



Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: Desenvolvimento e calibração

Luiz F. M. de S. Campeche¹, Antenor O. Aguiar Netto², Inajá F. Sousa², Gregório G. Faccioli²,
Vicente de P. R. da Silva³ & Pedro V. de Azevedo³

RESUMO

A evapotranspiração de plantas frutíferas foi medida a partir da instalação e calibração de um lisímetro de pesagem de grande porte. O equipamento, composto por caçamba metálica em aço carbono, possui arquitetura circular com área de 5,72 m² e massa total de 10,5 toneladas. Uma muda de coqueiro anão-verde foi transplantada para o lisímetro e mantida sob as mesmas condições de solo e adubação do campo experimental. Na automação do processo foi utilizado o mecanismo de alívio de carga baseado em sistemas de alavancas e contrapesos, apoiado em uma célula de carga com capacidade de 200 kg e precisão de 0,02% de sua capacidade. Os dados de saída da célula de carga foram armazenados em um coletor automático de dados tipo data logger. A relação entre a variação de massa e a voltagem da célula de carga do lisímetro é descrita adequadamente por modelo linear com mínima histerese. A metodologia empregada na instalação e na calibração do lisímetro foi adequada, obtendo-se um coeficiente de determinação de 0,99 na equação de calibração. Os resultados ainda indicam que o lisímetro de pesagem pode ser utilizado com êxito na determinação de evapotranspiração de plantas frutíferas de grande porte.

Palavras-chave: evapotranspiração, célula de carga, plantas frutíferas

A large-scale weighting lysimeter. Part I: Development and calibration

ABSTRACT

The objectives of present study were to develop and to calibrate a large-scale weighing lysimeter in order to estimate evapotranspiration of fruit plants. The equipment consisted of a metallic bucket (steel carbon) of circular design with total area of 5.72 m² and total mass of 10.5 t. A seedling of dwarf-green coconut palm was transplanted in lysimeter and maintained under same fertilization conditions of experimental field. For automation of the process, a mechanism of load relief based on systems of levers and counterbalances was used, leaning in a load cell with capacity of 200 kg and precision of 0.02% of its capacity. The output data of load cell were stored in an automatic data acquisition system. The relationship between mass variation (mm) and voltage (mV) of the load-cell lysimeter described a linear model with minimum hysteresis. Also, it can be concluded that the methodology used for the calibration of the weighing lysimeter was appropriate, showing a coefficient of determination of 0.99 for the calibration equation. Results also indicated that the large-scale weighing lysimeter can be used with success in the determination of evapotranspiration of fruit plants.

Key words: evapotranspiration, load cell, fruiting plants

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, CEP 56000-000, BR 407, km 8, Jardim São Paulo, Petrolina, PE. E-mail: ifsmcamp@carpa.ciagri.usp.br

² DEA/UFS, Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, CEP 49100-000, São Cristóvão, SE. Fone: (79) 2105-6929. E-mail: ifsousa@ufs.br; antenor@ufs.br

³ UACA/UFCG, Av. Aprígio Veloso 882, Bodocongó, CEP 58109 970, Campina Grande, PB. Fone: (83) 3310-1202. E-mail: vicente@dca.ufcg.edu.br; pvieira@dca.ufcg.edu.br

INTRODUÇÃO

O conhecimento da evapotranspiração se constitui em informação relevante no manejo de culturas agrícolas. Estudos têm sido desenvolvidos para se determinar a evapotranspiração de culturas através dos métodos do balanço de energia baseado na razão de Bowen (Souza et al., 2006, 2008; Borges et al., 2008) e no balanço hídrico no solo (Campos et al., 2008; Silva et al., 2009). A evapotranspiração de referência também tem sido intensamente estudada em face da sua importância no manejo da irrigação e na caracterização da demanda atmosférica, inclusive com a elaboração de programa computacional (Silva et al., 2005). Na calibração desses métodos a lisimetria de pesagem tem sido considerada a técnica padrão na determinação da evapotranspiração de cultura e de referência (Chapman & Malone, 2002; Mendonça et al., 2003; López-Urrea et al., 2006; Vaughan et al., 2007). Faria et al. (2006) apresentaram detalhes da construção de uma bateria de dez lisímetros de pesagem e testaram sua capacidade de medir variações de massa de água em condições de campo. Em experimento realizado no norte da China, Liu et al. (2002), determinaram a evapotranspiração de milho e trigo utilizando lisímetro e microlisímetro. Recentemente, Liu & Luo (2010), também utilizaram lisímetro de pesagem para avaliar o coeficiente de cultivo dual proposto pela FAO (Boletim 56) em pesquisa realizada na mesma região da China.

