

CONSTRUÇÃO, INSTALAÇÃO, CALIBRAÇÃO, PERFORMANCE E ANÁLISE DE FUNCIONAMENTO DE LISÍMETROS DE PESAGEM CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR

Daniella Pereira dos Santos¹, Márcio Aurélio Lins dos Santos², Célia Silva dos Santos¹,
Paulo Ferreira da Silva³, Ivens Barbosa Leão⁴

RESUMO

A lisimetria tem sido um método muito utilizado no manejo da irrigação, sendo de fundamental importância para o bom desempenho do equipamento. Assim, o objetivo deste trabalho foi construir, instalar, calibrar e analisar a performance de dois lisímetros de pesagem para estudo da demanda hídrica da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). Os lisímetros foram instalados numa área experimental na Fazenda Capiatã da Usina Coruripe, em Coruripe-AL. Foram construídos com chapas de aço galvanizado e instalados sobre uma estrutura metálica montada sobre barras transversais, a fim de concentrar a massa do conjunto sobre uma célula de carga localizada no centro do sistema. Após o preenchimento do lisímetro com solo, foi realizada a análise dos dados de calibração do mesmo por meio de análise de regressão linear. Posteriormente, com os dados gerados foi observada a histerese do sistema por meio da curva de histerese e da curva de erro. Os dois lisímetros de pesagem instalados e calibrados, obtiveram alto coeficiente de determinação na equação de calibração, excelente sensibilidade e resolução, detectando variações de massa devido à chuva, irrigações, evapotranspiração e vento, durante períodos inferiores a 1 hora. O lisímetro 2 obteve maior exatidão que o lisímetro 1 no estudo da demanda hídrica da cultura. A evapotranspiração média da cana-de-açúcar foi de 4,82 e 4,90 mm dia⁻¹ no lisímetro 1 e 4,72 e 4,87 mm dia⁻¹ no lisímetro 2. A metodologia para determinação da evapotranspiração da cultura utilizando o somatório das diferenças das massas pode ser utilizada com exatidão.

Palavras-chave: lisimetria; manejo de irrigação; *Saccharum spp.*

CONSTRUCTION, INSTALLATION, CALIBRATION AND WEIGHING LYSIMETER PERFORMANCE ANALYSIS CULTIVATED WITH SUGARCANE

ABSTRACT

Lysimeter has been a widely used method in irrigation management, being of fundamental importance for the good performance of the equipment. Thus, the objective of this work was to

¹ Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFRPE, e-mails: daniellapsantos@hotmail.com; celia@agro.eng.br

² Doutor em Agronomia, Prof. Adjunto III da UFAL, e-mail: mal.santo@hotmail.com

³ Doutorando em Agronomia, UNESP, e-mail: pauloagrom@gmail.com

⁴ Secretário de Meio Ambiente da Prefeitura de Arapiraca – AL, e-mail: ivens.leao@mda.gov.br

construct, install, calibrate and analyze the performance of two weighing lysimeters to study the water demand of sugarcane (*Saccharum* spp.). The lysimeters were installed in an experimental area at the Capiatã Farm of the Coruripe Plant, in Coruripe-AL. They were constructed with galvanized steel plates and installed on a metal structure mounted on transverse bars in order to concentrate the mass of the assembly on a load cell located in the center of the system. After filling the lysimeter with soil, the analysis of the calibration data was carried out by means of linear regression analysis. Subsequently, with the data generated, the system hysteresis was observed through the hysteresis curve and the error curve. The two installed and calibrated weighing lysimeters, obtained a high coefficient of determination in the calibration equation, excellent sensitivity and resolution, detecting variations of mass due to rain, irrigation, evapotranspiration and wind, during periods less than 1 hour. The lysimeter 2 was more accurate than the lysimeter 1 in the study of the water demand of the culture. The mean evapotranspiration of sugarcane was 4.82 and 4.90 mm day⁻¹ in lysimeter 1 and 4.72 and 4.87 mm day⁻¹ in lysimeter 2. The methodology for determining the evapotranspiration of the crop using the sum of the differences of the masses can be used with accuracy.

