

INSTALAÇÃO, CALIBRAÇÃO E FUNCIONAMENTO DE UM LISÍMETRO DE PESAGEM¹

DANIEL F. CARVALHO², LEONARDO D. B. SILVA³, JOSÉ G. M. GUERRA⁴, FRANCISCO A. CRUZ⁵, ADILSON P. SOUZA⁶

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo construir, instalar, calibrar e avaliar a sensibilidade de um lisímetro de pesagem com célula de carga, instalado em Seropédica - RJ, a fim de determinar a evapotranspiração de referência (ET_o). O lisímetro, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m e 0,7 m de profundidade, foi construído com chapas de aço galvanizado e instalado sobre estrutura metálica montada sobre barras transversais, a fim de concentrar toda a massa do conjunto sobre uma célula de carga localizada no centro do sistema. Após o preenchimento do lisímetro com solo, foi realizada a calibração do mesmo por meio de análise de regressão linear, e toda a área foi plantada com grama-batatais. O conjunto lisimétrico instalado mostrou-se adequado para a estimativa da ET_o, apresentando erro-padrão de estimativa da regressão de 0,278 kg ou 0,278 mm, além de responder às variações dos principais elementos meteorológicos que influenciam na ET_o.

PALAVRAS-CHAVE: evapotranspiração, lisimetria, célula de carga.

INSTALATION, CALIBRATION AND OPERATION OF A WEIGHING LYSIMETER

ABSTRACT: The objective of this work was to construct, install, calibrate and evaluate a weighing lysimeter with load cell, in order to estimate reference evapotranspiration (ET_o) for the Seropédica region - RJ. The lysimeter, which has the dimensions of 1.0 m x 1.0 m and 0.7 m in depth, was built with galvanized steel and installed over a metallic structure mounted over transversal bars, in order to concentrate all the assembly mass over a load cell localized in the center of the system. The lysimeter was filled with the same soil layers of the local soil. Then a calibration was carried out by means of a linear regression analysis and the whole lysimeter area was planted with Bahia grass. The lysimeter system demonstrated to be suitable for estimating ET_o, yielding a standard error of the linear regression of 0.278 kg or 0.278 mm. In addition, it displayed satisfactorily the variation of the main meteorological elements that influence in ET_o.

KEYWORDS: evapotranspiration, lysimeter, load cell.

INTRODUÇÃO

Como a água constitui um dos principais insumos destinados à produção de alimentos, a evapotranspiração de referência (ET_o) assume aspecto fundamental no planejamento agrícola, pois é largamente utilizada na estimativa da demanda de água pela planta (KASHYAP & PANDA, 2001). Em superfície vegetada, os processos da evaporação e da transpiração ocorrem simultaneamente, e a união desses processos é denominada evapotranspiração, tornando-se, muitas vezes, difícil a separação dos dois processos físicos.

Estudos sobre evapotranspiração têm-se desenvolvido muito rapidamente nos últimos anos em função do avanço da eletrônica, empregada nos equipamentos de coleta de dados, e da inclusão da informática como ferramenta útil nesse campo de aplicação. Entretanto, CARVALHO et al.

¹ Extraído da Dissertação de Mestrado do quarto autor. Trabalho financiado pelo CNPq.

² Departamento de Engenharia/Instituto de Tecnologia/UFRRJ, BR 465, km 7, Seropédica - RJ, carvalho@ufrj.br. Bolsista do CNPq.

³ Doutor em Agronomia/Irrigação e Drenagem pela ESALQ/USP, Seropédica - RJ, ldbsilva@uol.com.br. Bolsista RD do CNPq.

⁴ Pesquisador da EMBRAPA - Agrobiologia, Seropédica - RJ, jgmgueira@cnpab.embrapa.br. Bolsista do CNPq.

⁵ Mestre em Fitotecnia. Professor Substituto do DE/IT/UFRRJ, Seropédica - RJ.

⁶ Discente do curso de Engenharia Agrícola da UFRRJ. Bolsista de IC/CNPq.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 18-8-2005

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 20-4-2007

(2002) comentam que, embora haja essa facilidade, a aquisição de instrumentação elaborada é ainda onerosa e envolve metodologia geralmente sofisticada e laboriosa.

Ao contrário das medidas de evaporação, para as quais são utilizados tanques de diferentes dimensões e que apresentam boa correlação com aquela que ocorre em lagos e em superfícies vegetadas, medidas da evapotranspiração são complexas e de difícil determinação em campo. De acordo com PEREIRA et al. (1997), essa complexidade baseia-se nas incertezas da representatividade das medidas, nas dificuldades operacionais e também na variabilidade espacial da superfície. SENTELHAS (2001) apresenta três métodos utilizados na determinação direta da evapotranspiração: os métodos micrometeorológicos, o método do balanço de água no solo e os lisímetros. Esses últimos são estruturas especiais em que um volume de solo vegetado é devidamente isolado, a fim de que todas as entradas e saídas de água desse sistema sejam controladas. O mesmo autor afirma que, para obter medidas precisas da evapotranspiração, a vegetação no interior do lisímetro deve apresentar as mesmas condições (altura e área foliar semelhantes) da área de contorno.