A técnica de lisimetria consiste em medir a variação do peso de um bloco de solo, devido à entrada ou saída de água, por meio de uma célula de carga que monitora a dinâmica da água no solo. Atualmente, o estado da arte desse equipamento, que oferece a estimativa da evapotranspiração e drenagem baseada em pesagem, é usado rotineiramente em condições de campo para monitorar o crescimento de culturas e obter o coeficiente de cultivo (Poss et al., 2004). Os lisímetros têm sido construídos de acordo com as necessidades específicas, que dependem da cultura estudada, do tipo de solo e do clima. Esses equipamentos são grandes caixas cheias de solo, localizadas no campo, apresentando superfície nua ou coberta por vegetação. Existem, basicamente, três tipos de lisímetro para a determinação da evapotranspiração, denominados de drenagem, de lençol freático constante e de pesagem (Pereira et al., 2002). Os lisímetros de pesagem determinam a evapotranspiração a partir da variação do peso de um bloco de solo devido à entrada ou saída de água, constituindo uma medida direta da dinâmica da água num solo cultivado ou nu, com uso bastante difundido atualmente. Muitos autores consideram o lisímetro de pesagem o melhor equipamento disponível para medir com precisão a evapotranspiração de referência e de culturas, como também para calibração de modelos de estimativa dessas variáveis (Tyagi et al., 2000). Apesar da técnica da lisimetria ser considerada padrão no estudo de calibração de outros métodos, ela não está isenta de críticas, sendo mais precisa quando se calcula evapotranspiração em períodos menores que um dia. A calibração e a coleta de dados em lisímetros de pesagem envolvem erro de medida, o qual é usado para qualificar os dados em análise. Quatro tipos de erro de medidas são apontados na literatura: exatidão, precisão, sensibilidade e resolução, com definições confusas e, muitas vezes, usadas incorretamente (Campeche, 2002).

Dentre os principais fatores ambientais e de projeto que podem afetar as medições de evapotranspiração nos lisímetros se destacam os efeitos da advecção, as dimensões do lisímetro, o regime de umidade do solo no seu interior, a espessura das paredes do lisímetro e a distância entre elas, a altura de suas bordas e diferenças de altura e densidade da vegetação dentro e fora do lisímetro. Assim, considerando-se a importância das medições diretas da evapotranspiração de superfícies cultivadas, a primeira parte deste trabalho objetivou instalar e calibrar o funcionamento de um lisímetro de pesagem de grande porte com vista à sua utilização em fruticultura irrigada.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O experimento foi conduzido em São Cristóvão, SE (Latitude 11° 01' S; Longitude 37° 12' W e Altitude 20 m) em solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Arênico. O preparo do solo para implantação do experimento na área experimental foi realizado por meio de arado de discos e grade niveladora. Em toda a área foi feita calagem, manualmente, de 2 t de calcário dolomítico (PRNT 80%) por hectare para elevar a saturação por bases a 70%; em seguida, fez-se a abertura de covas para o plantio com auxílio de uma broca de 0,4 m de diâmetro e 0,6 m de profundidade e, posteriormente, complementada manualmente para atingir o diâmetro requerido de 0,8 m. A adubação de formação inicial do pomar foi realizada com a aplicação de 10 L de esterco bovino, 10 L de cama de frango, 0,6 kg de calcário dolomítico e 1 kg de superfosfato simples em cada cova. Para a manutenção da fertilidade foram aplicados 300 g de sulfato de amônia e 12 L de esterco bovino na terceira semana de dezembro de 2005. A adubação foi reaplicada na terceira semana de janeiro, acrescida de 150 g de cloreto de potássio; a partir do mês de março foi aplicada nova adubação de manutenção, repetida a cada três meses, com 12 L de esterco bovino, 45,6 g de cloreto de potássio, 200 g de sulfato de amônia, 400 g de superfosfato simples e 10 g de FTE (micronutrientes). O clima da área de estudo é semiárido (Silva, 2004) com temperatura variando de 18,3 a 35,2 °C (Cavalcanti et al., 2006).