Keywords: lysimeter; irrigation management; *Saccharum* spp.

INTRODUÇÃO

Em estudos da necessidade hídrica das plantas têm sido utilizados métodos baseados no solo (balanço hídrico), em dados agrometeorológicos (razão de Bowen, aerodinâmico, Penman-Monteith, etc.). O uso de lisímetros de pesagem serve como ferramenta padrão em estudos de perda de água das culturas, pois tais equipamentos medem diretamente a evapotranspiração de culturas agrônômicas que cobrem ou não, totalmente o solo (VELAME et al., 2012).

A lisimetria de pesagem vem sendo utilizada como técnica padrão na determinação da evapotranspiração da cultura e de referência em vários trabalhos encontrados na literatura (CAVALCANTE JR et al., 2013; SOUSA et al., 2011).

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 (CAMPECHE et al., 2011).

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). Sendo assim, a evapotranspiração obtida com a utilização deste equipamento está sujeita a imperfeições quando não manejadas corretamente (SANTOS et al., 2012).

Segundo Campeche et al. (2011) as medições nos lisímetros de pesagem podem ser afetadas por diversos fatores ambientais, dentre eles, 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.

O objetivo do presente trabalho foi a instalação, calibração e avaliação de desempenho de lisímetros de pesagem baseados em célula de carga, para o estudo da demanda hídrica da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), cv. RB927515, cultivada em Coruripe – AL.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido na Usina Coruripe, localizada nos tabuleiros costeiros no município de Coruripe – AL, a uma distância de 102 km do centro de Maceió, situada na faixa litorânea Sul do Estado de Alagoas. As coordenadas geodésicas locais da Usina Coruripe são 09° 56' de latitude Sul; 36° 05' de longitude Oeste e altitude média de 60 metros.

O solo da área de estudo é um solo classificado como Argissolo Amarelo Distrófico Fragipânico, textura arenosa/argilosa. Segundo a classificação de Koppen, o clima local é do tipo 'As', isto é, clima tropical chuvoso com verão seco. A precipitação pluvial média é de 1.413,60 mm, sendo os meses de maio a julho os mais chuvosos e outubro a dezembro os mais secos.

Escavação para instalação dos lisímetros

A escavação foi realizada manualmente (Figura 4A), tomando-se o cuidado de separar o solo em quatro camadas de 0,20 m (Figura 4B), mas após a profundidade 0,80 m não foi necessário separar as camadas. A escavação continuou até a profundidade de 2,30 m (fato esse devido à estrutura de acesso as células de carga). As quatro camadas de 0,20 m de solo foram identificadas (0-

0,20m; 0,20-0,40m; 0,40-0,60m e 0,60-0,80m) e armazenadas no próprio local e acondicionadas em sacolões. É importante salientar que a metodologia utilizada na escavação, separação e acondicionamento do solo foi necessária para reconstituição das condições iniciais do mesmo.

Estrutura da parede externa e sapata dos lisímetros

Para a construção de cada lisímetro de pesagem com célula de carga foi construída uma parede externa com uma estrutura de concreto armado (caixa externa) com espessura de 0,20 m para sustentação do solo circundante e uma abertura possibilitando o acesso ao tanque de drenagem e as células de cargas (caixa de visita) e também para viabilizar a manutenção dos lisímetros, cada caixa externa dos lisímetros tem as seguintes dimensões internas 1,60 x 1,90 x 2,30 metros de largura, comprimento e profundidade, respectivamente.

As bases de sustentação (sapatas) foram construídas com concreto armado (0,20 x 0,20 x 0,80 m) (Figuras 2A e 2B), essa estrutura de sustentação evitava o deslocamento vertical do sistema de pesagem devido às deformações do solo. As sapatas foram construídas em nível com as demais, para que o sistema lisimétrico não sofresse nenhuma modificação no seu funcionamento.