Os lisímetros têm sido utilizados por mais de três séculos para estudos das relações entre água, solo e plantas. Segundo KIRKHAM et al. (1984), os lisímetros são estruturas destinadas a medir, de maneira precisa, eventos de precipitação, evaporação e drenagem. CAMPECHE (2002) comenta que, inicialmente, os lisímetros foram desenvolvidos para quantificação e qualificação da água do solo percolada em estudos hidrológicos.

Os lisímetros, quando bem instalados, possibilitam medidas precisas da evapotranspiração (ET), principalmente quando os mesmos são preenchidos corretamente, pois, dessa forma, as camadas de solo no seu interior assemelham-se o máximo possível às camadas de solo da área externa (SILVA, 2003). No entanto, PEREIRA et al. (2002) comentam que tais estruturas se justificam apenas em condições experimentais com observações rigorosas das condições de contorno que visam a minimizar os efeitos advectivos principalmente em época de deficiência hídrica. Nesse sentido, os lisímetros devem ser locados de tal forma que obstáculos não alterem a radiação incidente e/ou o padrão do vento.

SEDIYAMA (1996) já alertava das dificuldades em se manter as condições internas e externas dos lisímetros com as mesmas características, pois, normalmente, as plantas tendem a crescer mais no interior do mesmo (efeito buquê) ou além dos limites de sua borda. Assim, visualmente, a presença do lisímetro deve ser pouco perceptível, constatando que tais efeitos se minimizem. Segundo o autor, as diferenças no crescimento das culturas no interior dos lisímetros em relação à área externa, especialmente quando as plantas crescem mais no interior, provocam perturbação maior no movimento horizontal do ar e aumentam o grau de turbulência do calor sensível do ar sobre a cultura, provocando aumento da transpiração do vegetal e maior interceptação da radiação solar incidente.

Os lisímetros equipados com mecanismos de pesagem por células de carga são os mais modernos (SILVA et al., 1999b) e permitem a realização de medidas automatizadas com células de carga instaladas sob a caixa impermeável e são geralmente acopladas a um sistema de aquisição de dados, fornecendo resultados mais confiáveis, e possibilitam a obtenção de medidas em escala horária, representando grande vantagem em relação aos demais tipos de lisímetros (ALLEN et al., 1991).

Conforme ABOUKHALED et al. (1982), dentre os principais fatores que influenciam nas medições da evapotranspiração nos lisímetros, além dos já citados, destacam-se as suas dimensões, o regime de umidade do solo no interior do mesmo, a espessura das paredes e a altura de suas bordas. HOWELL et al. (1985) afirmam que, para minimizar os efeitos das paredes do lisímetro sobre a evapotranspiração medida, essas devem ser construídas com a menor espessura possível e deve-se reduzir ao máximo a abertura existente entre as paredes interna e externa.

Apesar de precisos, os lisímetros de pesagem apresentam alguns problemas que dificultam sua operação em escalas de tempo muito reduzidas. PEREIRA et al. (2002) comentam que

dificuldades operacionais são verificadas em dias com chuvas intensas, em seqüência de dias com chuvas intermitentes e também em dias sem chuvas, mas com ventos intermitentes. Os autores concluíram que medidas de ET em intervalos inferiores a 60 minutos nem sempre são tão exatas quanto se espera de um sistema admitido como padrão.

Tendo em vista a inexistência de medidas de evapotranspiração de referência e a importância desse parâmetro no planejamento e no manejo da agricultura irrigada, desenvolveu-se este trabalho com o objetivo de instalar, calibrar e avaliar o funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga na região de Seropédica - RJ.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado no SIPA - Sistema Integrado de Produção Agroecológica, denominado Fazendinha Agroecológica, que é área experimental da EMBRAPA - Agrobiologia, em parceria com a UFRRJ e PESAGRO-RIO, localizada no município de Seropédica - RJ. As coordenadas geográficas do local são 22° 48' de latitude sul, 43° 41' de longitude oeste e altitude de 33 m.

A concepção da estrutura do lisímetro baseou-se na construção de uma caixa metálica com dimensões 1,0 m x 1,0 m de base e 0,7 m de altura, que foi montada sobre barras transversais, a fim de concentrar toda a massa do conjunto sobre uma célula de carga localizada no centro do sistema. Vale ressaltar que alguns lisímetros de pesagem utilizam três ou quatro células de carga, aumentando os custos de construção e de manutenção desses equipamentos (CAMPECHE, 2002; SILVA, 2003). O lisímetro foi instalado em área de aproximadamente 250 m², cultivada com grama-batatais (*Paspalum notatum*).

Na Figura 1, apresenta-se uma visão do sistema de apoio da caixa. Nos quatro cantos, barras rosqueadas de 0,0254 m de diâmetro e 0,25 m de comprimento foram fixadas em base de concreto de 0,30 m x 0,30 m para suportar a estrutura de apoio da caixa. O mesmo procedimento foi adotado no centro, a fim de servir de suporte ao parafuso de fixação da célula de carga. Foi utilizada a célula da marca ALPHA, modelo Z, com capacidade de medida de até 2 t, com sensibilidade de aproximadamente 6.000 divisões, ou 0,300 g.