Montagem do lisímetro

O lisímetro de pesagem de grande porte que foi montado é composto por caçamba metálica em aço carbono, possui arquitetura circular com 2,7 m de diâmetro por 1,0 m de profundidade, totalizando 5,72 m² e aproximadamente 10,5 toneladas de massa total distribuídos entre a caçamba, o solo com a umidade mantida em 30% e a planta. Para a automação do processo utilizou-se o mecanismo de alívio de carga com base em sistemas de alavancas e contrapesos, apoiado em uma célula de carga com capacidade de 200 kg e precisão de 0,02% de sua capacidade, para o que se contratou uma empresa especializada (Balanças Açores, Londrina, PR) para confecção do sistema de alavancas; a partir de então, foi desenvolvido um sistema de redução de peso na proporção de 50:1, ou seja, para cada quilograma de “peso vivo” o sistema “amortecia” 50 kg de “peso morto”, que é justamente a variação na entrada e

saída de água. Na Figura 1 é exibido o corte transversal do esquema de instalação do lisímetro de pesagem, incluindo o sistema de alavanca e contrapeso.

Para a instalação do lisímetro o solo foi escavado

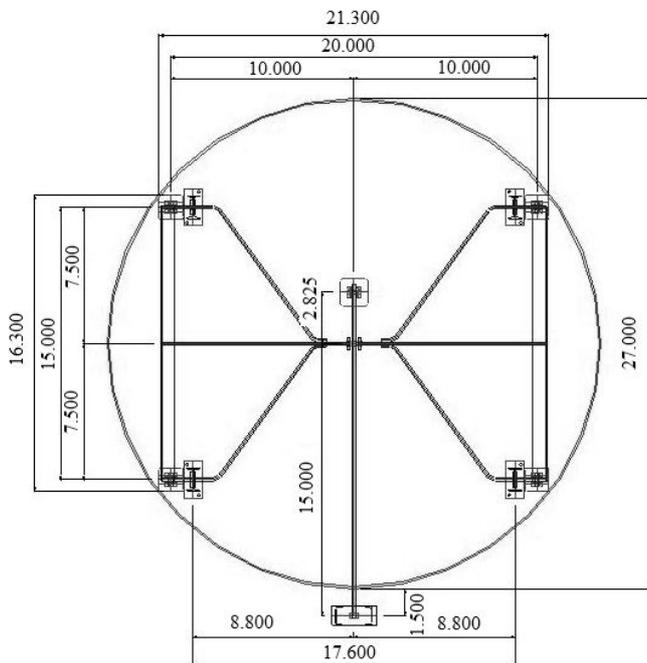


Figura 1. Corte transversal do esquema de instalação do lisímetro de pesagem com o sistema de alavanca e contrapeso. As unidades estão em milímetros

manualmente, tomando-se o cuidado de separar o solo em camadas de 0,10 m até a profundidade de igual valor da caixa metálica, que foi até a profundidade de um metro. As camadas de solo foram acondicionadas em lonas plásticas, identificadas e armazenadas no próprio local. Uma parede externa de concreto armado com espessura de 0,10 m para sustentação do solo circundante e abertura (caixa de visita), foi construída para possibilitar o acesso ao tanque de drenagem e célula de carga para viabilizar futuras manutenções nesses dispositivos. Foram construídas, ainda, 6 sapatas de concreto (0,4 x 0,4 x 0,4 m) e aço tipo GG 50 para sustentação de todo o sistema, com forma retangular nas extremidades do círculo, uma delas alocada no ponto central e outra fora do círculo, com a finalidade de apoio do sistema que comportava a célula de carga; posteriormente, colocou-se uma camada de 0,10 m de brita nº 1 no fundo da caixa externa para facilitar a drenagem da água (Figura 2). A camada de brita foi forrada com uma manta poliéster tipo bidin, com vistas à obtenção de melhor gradiente para a drenagem. O solo retirado na abertura da trincheira foi usado para encher a caçamba metálica, obedecendo a ordem das camadas, sendo recomposto o perfil do solo do local dentro do lisímetro.

Para quantificar as perdas de água por drenagem durante a irrigação e principalmente no período das chuvas, fez-se a instalação do sistema de coleta da água da drenagem, composto de dois tubos de PVC de 250 mm de diâmetro e 2,0 m de comprimento, que corresponde a 35 mm de chuva ou irrigação. A água coletada foi medida com a finalidade de se subtrair os dados de evapotranspiração coletados. É importante ressaltar



Figura 2. Preenchimento do lisímetro com brita nº 1 (A), manta de poliéster (B) e acomodação do solo no lisímetro (C)

que a caixa de drenagem estava acoplada à caçamba metálica, sendo também sua massa registrada pela célula de carga. O mesmo procedimento de instalação de lisímetro de pesagem de grande porte foi usado com êxito por Phene et al. (1989).

