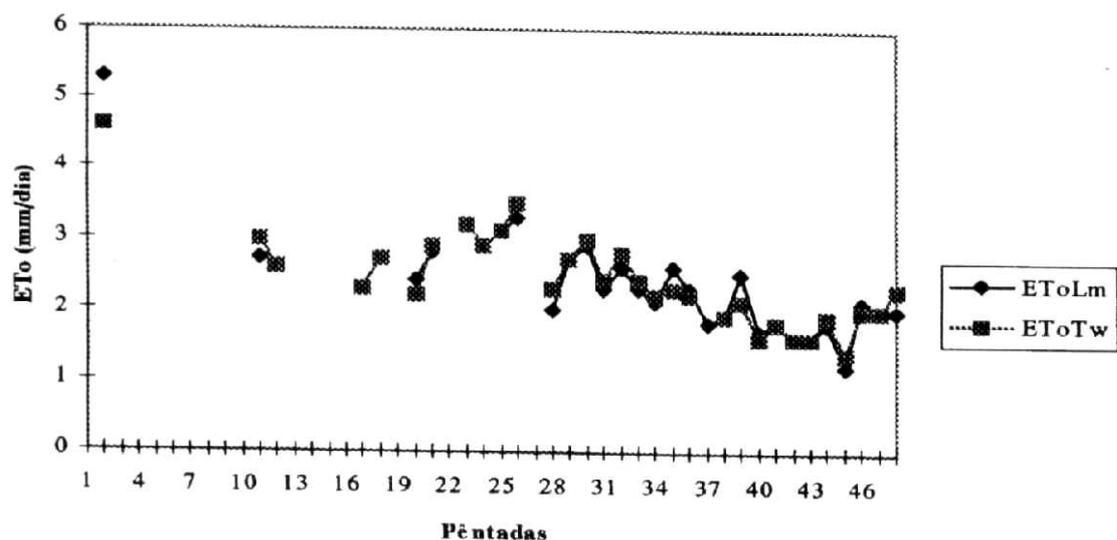


Figura 3 - Valores médios, em pêntadas, da ETo medida nos lisímetros e no evapotranspirômetro do tipo Thornthwaite-modificado.

Tabela 2 - Análise de regressão entre os valores de ETo.

Correlação		Regressão Linear	r	Σ x	Σ y	n
Y	X					
EToLm	x EToTw	$Y = - 0,2080 + 1,0830 X$	0,9588**	60,2	60,0	25
EToTw	x EToLm	$Y = 0,3708 + 0,8488 X$	0,9588**	60,0	60,2	25

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste *t*.

Considerações quanto ao manejo e aspectos construtivos dos instrumentos, relativas ao período em que os dados foram coletados

Mesmo agrupando-se os dados diários de ETo em pêntadas, verificou-se, na tabela 1, que das pêntadas 1 a 24 (01/desembro a 30/março) apenas 3 puderam ser consideradas. Este fato deve-se à imprecisão que as leituras oferecem devido ao efeito da detenção incontrolada ocorrida no reservatório principal dos equipamentos em dias ou períodos chuvosos.

A tampa do fosso principal do evapotranspirômetro, constituída de zinco com uma armação principal de cantoneira, mostrou-se resistente à chuva, sol e impactos, porém com a desvantagem de possuir peso maior que outros materiais (madeira, plástico, fibra de vidro). As folhas de zinco devem ser presas à armação principal (feita de cantoneiras) com solda e não com rebites para evitar desprendimento das folhas.

Os reservatórios de alimentação e drenagem necessitam de uma forma bem regular para que possam ser calibrados. Na ocasião da construção dos lisímetros

(METAGRO, 1986), os recipientes foram adaptados e feitos com canos de PVC, sendo o fundo e os tubos para saída e entrada de água colados. Atualmente, com o desenvolvimento dos materiais, já existem no mercado recipientes de PVC ou cimento amianto que sejam resistentes, leves e de forma bem regular que substituem os canos de PVC colados utilizados a princípio.