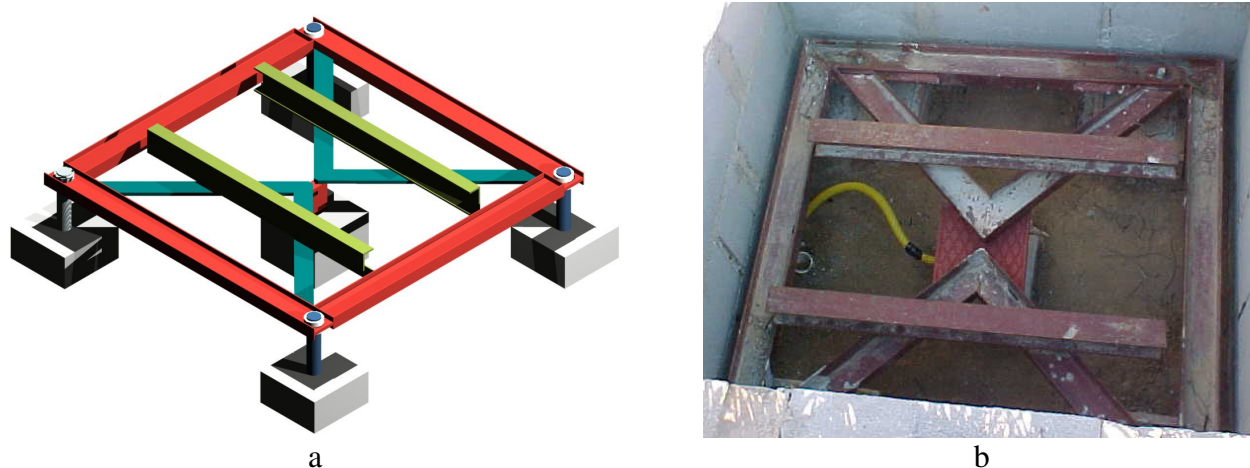


FIGURA 1. Base de fixação do lisímetro, com a célula de carga no centro da estrutura: (a) vista tridimensional, e (b) foto no local.

Após a construção da estrutura, a área foi preparada, primeiramente, com a construção de um contêiner externo, com dimensões de 1,2 m x 1,2 m e 1,0 m de profundidade. Durante a escavação, camadas de solo de 0,10 m foram separadas a fim de que a caixa fosse posteriormente preenchida, mantendo, assim, a mesma seqüência do perfil original. Além disso, durante o processo de escavação, foram retiradas amostras indeformadas para a determinação da densidade do solo e a confecção da curva de retenção. Após completada a escavação, paredes de blocos de concreto

(contêiner externo) foram construídas para a contenção do solo da área externa. Essa caixa de bloco possuía dimensões internas de 1,01 m x 1,01 m, para permitir a livre movimentação do lisímetro. Após a construção desse contêiner externo, foi construída, no fundo do fosso, a estrutura de sustentação. Antes do preenchimento com o solo, foi instalado um dreno de PVC no fundo da caixa, com diâmetro de 40 mm, perfurado no trecho horizontal, a fim de permitir a drenagem do excesso de água dentro do lisímetro. Esse dreno foi envolvido numa camada de 0,10 m de brita, coberta por manta de tecido permeável. Na Figura 2, apresentam-se os detalhes construtivos do equipamento.

Após o preenchimento da caixa com o solo, foi realizada a calibração do lisímetro, conforme metodologia apresentada por CAMPECHE (2002). Em balança eletrônica (sensibilidade 0,01 g), foram preparados 50 sacos plásticos com areia representando as massas-padrão, sendo cinco com 0,1 kg, cinco com 0,25 kg, 20 com 0,5 kg e 20 com 1,0 kg. Inicialmente, cobriu-se a superfície do lisímetro com lona plástica, a fim de evitar a evaporação da água do solo; então, sobre o lisímetro, foram colocados os sacos plásticos, começando pelos de menor massa, em intervalos de 2 min para estabilização da leitura de um *datalogger* (Campbell Scientific 23X), ao qual estava conectada a célula de carga. A cada massa adicionada, um sinal elétrico (mV), proveniente da célula de carga, era registrado no *datalogger*. Após a colocação de todos os sacos plásticos, o procedimento inverso foi realizado, ou seja, foi-se retirando, no mesmo intervalo de tempo, começando pelos de 1,0 kg. Os dados referentes às massas-padrão aplicadas e às respectivas leituras da balança do lisímetro foram submetidos à análise estatística de regressão. Todo o procedimento de construção, instalação e calibração do lisímetro é apresentado com detalhes por CRUZ (2005).