O sistema de irrigação localizada por gotejamento foi

utilizado com emissores autocompensantes (Netafim, modelo PCJ), composto com sistema de bombeamento, linhas de recalque, cabeçal de controle, linhas de derivação e laterais. Cada linha de derivação tinha 100 m de comprimento e 16 mm de diâmetro interno. Um tubo flexível com 10 mm de diâmetro interno dispostos de forma radial ao redor da planta, foi conectado às linhas laterais. Quatro gotejadores equidistantes foram conectados a esses tubos, com vazão unitária de 8 L h^{-1} , totalizando $32 \text{ L h}^{-1} \text{ planta}^{-1}$; referido sistema facilitou o manejo da irrigação ao longo de todas as fases fenológicas da planta permitindo, assim, uma distribuição uniforme de água na zona radicular do coqueiro. Uma muda de coco anão-verde foi implantada no lisímetro, que estava localizado no centro da área experimental de 1,5 ha, e submetida aos mesmos níveis de irrigação e adubação. Na Figura 3 é exibido o lisímetro de pesagem com a planta do coqueiro e a disposição dos gotejadores utilizados na irrigação da planta.

A.



B.

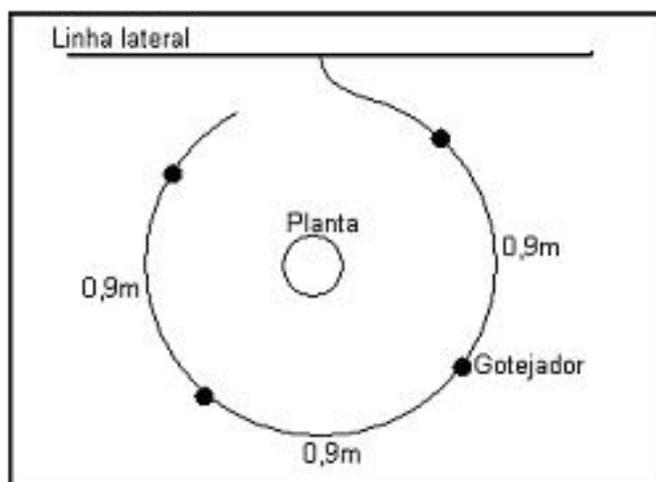


Figura 3. Lisímetro de pesagem com a planta do coqueiro (A) e a disposição dos gotejadores ao longo do tubo flexível (B)

Sistema de aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados tipo data logger foi utilizado para armazenar a média do valor da massa adicionada ao equipamento, em sinal mV, e a evapotranspiração calculada pela diferença de massa em um período de tempo. A utilização desse sistema visa à eficiência maior na coleta da drenagem sem prejudicar a medida, não permitindo acúmulo excessivo de água na caçamba metálica, o que promoveria efeitos negativos de diminuição da aeração do solo. Para transformação da balança mecânica em balança eletrônica foi acoplada, ao tirante da balança, uma célula de carga blindada tipo “S” (SV 200, Alfa instrumentos) com capacidade para 2.000N de tensão, sensibilidade de 2mV/V e acurácia de 0,02% de fundo de escala; obteve-se, então, uma célula de carga eletrônica acoplada a uma balança mecânica com capacidade de 200 kg de massa. Para determinação da evapotranspiração da cultura, o intervalo das leituras no coletor de dados foi de 1s, com média a cada 30 min. Os dados de saída da célula de carga foram armazenados no sistema de aquisição de dados.

Calibração do lisímetro

A calibração do lisímetro foi executada da seguinte forma: com o lisímetro preenchido com as camadas de solo, colocou-se uma lona plástica para evitar a evaporação de água durante o processo de calibração e possíveis erros de leitura. Inicialmente, foi registrada a média da milivoltagem desse sistema considerando-se então o “zero”; em seguida, com intervalos de 2 minutos, foram acrescentados cinco sacos de brita nº 1, hermeticamente fechados, com massa de 6,9 kg cada um. Na Figura 4 são exibidos os detalhes da calibração do lisímetro com sacos de brita.