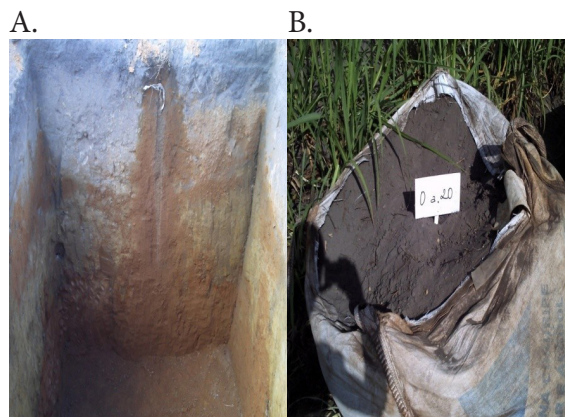


Figura 1. Cavidade no terreno para receber o sistema lisimétrico (A) e solo separado por camadas (B).

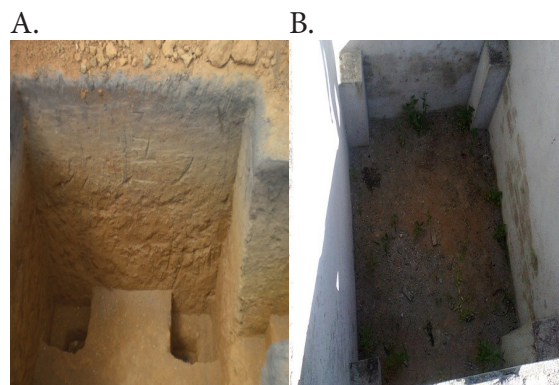


Figura 2. Vista superior das sapatas em construção (A) e prontas para receber o sistema lisimétrico (B).

Células de carga

Para fixação das células de carga foram utilizadas duas bases de cantoneiras soldadas e reforçadas com barras no sentido transversal (Figura 3A). Entre as duas bases foram colocadas três células de carga, formando um ângulo de 120°, sendo a célula de carga utilizada da marca ALPHA, modelo Z, com capacidade de medida de até 2 toneladas, com sensibilidade de aproximadamente 6.000 divisões ou 0,3 Kg (Figura 3B).

A.



B.



Figura 3. Cantoneiras para fixação das células de carga (A) instalação das células carga (B).

Construção das caixas lisimétricas

Foram construídas duas caixas lisimétricas em material de aço galvanizado, chapa nº20, revestida com tinta impermeável e depois emborrachada, para dar maior sustentação e aumentar a sua durabilidade.

A caixa lisimétrica possuía dimensões de 1,5 m x 1,8 m, de largura e comprimento, respectivamente, e profundidade de 1,2 m, totalizando uma área de superfície de 2,7 m² e volume total de 3,24 m³ (Figuras 4A e 4B).

A.



B.



Figura 4. Momento da instalação da caixa lisimétrica em campo (A, B).

Preenchimento do lisímetro com solo e sistema de drenagem

Após a construção dos lisímetros, realizou-se o seu preenchimento com solo previamente separado por camadas. No fundo de cada caçamba metálica foi adicionada uma camada de aproximadamente 0,1 m de brita nº 1 (Figura 5A), com a finalidade de promover a drenagem de água. Acima desta camada de brita, foi colocada uma manta de poliéster, para que o solo não se misturasse com a brita (Figura 5B), facilitando assim

CONSTRUÇÃO, INSTALAÇÃO, CALIBRAÇÃO, PERFORMANCE E ANÁLISE
DE FUNCIONAMENTO DE LISÍMETROS DE PESAGEM CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR



Figura 5. Camada de brita (A), manta de poliéster (B), acomodação (C) e preenchimento do solo na caixa lisimétrica (D).

a drenagem de água dentro do sistema. A partir desse ponto, foram adicionadas as camadas do solo na ordem inversa da sua retirada (Figura 5C). Para cada camada completada, o solo recebeu uma leve compactação para promover uma maior acomodação do mesmo dentro do recipiente metálico (Figura 5D). Esse procedimento foi similar para todos os lisímetros. É importante salientar que tal procedimento foi realizado com o solo seco, evitando-se a compactação.