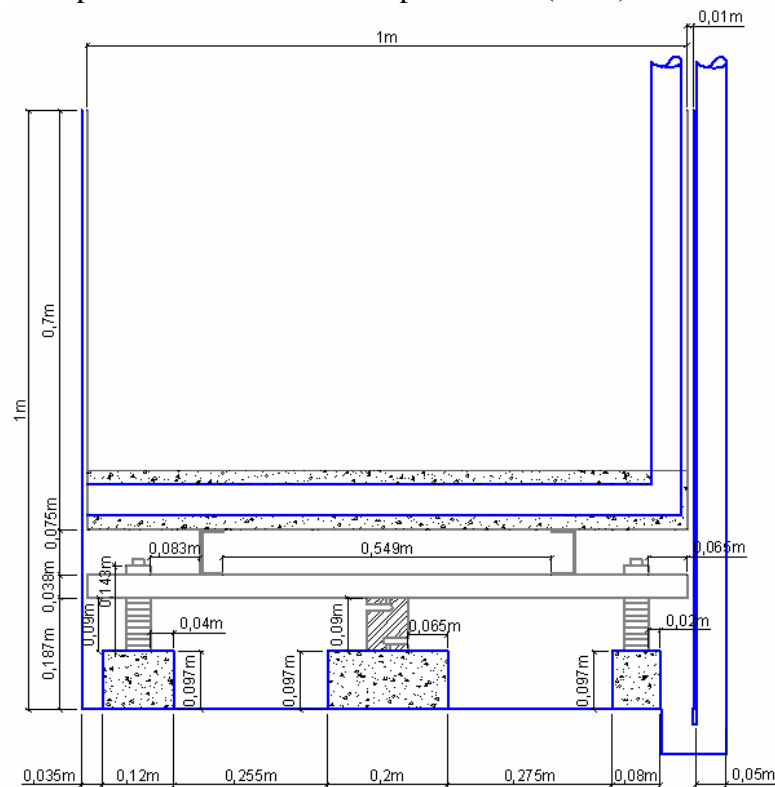


FIGURA 2. Corte transversal do esquema de instalação do lisímetro de pesagem.

De acordo com a metodologia apresentada por MEDEIROS et al. (2003), para efeito do cálculo da evapotranspiração, os dados do lisímetro devem ser tomados a partir da diferença de massa do conjunto solo-caixa no início do dia (0 h) e a massa obtida no final do dia (24 h). No entanto, a metodologia utilizada neste trabalho foi a mesma recomendada por SILVA (2003). Segundo o autor, todas as leituras do lisímetro devem ser analisadas diariamente para que ocorrências de chuva, irrigação ou drenagem do volume de solo controlado sejam identificadas e

desconsideradas do cálculo da ETo. Além disso, foi adotado o período de 6 h às 19h30 como sendo aquele em que ocorre a maior percentagem de radiação solar (radiação líquida positiva).

Uma vez realizado esse procedimento diário, a massa era obtida pela conversão do sinal elétrico, utilizando a equação de calibração e a lâmina evapotranspirada obtida pela relação entre a massa e a área do lisímetro (1,0 m²).

A fim de avaliar o funcionamento do lisímetro, medidas de ETo foram efetuadas e comparadas com estimativas realizadas pelo método de Penman-Monteith FAO-56 (ALLEN et al. 1998), cujos dados climáticos necessários foram coletados em estação automática montada a três metros do lisímetro. A estação continha os sensores de radiação solar incidente, velocidade e direção do vento, temperatura de bulbo seco e úmido, além de um pluviógrafo. No mesmo *datalogger* utilizado para armazenar o sinal elétrico da célula de carga, eram armazenados os valores de precipitação, em intervalos de um minuto, e os demais valores dos elementos meteorológicos, em intervalos de 30 min.

Para manter o gramado em condições ótimas de umidade, foi instalado um sistema de irrigação por aspersão, composto de quatro miniaspersores setoriais da marca FABRIMAR, modelo Pingo (bocal 3,2 mm). Para proceder à drenagem do lisímetro, uma bomba de pistão manual foi instalada sobre uma estrutura de apoio, construída com madeira, e acoplada a um tubo flexível de 0,02 m de diâmetro (3/4”).

Após plantada a grama-batatais, a mesma foi mantida na altura especificada (de 0,08 m a 0,15 m) e, para isso, era utilizada uma roçadora a fim de permitir o corte uniforme de todo o gramado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3, apresenta-se o resultado do processo de calibração do lisímetro. A equação apresentada nessa Figura foi obtida a partir dos dados de descarregamento, uma vez que a evapotranspiração representa diminuição da massa do conjunto. Apesar disso, os coeficientes de determinação para as duas curvas (carregamento e descarregamento) apresentaram valores semelhantes. O erro-padrão de estimativa da regressão linear foi de 278 g ou 0,278 mm, confirmando a sensibilidade de aproximadamente 300 g indicada pelo fabricante. Durante a realização do processo de calibração, foi possível constatar que a cada massa adicionada no lisímetro, a célula de carga apresentava variação média de sinal da ordem de 0,000105 mV a 0,000549 mV, correspondendo às massas de 0,10 kg e 0,5 kg, respectivamente.