Figura 4. Calibração do lisímetro com sacos de brita nº 1, hermeticamente fechados

Este procedimento foi repetido até atingir 50 sacos de brita, correspondendo a 60 mm (6 mm por bateria); em seguida, foram acrescentados, individualmente, sacos de brita com 5,7 kg de massa até o total de 10 sacos, correspondendo a 10 mm (1 mm por bateria). Na sequência, novamente foram acrescentados 5 sacos de igual massa de 6,9 kg, procedimento que totalizou 110 sacos, ou seja, 744,3 kg de massa, correspondendo então ao acréscimo

de 130 mm de água ao sistema. O mesmo procedimento foi executado de maneira inversa com a retirada dos sacos na mesma ordem e tempos em que foram adicionados ao sistema. O primeiro minuto da medida foi descartado para análise, já que ele inclui as oscilações provocadas pelo acréscimo e decréscimo do peso. A massa dos sacos foi medida em balança de precisão de 0,1 g. Desta maneira, foram utilizados 100 sacos de brita, com 6,9 kg de massa cada um e 10 sacos de brita com 5,7 kg cada qual, totalizando 110 sacos, o que possibilitou o estabelecimento de relação linear entre o somatório da saída de sinal da célula de carga e a massa adicionada, com equivalência em milímetros de água (mV versus mm). Finalmente, foram obtidos 61 pares de pontos para elaboração da curva de calibração do equipamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de saída das células de carga em mV de excitação e o equivalente em massa (kg) durante o processo de calibração do lisímetro, são exibidos na Figura 5. O modelo linear descreveu adequadamente a relação, tendo em vista o alto coeficiente de determinação de 0,99. Verificou-se, ainda, baixa dispersão entre os valores de potencial elétrico registrados pelo data logger e as cargas aplicadas no lisímetro, com pequenos desvios e baixa histerese. Resultados semelhantes foram encontrados por Campeche (2002), quando utilizou metodologia semelhante na calibração de lisímetros para a determinação da evapotranspiração da lima ácida. O erro padrão de estimativa da regressão linear foi 1,31 kg, que corresponde a 0,228 mm. Faria et al. (2006), analisando o funcionamento de lisímetros de pesagem em condições de campo, obtiveram correlações de 0,99 e baixa histerese entre as variações de massa e a resposta de voltagem. Em outro estudo, Santos et al. (2008) também observaram leituras da evapotranspiração de referência consistentes em todos os ensaios de calibração de lisímetro, com respostas lineares e histerese desprezível em área de assentamento rural no semiárido nordestino.

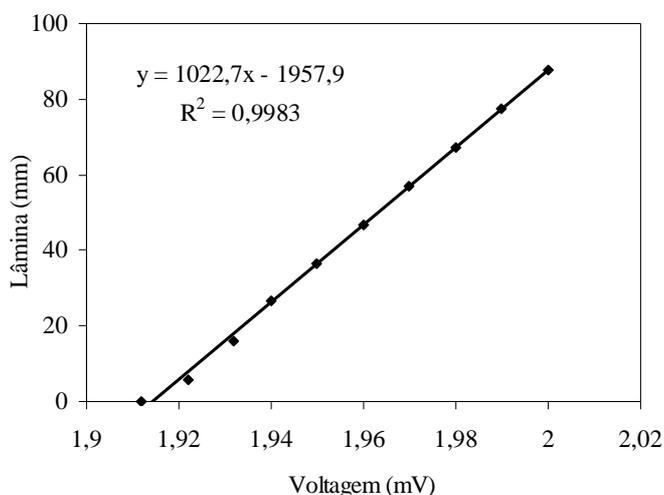


Figura 5. Relação entre variação de massa e a leitura da balança da célula de carga durante a calibração do lisímetro

Na Figura 6 são exibidos os erros entre os pesos medidos pelos lisímetro e os pesos padrões adicionados e retirados durante a calibração do lisímetro. A exatidão do sistema foi de 0,08 mm, muito próximo dos valores encontrados por Campeche (2002), que variaram de 0,02 a 0,1 mm, utilizando a mesma metodologia empregada no presente estudo. Os erros variaram entre -0,17 mm e 0,24 mm, com média e desvio padrão de 0,01 e 0,09 mm, respectivamente. O erro absoluto apresenta leve tendência crescente com o aumento da lâmina, porém sem nenhuma significância estatística.