Instrumentação e coleta de dados

O elemento sensível de cada lisímetro de pesagem, constituiu-se de uma célula de carga, modelo SV100 (Alfa Instrumentos Eletrônicos Ltda.), com capacidade de 2000 kg, calibrada previamente na fábrica e

posteriormente no conjunto lisimétrico. As células de carga são seladas contra umidade e com dispositivo para compensação contra variações de temperatura na faixa de 0 a 50°C.

Os pulsos elétricos gerados pela célula de carga foram coletados por meio de um sistema automático de coleta, o Datalogger (CR23X, Campbell Sci), programado para efetuar leitura a cada três segundos e armazenamento das médias a cada sessenta minutos, sendo posteriormente coletados com módulo de armazenamento e transferidos para microcomputador usando como interface um software para a conversão dos valores de entrada e saída de massa. A potência elétrica para o sistema foi fornecida por placa solar, com bateria de 12 V. Utilizou-se 1000 mV de excitação

para que a faixa de leitura do sinal fosse em torno de 7,5 mV, apresentando uma melhor performance, com maior sensibilidade.

Calibração dos lisímetros

A calibração dos lisímetros foi realizada, utilizando-se como massas-padrão, 40 sacos plásticos contendo, cada um 3 kg de areia, os quais foram pesados em uma balança eletrônica de precisão e vedados. Sendo as dimensões internas dos lisímetros de 1,50 m x 1,80 m (área interna de 2,7 m²), cada 3 kg adicionados a sua superfície correspondiam a uma lâmina d'água de 1,11 mm, enquanto os 120 kg correspondiam a uma lâmina total de 44,4 mm d'água.

Iniciou-se o ensaio com a obtenção da leitura de voltagem em cada lisímetro descarregado (sem os pesos-padrão). Todavia, não foi possível cobrir a superfície do lisímetro com lona plástica, a fim de diminuir evapotranspiração, pois o mesmo já se encontrava com a cultura em pleno desenvolvimento; então sobre o lisímetro foram colocados e retirados os sacos plásticos em series de 6 kg (correspondendo a 2,22 mm), em intervalos de 2 min para a estabilização da leitura do datalogger, ao qual estavam conectadas as células de carga. A cada massa adicionada, um sinal elétrico (mV), proveniente da célula de carga, era registrado no datalogger. Após a adição de todos os sacos, o procedimento inverso foi realizado, ou seja, foi retirado no mesmo intervalo de tempo, gerando assim 40 pontos para a confecção da curva de calibração do sistema.

Os dados referentes às massas-padrão aplicadas e às respectivas leituras das células de cargas foram submetidos à análise estatística de regressão linear.

A metodologia utilizada na calibração foi apresentada por Campeche (2002) e Cruz (2005), sendo a única alteração o fato do lisímetro já se encontrar com a cultura em pleno desenvolvimento. Quanto à sensibilidade do sistema foi determinada por meio de ensaio, adicionados sacos

hermeticamente fechados com 200g, 500g, 750g e 1.000g aos lisímetros.

Análise de funcionamento

Na análise de funcionamento dos lisímetros foram adotadas duas formas distintas para o cálculo de evapotranspiração diária. Ambas formas foram utilizadas por Campeche, (2002). A primeira forma também foi adotada por Allen & Fischer (1991), pois consiste na diferença de massa do conjunto solo-caixa da meia-noite de um dia até a meia-noite do dia posterior, sem considerar as oscilações a cada intervalo de integração, descontando também as irrigações e precipitações.

$$ETc_1 = \frac{(M_{24:00:00 \text{ dia atual}} - M_{24:00:00 \text{ dia anterior}})}{A \times \Delta T}$$