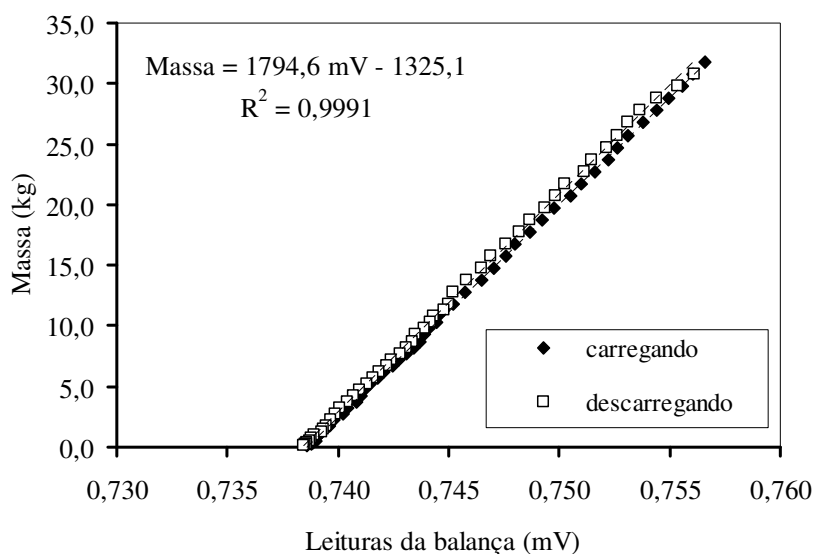


FIGURA 3. Análise de regressão da calibração do lisímetro.

Para o cálculo da ETo, as leituras provenientes da célula de carga foram convertidas em massa, com auxílio da equação apresentada na Figura 3, e analisadas no período de 6h às 19h30. Nas Figuras 4 e 5, apresentam-se duas situações distintas: a primeira refere-se a um determinado dia sem ocorrência de chuva, irrigação ou drenagem no lisímetro, e a segunda refere-se à descontinuidade das leituras da célula entre 8h30 e 9h30, aproximadamente, em razão da ocorrência de drenagem.

No primeiro caso, o cálculo da ETo foi realizado subtraindo diretamente a leitura correspondente às 6h daquela obtida às 19h30. No segundo caso (Figura 5), se fosse feita a subtração das leituras correspondentes a esses horários, seria computada uma lâmina evapotranspirométrica de 14,5 mm. No entanto, os marcadores sem preenchimento representam as variações das leituras da célula, descontando a drenagem realizada, obtendo-se, assim, valor de evapotranspiração bem inferior ao citado anteriormente (aproximadamente 3,5 mm).

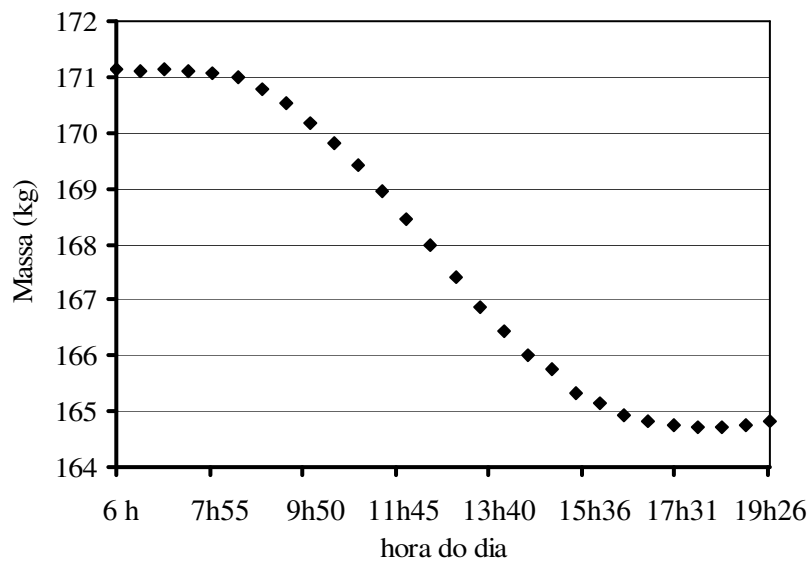


FIGURA 4. Variação da massa do conjunto no período de análise, em um dia sem drenagem da caixa.