A graduação do recipiente de drenagem foi feita em unidade métrica e o volume de água drenado é determinado multiplicando-se a altura lida da escala pela área circular do recipiente de drenagem. Esse tipo de leitura, desde que feita e calculada cuidadosamente, não traz nenhum problema; no entanto, para unidades a serem construídas, é aconselhável a graduação do recipiente de drenagem já com unidade em volume, para se evitar erros de conversão.

O sistema de mangueira interligando o reservatório principal, dreno, mangueira plástica e reservatório de drenagem funcionou adequadamente, mas deve-se verificar semanalmente se há formação de bolhas de ar ou presença de algas que prejudiquem o refluxo de água para o reservatório de drenagem.

A caixa principal de fibra de vidro empregada mostra-se resistente e durável, mas possuindo o inconveniente de ser muito sensível ao fogo. Caso o local no qual seja construída uma unidade evapotranspirométrica tenha muitos problemas com queimadas, é aconselhável a utilização de caixas de cimento amianto.

A entrada e a saída do fosso principal são feitas através de uma escada feita de ferros de 1" chumbados na parede. Essa escada apresentou grande praticidade, uma vez que não impõe riscos, é firme e segura, fácil de limpar, não acumula barro e não apodrece com facilidade, como ocorre com as escadas de madeira.

O ponto de abastecimento de água ficou ao lado do evapotranspirômetro, o que facilitou bastante as operações de irrigação nos tanques e na área de bordadura. A ausência de um ponto de água próximo ao local onde está situado o conjunto lisimétrico pode, inclusive, inviabilizar o manejo com os instrumentos, visto que o volume de água nas irrigações da área de bordadura e limpeza são altos.

Dentro do fosso principal, contendo a unidade lisimétrica, foi previsto um dreno de extrema importância, pois o fundo do fosso encontra-se a 3,1 m abaixo da superfície do solo. A declividade do fundo do fosso para dentro do dreno é de 5% e não houve problemas de acúmulo de água dentro da unidade.

As operações de abertura, leituras, irrigações, verificações e consertos da unidade lisimétrica no período considerado foram de fácil execução e entendimento. Existe a necessidade de apenas um operador para concluir as tarefas que se concentram diariamente no período da manhã das 7h30min às 9h.

CONCLUSÕES

As diferenças observadas entre a evapotranspiração de referência (ET_o) medida nos lisímetros versáteis e no evapotranspirômetro do tipo Thornthwaite-modificado mostraram-se pequenas. Os desvios médios entre os valores de pântadas correspondentes foi de 0,008 mm/dia, com um desvio padrão de 0,229 e valores bem correlacionados ($r = 0,9588^{**}$).

As diferenças existentes entre os dois evapotranspirômetros testados no experimento, como material e tamanho da caixa principal, comprimento do dreno coletor, tamanho do fosso e forma de medida do volume drenado, não afetaram significativamente a leitura da evapotranspiração de referência (ET_o) entre os dois equipamentos.

A falta de uma cobertura móvel sobre a caixa principal do lisímetro nos dias de maior concentração pluviométrica (1.º de dezembro a 30 de maio) levou a uma perda considerável das leituras diárias do instrumento.

O lisímetro construído pelo projeto METAGRO (1986) mostrou-se resistente, de baixo custo de manutenção e de fácil manejo operacional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (DBI/UFLA) pela oportunidade concedida para a realização do experimento de campo.

RESUMO

SOUZA, J. L. M. DE; CASTRO NETO, P.; IGNÁCIO, C. Avaliação de um conjunto lisimétrico de operação versátil em Lavras - MG. I. Lisímetro de drenagem; avaliação das medidas, aspectos construtivos e manejo operacional. *Rev. Set. Ciênc. Agr.*, v. 17, n. 1-2, 1998.

O trabalho teve como objetivo avaliar entre um lisímetro versátil trabalhando com drenagem e um evapotranspirômetro do tipo Thorthwaite-modificado os desvios entre as medidas da ET_o e o manejo operacional. As diferenças observadas entre a ET_o medida nos dois equipamentos foram pequenas, sendo os desvios médios entre os valores de pântadas correspondentes iguais a 0,008 mm/dia, desvio padrão de 0,229 e coeficiente de correlação 0,9588. O evapotranspirômetro construído pelo projeto Metagro, trabalhando como lisímetro de drenagem, mostrou-se resistente, de baixo custo de manutenção, e de fácil manejo operacional.