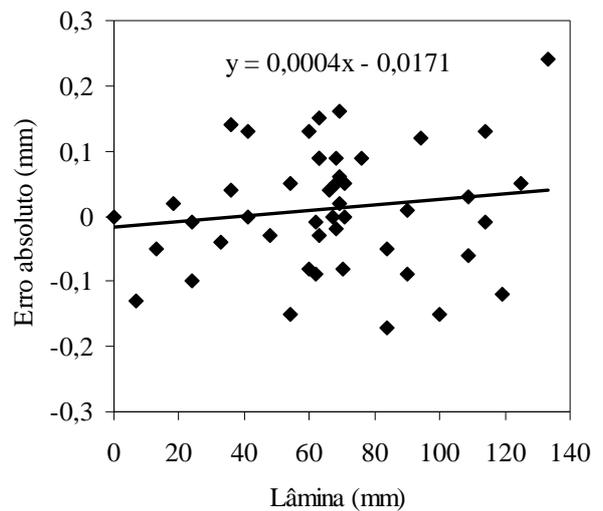


Figura 6. Erro entre o peso medido pelo lisímetro e o peso padrão durante a calibração

Para demonstrar a capacidade do lisímetro em monitorar os componentes do balanço hídrico no solo apresenta-se, na Figura 7, a variação diária da massa, expressa em milímetros, em dois dias característicos: Dia Juliano 233, dia com chuva e drenagem, e Dia Juliano 244, dia sem chuva e sem drenagem. As médias e os desvios padrão da variação de massa do lisímetro nesses dias, são os seguintes: Dia Juliano 233 = $160,6 \pm 4,9$ mm e Dia Juliano 244 = $121,2 \pm 0,75$ mm. Apesar da diferença

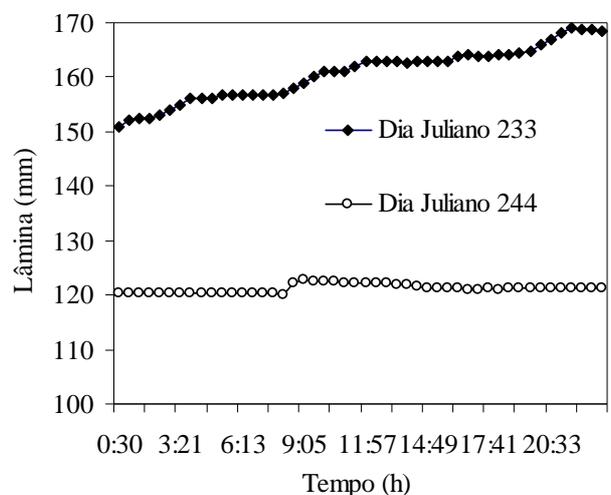


Figura 7. Variação da lâmina de água armazenada no lisímetro em dias com chuva e drenagem (Dia Juliano 233) e sem chuva e sem drenagem (Dia Juliano 244)

entre essas estatísticas dos dias analisados, a precisão do equipamento não foi afetada.

No período noturno a lâmina de água é decrescente nos dois dias analisados, visto que o saldo de radiação, principal variável meteorológica envolvida no processo evapotranspiratório, é negativo ou insuficiente para promover a energia necessária para tal processo, condições em que a evapotranspiração se torna dependente das condições de movimento do ar e da energia acumulada pelo sistema. Apesar da pequena evapotranspiração ocorrida durante o período noturno, esses valores não devem ser descartados no somatório da evapotranspiração diária quando se utilizam modelos de estimativa da evapotranspiração. Pereira et al. (2002), trabalhando com lisímetro de pesagem para determinação da evapotranspiração de referência, afirmam que, em média, 15% da evapotranspiração diária ocorrem durante o período noturno. Quando a variação de massa é positiva, ou seja, crescente, significa que houve entrada de água no sistema devido às chuvas ou às irrigações.