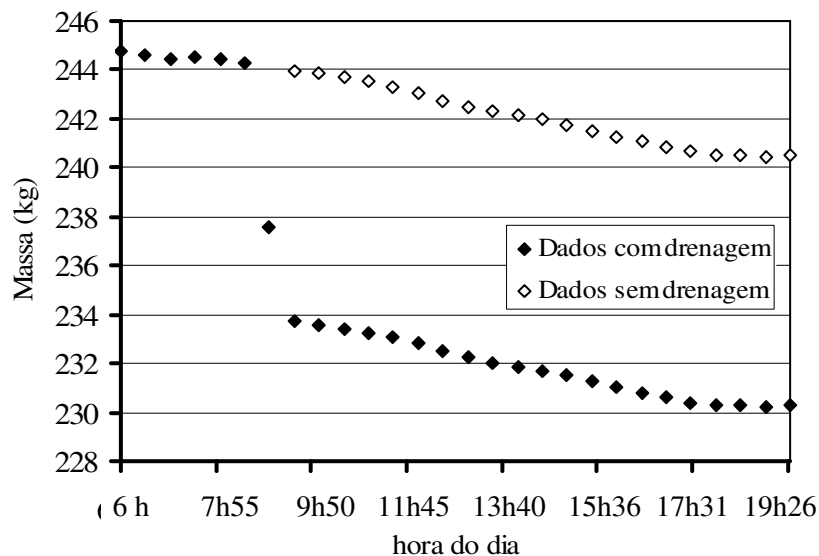


FIGURA 5. Variação da massa do conjunto no período de análise, em um dia com drenagem da caixa.

O maior valor de ETo determinado ($7,32 \text{ mm d}^{-1}$) ocorreu no dia 10 de janeiro e foi superior aos demais observados. Na Tabela 1, é possível observar que, nesse dia 10, a umidade relativa

média estava abaixo de 70% (valor abaixo da média normal para o mês de janeiro na região), e a velocidade do vento foi a máxima observada no período ($\approx 2,6 \text{ m s}^{-1}$).

TABELA 1. Valores de evapotranspiração de referência medidos (ETo Lis.) e estimados (ETo PM), radiação solar incidente (Rs), umidade relativa (Ur), temperatura média (T), velocidade do vento (Vv) e precipitação (Ppt), no período de 24-12-2004 a 1^o-2-2005.

Data	ETo Lis. (mm d ⁻¹)	ETo PM (mm d ⁻¹)	Rs (MJ m ⁻² d ⁻¹)	T (°C)	Ur (%)	Vv (m s ⁻¹)	Ppt (mm)
24-dez.	4,38	2,7	13,79	28,0	73,6	1,3	16,0
25-dez.	4,21	3,6	18,58	26,6	78,2	1,0	0,3
26-dez.	5,81	4,9	20,33	31,8	63,4	1,6	13,2
27-dez.	3,89	4,4	20,62	28,7	76,4	1,3	0,0
28-dez.	4,67	4,0	19,79	27,8	78,4	1,1	0,0
29-dez.	5,28	5,5	25,17	30,0	71,3	1,4	0,0
30-dez.	6,01	4,4	19,85	31,2	70,1	1,2	0,3
31-dez.	6,40	5,1	22,24	30,3	70,4	1,2	0,5
1 ^o -jan.	4,86	2,5	12,38	27,7	76,8	1,2	1,0
2-jan.	4,05	2,5	13,51	29,8	67,4	0,6	1,3
3-jan.	6,32	5,3	21,31	29,2	63,6	2,1	0,0
4-jan.	1,96	3,0	13,71	27,7	72,1	1,8	0,0
5-jan.	2,46	2,1	11,49	27,4	76,8	1,5	3,1
6-jan.	3,52	4,1	18,67	28,3	75,1	2,4	0,1
7-jan.	4,04	3,8	14,69	32,2	64,7	1,9	0,0
8-jan.	6,31	5,3	21,94	32,0	71,9	1,6	0,3
9-jan.	5,63	5,1	20,93	30,9	68,1	1,6	0,0
10-jan.	7,32	3,2	20,05	31,5	67,8	2,6	0,5
11-jan.	1,29	3,0	15,58	28,1	82,4	0,7	48,0
12-jan.	0,31	1,9	12,17	24,6	90,7	0,7	7,6
13-jan.	5,74	4,4	23,16	25,8	76,5	1,0	0,0
14-jan.	4,86	3,5	16,61	27,9	60,9	0,8	0,0
15-jan.	4,56	2,4	12,56	30,6	64,1	1,4	0,3
16-jan.	5,07	3,9	13,18	33,2	62,8	2,3	0,5
17-jan.	1,35	1,2	7,65	26,2	87,5	0,8	0,8
18-jan.	2,80	3,4	18,35	28,2	80,8	0,9	24,9
19-jan.	2,53	2,6	14,27	29,8	74,4	0,7	12,2
20-jan.	2,42	1,9	11,09	29,7	74,4	0,6	2,8
21-jan.	2,84	3,0	15,71	29,0	80,8	1,0	0,3
22-jan.	4,91	4,4	21,04	29,4	80,1	1,2	17,5
23-jan.	4,52	3,7	18,22	29,4	79,5	1,0	1,5
24-jan.	5,74	5,2	23,68	31,0	74,6	1,0	1,5
25-jan.	5,41	5,0	16,86	32,3	63,1	2,4	0,0
26-jan.	4,05	3,4	19,25	22,8	95,7	1,3	33,8
27-jan.	2,72	1,5	11,84	20,7	96,1	0,3	7,6
28-jan.	0,84	1,0	10,54	22,4	90,2	0,6	1,8
29-jan.	2,83	1,9	13,88	27,6	74,6	0,4	1,3
30-jan.	4,66	4,3	21,46	29,4	73,7	0,8	0,5
31-jan.	2,03	2,5	13,59	26,9	84,4	1,1	3,3
1 ^o -fev.	4,45	4,6	23,88	26,7	83,2	1,2	0,5