Palavras-chave: lisímetro; evapotranspirômetro.

ABSTRACT

SOUZA, J. L. M. DE; CASTRO NETO, P.; IGNÁCIO, C. Evaluation of a lysimeter system for versatile operation in Lavras-MG. I. Drainage lysimeter; measurement; aspect constructive; operation method. *Rev. Set. Ciênc. Agr.*, v. 17, n. 1-2, 1998.

This work aimed to evaluate the difference between the values of ET_o measured and versatile evapotranspirometer working as a drainage lysimeter by using the values measured with Thorntwaite's evapotranspirometer; and an operation method of this lysimeter. The obtained difference was not significant. The medium deviation between the correspondent values equals to 0.008 mm/day, with the

standard deviation 0.229 and the correlation coefficient 0.9588. This Lysimeter system built for Projeto Metagro has a good resistance and easy maintenance and operation.

Key-words: lysimeter; evapotranspirometer.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. *Lisimeters*. Rome: FAO, 1982. 68 p. (Irrigation and Drainage Paper, 39).
- ANDRADE, H. *Caracterização genética, morfológica e classificação de dois solos do município de Lavras - MG, em correlação com a geomorfologia da área*. Lavras, 1979. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras. 76 p.
- ASSIS, F. N. de. *O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre evapotranspiração medida e estimada*. Piracicaba, 1978. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP. 65 p.
- BARBIERI, V. *Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar*. Piracicaba, 1981. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP. 82 p.
- BURMAN, R. D.; NIXON, P. R.; WRIGHT, J. L.; PRUITT, W. O. Water requerimensts. In: JENSEN, V. E. *Design and operation of farm irrigation systems*. St. Joseph: ASAE, 1983, cap. 6, p. 189-232.
- CAMARGO, A. P. de. *Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1966. 59 p. (IAC. Boletim Técnico, 16).
- HILLEL, D.; GAIRON, S.; FALKENFLUG, V.; RAWITZ, E. New design of olw-cost hydraulic lysimeter system for field mensurament of evapotranspiration. *Israel Journal of Agricultural Research*, Bet-Bagan, v. 19, n. 2, p. 57-63, Apr. 1969.
- METEOROLOGIA APLICADA: AGROMETEOROLOGIA (METAGRO). *Relatório final*. Lavras-MG: FINEP/ESAL. 1986, 99 p.
- MOURA, M. C. F. L. *Determinação do consumo de água para a cultura do milho (Zea mays L.) pelo método lisimétrico*. Piracicaba, 1990, 94 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP.
- OMETTO, J. C. *Bioclimatologia vegetal*. 25. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981, 440 p.
- PAVANI, L. C. *Evapotranspiração e produtividade em feijoeiro comum (Phaseolus vulgares L. cv. Goiano Precoce) sob três níveis de potencial de água do solo*. Piracicaba, 1985. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP. 171 p.
- PERES, J. G. *Determinação dos coeficientes de cultura (Kc) da cana de açúcar: ciclo de cana-soca*. Piracicaba, 1988. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP. 94 p.
- SOUZA, J. L. M. DE. *Evapotranspiração e coeficiente de cultura do algodoeiro (G. hirsutum L.) submetido a diferentes profundidades do lençol freático*. Piracicaba, 1992. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP. 70 p.
- _____; VILLA NOVA, N. A.; CASTRO NETO, P. Avaliação do efeito da energia advectiva na estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Lavras - MG. *Rev. Set. Ciênc. Agr.*, Curitiba, v. 13, n. 1-2, p. 41-47, 1994.
- VILLA NOVA, N. A.; REICHARDT, K. Evaporação e evapotranspiração. In: RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A. G.; VILLA NOVA, N. A. *et al.* *Engenharia hidrológica*. Rio de Janeiro: UFRJ, 1989, cap. 3, p. 143-197.