No Dia Juliano 233, quando ocorreram precipitações ao longo do dia e drenagem contínua, verificou-se um crescimento da variação da massa do sistema, circunstâncias em que é aconselhável que os dados desse período sejam descartados em face da dificuldade na determinação dos valores de evapotranspiração. Neste particular, Pereira et al. (2002), aconselham o descarte de dados de lisímetro de pesagem quando os valores de chuva diários superam 1 mm. Por outro lado, Santiago (2001), trabalhando com dados de lisímetro de pesagem em dias chuvosos para determinação da evapotranspiração de referência, também aconselhou o descarte dos dados face à difícil separação entre evapotranspiração e drenagem do sistema; já no dia Juliano 244 observa-se pequena variação decrescente de massa do sistema no período noturno, em decorrência da saída de água por drenagem, ou seja, do final do dia até as primeiras horas da manhã. A drenagem ocorrida durante este período foi devida ao fato de que os drenos se encontravam abertos permitindo, assim, o escoamento contínuo da água em excesso. Portanto, é importante que os sistemas de drenagem sejam eficientes quando se trabalha com lisimetria de pesagem, o que permite uma boa aeração do solo; logo, não prejudicando a cultura e permitindo uma boa coleta de dados. Apresenta-se, na Figura 8, a variação temporal da sensibilidade de mudança de massa no sistema lisimétrico. Pode-se visualizar a capacidade que o lisímetro de pesagem tem em detectar mudanças de massa da ordem de 0,1 mm, em intervalos de até meia hora, conferindo-lhe alta sensibilidade, habilitando o uso desse tipo de equipamento para estudo e pesquisa das necessidades hídricas das culturas; além disso, a metodologia de construção e a montagem do lisímetro de pesagem apresentadas neste estudo, podem ser empregadas com precisão para determinação da evapotranspiração das culturas.

A sensibilidade do sistema é fator relevante na qualidade das medidas. Normalmente, as células de carga dos lisímetros oferecem medidas em escalas maiores ou iguais a 1h, com boa sensibilidade. Por outro lado, a alta sensibilidade do equipamento pode levar a alguns problemas, sobretudo em operação no campo; outro fato significativo é o efeito do vento,

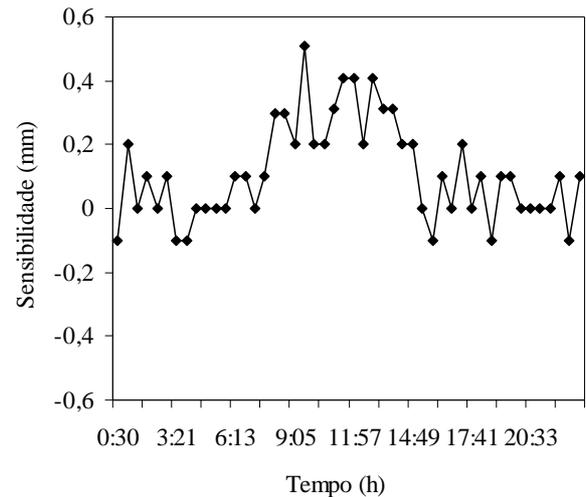


Figura 8. Sensibilidade de mudança de massa no lisímetro durante um dia com drenagem contínua

que produz oscilações instantâneas nas medidas, sendo mais comuns em lisímetros com plantas relativamente altas, em virtude da maior força de arraste recebida pelo sistema. A Figura 8 revela, ainda, que a sensibilidade do lisímetro é positiva durante o período diurno com média e desvio padrão de 0,19 e 0,15, respectivamente. Os máximos valores ocorreram em torno do meio dia (0,51) e decrescem em direção ao nascer e por do sol; por outro lado, este coeficiente é negativo ou muito próximo de zero durante o período noturno, sugerindo que o coeficiente de sensibilidade é também afetado pela demanda atmosférica. Descrições detalhadas de diferentes tipos de lisímetro e suas principais vantagens e desvantagens, são apresentadas por Abdou & Flury (2004).

Como mencionado antes, os dados de lisímetros são, em geral, utilizados na calibração de modelos de estimativa da evapotranspiração obtidos com base em experimento de campo e em medições de estações micrometeorológicas. Nesta linha de pesquisa será analisada, na Parte II desta pesquisa, a eficiência balanço de energia, com base na razão de Bowen, na estimativa da evapotranspiração do coqueiro quando comparada com medições do lisímetro de grande porte.

CONCLUSÕES

1. A metodologia empregada na calibração do lisímetro é tecnicamente adequada, obtendo-se coeficiente de determinação de 0,99 na equação de calibração.
2. O lisímetro de pesagem tem sensibilidade suficiente para detecção de mudanças de massa de 0,1 mm, em intervalos de no mínimo meia hora.