Apesar de a radiação incidente ter sido relativamente inferior à média normal para a região nessa época do ano, a combinação desses elementos favoreceu a maior evapotranspiração. Além disso, por não ter ocorrido chuva nos dias anteriores, nota-se ligeira queda de umidade relativa a

partir do dia 8 de janeiro, favorecendo o aumento do déficit de pressão de vapor e, conseqüentemente, a ocorrência de maior taxa evapotranspirativa. Com base nos valores armazenados no *datalogger*, verificou-se que, em 10 de janeiro, a amplitude de variação da velocidade média do vento foi a mais acentuada dentre os dias analisados. Considerando o mesmo período utilizado para o cálculo da ETo (6 às 19h30), o valor médio da velocidade do vento seria de $3,29 \text{ m s}^{-1}$, com valor máximo de $5,13 \text{ m s}^{-1}$ ocorrido às 11 h. Resultado como esse é também abordado por PEREIRA et al. (2002). Segundo os autores, problemas operacionais em lisímetros de pesagem são comumente observados durante a estação chuvosa e com ocorrência de ventos fortes.

Em contrapartida, o menor valor de ETo foi determinado no dia 12-1 ($0,31 \text{ mm d}^{-1}$), quando foi realizado o único corte da grama no período. Somado a esse fato, foi verificada a ocorrência de precipitação durante todo o período diurno do dia 12-1. Pela Tabela 1, é possível observar que a radiação solar incidente, a temperatura e a velocidade do vento permaneceram com baixos valores, enquanto a umidade relativa atingiu 91%, limitando, dessa forma, a taxa evapotranspirativa.

Analisando o período de 27-12 a 31-12, quando não houve precipitação expressiva, observou-se aumento da ETo, atingindo o valor de $6,4 \text{ mm d}^{-1}$. Nesse mesmo período, observa-se que a radiação solar incidente alcançou o maior valor no dia 29 de dezembro ($25,17 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), permanecendo alta nos dois dias consecutivos. Além disso, nesses mesmos dias, a umidade relativa permaneceu em torno de 70%, inferior ao valor máximo observado no período (96%). Quanto à velocidade do vento, nota-se que a mesma variou no intervalo de $1,0$ a $1,5 \text{ m s}^{-1}$, considerado um valor médio no período analisado. Verifica-se, com isso, que os elementos meteorológicos radiação e umidade relativa foram determinantes para a ocorrência de lâminas evapotranspirativas elevadas, sendo o efeito da velocidade do vento menos expressivo nesses dias.

Ao contrário do período de 27 a 31-12, taxa decrescente de ETo foi observada entre os dias 25 e 28-1, quando a lâmina diária de evapotranspiração diminuiu de $5,41$ a $0,84 \text{ mm d}^{-1}$. Apesar de ter havido precipitação, o lisímetro apresentou desempenho esperado, considerando a variação dos elementos meteorológicos. Analisando a Tabela 1, percebe-se que, nesse período, a radiação solar diminuiu, a umidade relativa atingiu 96% e a velocidade média diária do vento foi $0,27 \text{ m s}^{-1}$, sendo o menor valor verificado para esse elemento meteorológico no período.

A variação dos valores dos elementos climáticos apresentados refletiu na análise de correlação entre os dados de ETo. Na Figura 6, apresenta-se a dispersão obtida entre os valores medidos e estimados de ETo. A análise de correlação mostra coeficiente de determinação de 0,59, semelhante aos obtidos por MEDEIROS et al. (2003), trabalhando em Paraipaba - CE ($r^2 = 0,56$), e por MENDONÇA et al. (2003), para o Norte-Fluminense ($r^2 = 0,58$). Descartando alguns valores discrepantes medidos pelo lisímetro, em razão de chuvas e rajadas de vento no período, o coeficiente de determinação obtido aumentou para 0,72, evidenciando ajuste satisfatório entre as medidas lisimétricas e os valores obtidos pelo modelo de Penman-Monteith, padronizado pela FAO (SILVA et al., 1999a; MENDONÇA et al., 2003). Assim, ressalta-se que, mesmo com pequeno período de dados analisados e com a ocorrência de chuva no período, os valores de ETo obtidos no lisímetro se mostraram bem correlacionados com aqueles estimados pelo modelo. Apesar desta avaliação, é importante salientar a necessidade de análise contínua dos dados obtidos no lisímetro com os elementos meteorológicos que interferem no processo evapotranspirativo, para que o manejo da irrigação seja efetuado de maneira satisfatória.

Quanto ao custo total do equipamento, esse foi de aproximadamente R\$ 18.700,00; sendo R\$ 700,00 a célula de carga; R\$ 15.000,00 o sistema de aquisição de dados; R\$ 1.500,00 as chapas metálicas e R\$ 1.500,00 cabos, tubos, alvenaria, mão-de-obra, etc. É importante ressaltar que o sistema de aquisição de dados utilizado não foi adquirido somente para a obtenção da ETo pelo lisímetro, mas também para aquisição de dados de sensores constituintes da estação meteorológica automática, tornando o custo elevado.