LITERATURA CITADA

Abdou, H.M.; Flury, M. Simulation of water flow and solute transport in freedrainage lysimeters and field soils with heterogeneous structures. *European Journal of Soil Science*, v.55, p.229-241, 2004.

- Borges, C. J. R.; Silva, V. de P. R. da; Campos, J. H. B. da C.; Azevedo, P. V. de; Moura, M. S. B.; Soares, J. M.; Silva, B. B. da. Influência do calor armazenado no sistema solo-planta no balanço de energia em pomar de mangueiras. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.393-399, 2008.
- Campeche, L. F. S. M. Construção, calibração e análise de desenvolvimento de lisímetro de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida "Tahiti" (*Citrus latifolia Tam.*). Piracicaba: ESALQ/USP, 2002. 64p. Tese Doutorado
- Campos, J. H. B. da C.; Silva, V. de P. R. da; Azevedo, P. V. de; Borges, C. J. R.; Soares, J. M.; Moura, M. S. B.; Silva, B. B. da. Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.150-156, 2008.
- Cavalcanti, E. P.; Silva, V. de P. R. da; Sousa, F. A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.140-147, 2006.
- Chapmana, T. G.; Malone, R. W. Comparison of models for estimation of groundwater recharge, using data from a deep weighing lysimeter. *Mathematics and Computers in Simulation*, v.59, p.3-17, 2002.
- Faria, R. T.; Campeche, F. S. M.; Chibana, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.237-242, 2006.
- Liu, Y.; Luo, Y. A consolidated evaluation of the FAO-56 dual crop coefficient approach using the lysimeter data in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, v.97, p.31-40, 2010.
- Liu, C.; Zhang, X.; Zhang, Y. Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.111, p.109-120, 2002.
- López-Urrea, R.; Olalla, F. M. S.; Fabeiro, C.; Moratalla, A. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*, v.85, p.15-26, 2006.
- Mendonça, J. C.; Sousa, 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*, v.7, p.275-279, 2003.
- Pereira, A. R.; Santiago, A. S.; Maggioto, S. R.; Folegatti, M. V. Problemas operacionais com lisímetro de pesagem durante a estação chuvosa e em dias secos com rajadas de vento. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.10, p.51-56, 2002.
- Phene, C. J.; McCormic, R. L.; Davis, K. R.; Pierro, J.; Meek, D. W. A lysimeter feedback irrigation controller system for evapotranspiration measurements and real time irrigation scheduling. *Transaction of the ASAE*, c.32, p.477-484, 1989.
- Poss, J. A.; Russell, W. B.; Shouse, P. J.; Austin, R. S.; Grattan, S. R.; Grieve, C. M.; Lieth, J. H.; Zeng, L. A volumetric lysimeter system (VLS): An alternative to weighing lysimeters for plant-water relations studies. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.43, p.55-68, 2004.
- Santiago, A. V. Evapotranspiração de referência medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO-56), nas escalas mensal e decenal. Piracicaba: ESALQ/USP, 2001 51p. Dissertação Mestrado
- Santos, F. X.; Rodrigues, J. J. V.; Montenegro, A. A. A.; Moura, R. F. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.115-124, 2008.
- Silva, V. de P. R. da. On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments*, v.58, p.575-596, 2004.
- Silva, V. de P. R. da; Belo Filho, A. F.; Silva, B. B. da; Campos, J. H. B. da C. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.547-553, 2005.
- Silva, V. de P. R. da; Campos, J. H. B. da C.; Azevedo, P. V. de. Water-use efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil. *Scientia Horticulturae*, v.102, p.467-472, 2009.
- Souza, C. B.; Silva, B. B. da; Azevedo, P. V. de; Silva, V. de P. R. da. Fluxos de energia e desenvolvimento da cultura do abacaxizeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.400-407, 2008.
- Souza, I. F.; Silva, V. de P. R. da; Azevedo, P. V. de; Silva, B. B. da; Cintra, F. L. D. Estimativa da evapotranspiração do coqueiro irrigado pelo método do balanço hídrico no solo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.14, p.1-10, 2006.
- Tyagi, N. K.; Sharma, D. K.; Luthra, S. K. Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower w lysimeter. *Agricultural Water Management*, v.145, p.41-54, 2000.
- Vaughan, P. J.; Trout, T. J.; Ayars, J. E. A processing method for weighing lysimeter data and comparison to micrometeorological ET_o predictions. *Agricultural Water Management*, v.88, p.141-146, 2007.