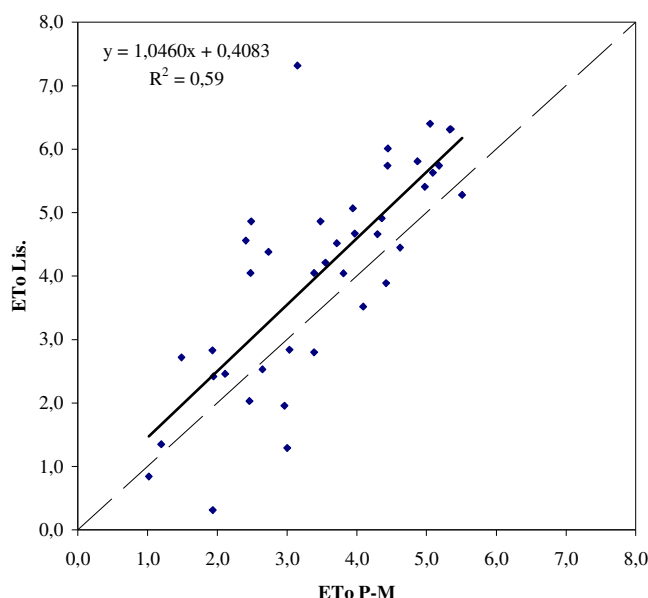


FIGURA 6. Correlação entre os valores diários da evapotranspiração de referência (mm d^{-1}) medidos pelo lisímetro (ETo Lis.) e estimados por P-M (ETo P-M).

CONCLUSÕES

O lisímetro construído foi instalado e calibrado adequadamente, apresentando boas condições de funcionamento e permitindo a obtenção de medidas de evapotranspiração em concordância com estimativas realizadas pelo método de Penman-Monteith, na região de Seropédica - RJ.

REFERÊNCIAS

- ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. *Lysimeters*. Rome: FAO, 1982. 68 p. (Irrigation and Drainage, Paper 39).
- ALLEN, R.G.; PRUITT, W.O.; JENSEN, M.E. Environment requirements of lysimeters. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, I.A.; JENSEN, M.E. (Eds.) *Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LYSIMETRY, 1991, New York. *Proceedings...* New York: ASCE, 1991. p.170-81.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. 301 p. (FAO Irrigation and Drainage, Paper 56).
- CAMPECHE, L.F.S.M. *Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da cultura da lima ácida "Tahiti" (Citrus latifolia Tan)*. 2002. 67 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- CARVALHO, D.F.; FERNANDES, J.M.; CRUZ, E.S.; SILVA, W.A.; OLIVEIRA, L.F.C. Comparação entre diferentes metodologias de estimativa da evapotranspiração de referência e sua influência da demanda máxima suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) no Estado do Rio de Janeiro. *Revista Agronomia*, Seropédica, v.36, n.1/2, p.48-55, 2002.
- CRUZ, F.A. *Instalação e calibração de lisímetro de pesagem e determinação da evapotranspiração de referência para a região de Seropédica - RJ*. 2005. 79 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.
- HOWELL, T.A.; McCORMICK, R.L.; PHENE, C.J. Design and installation of large weighing lysimeters. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.28, n.117, p.106-12, 1985.

- KASHYAP, P.S.; PANDA, R.K. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid region. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.50, n.1. p.9-25, 2001.
- KIRKHAM, R.R.; GEE, G.W.; JONES, T.L. Weighing lysimeters for long-term water balance investigations at remote sites. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.48, n.5, p.1203-5, 1984.
- MEDEIROS, A.T.; SENTELHAS, P.C.; LIMA, R.N. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba - CE. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.23, n.1, p.21-30, 2003.
- MENDONÇA, J.C.; SOUZA, E.F.; BERNARDO, S.; DIAS, G.P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), na região norte fluminense - RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, n.2, p.275-9, 2003.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDYIAMA, G.C. *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- PEREIRA, A.R.; SANTIAGO, A.V.; MAGGIOTO, S.R.; FOLEGATTI, M.V. Problemas operacionais com lisímetros de pesagem durante a estação chuvosa e em dias secos com rajadas de vento. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.10, n.1, p.51-6, 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.
- SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia aplicada à irrigação. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. *Irrigação*. Jaboticabal: SBEA, 2001. v.1, p.63-120. (Série Engenharia Agrícola)
- SILVA, F.C.; FOLEGATTI, M.V.; PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A. Uso de dispositivos lisimétricos para medida da evapotranspiração de referência. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.7, n.1, p.19-23, 1999a.
- SILVA, F.C.; FOLEGATTI, M.V.; MAGGIOTTO, S.R. Análise de funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.7, n.1, p.53-8, 1999b.
- SILVA, L.D.B. *Evapotranspiração do capim Tanzânia (Panicum maximum Jacq) e grama-batatais (Paspalum notatum Flugge) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem*. 2003. 93 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.