A segunda forma foi o somatório de todas as diferenças de massa calculadas em cada intervalo de integração ao longo de um dia, descontando apenas os valores de precipitações e irrigações.

$$ETc_2 = \frac{\sum_{i=1}^{24} (M_i - M_{i-1})}{A \times \Delta T}$$

Na avaliação do funcionamento dos lisímetros, medidas de ETc foram efetuadas pelos lisímetros por duas formas (ETc₁ e ETc₂), considerando a forma ETc₁ como a padrão segundo (MEDEIROS et al., 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Performance

Nas Figuras 6A e 6B são apresentados os decréscimos da variação da massa dos lisímetros 1 e 2 ao longo de um dia. Observa-se que no dia Juliano 162, não houve ocorrência de precipitações ou irrigações em ambos os lisímetros. A velocidade média do vento neste dia foi de 0,80 m s⁻¹, com um pico de 3,8 m s⁻¹ às 16:00 h.

O decréscimo de massa dos lisímetros ocorreram gradativamente nas horas de

CONSTRUÇÃO, INSTALAÇÃO, CALIBRAÇÃO, PERFORMANCE E ANÁLISE DE FUNCIONAMENTO DE LISÍMETROS DE PESAGEM CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR

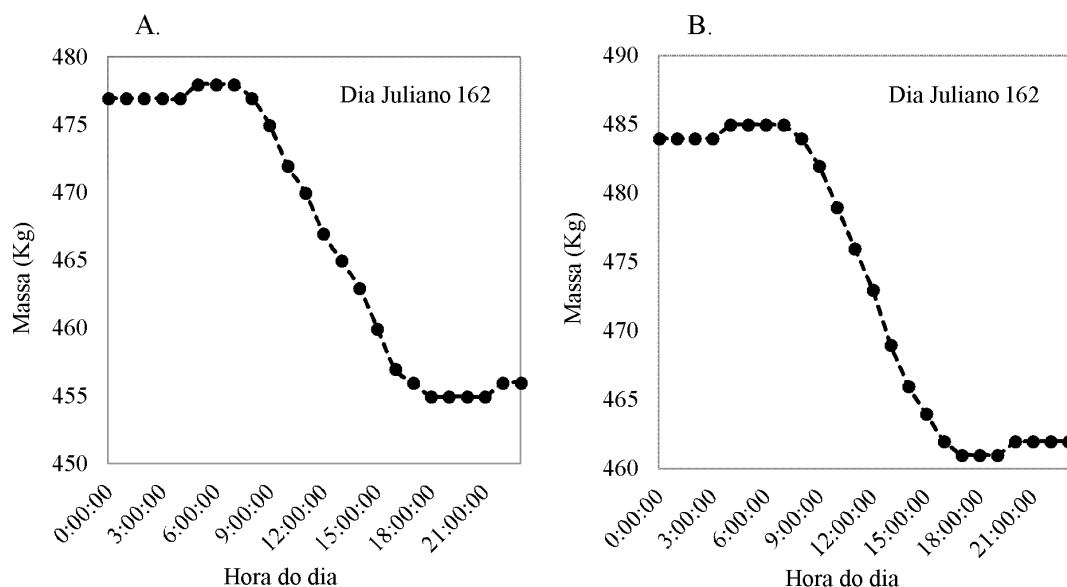


Figura 6. Performance dos lisímetros (A e B), ambos no dia Juliano 162.

maior demanda evapotranspirométrica, compreendido entre 08:00:00 às 15:00:00 horas. Percebeu-se que a turbulência causada pelo vento foi mínima, não afetando os dados de evapotranspiração.

Na Figura 7A é apresentada a performance do lisímetro 2 no dia Juliano 154. Nota-se que no período de tempo entre as 3:30:00 h até as 06:00:00 h houve aumento da lâmina armazenada, de aproximadamente 144,3 mm. A partir das 06:00:00 hs e ao longo do dia, a lâmina de água decresce suavemente devido às perdas por evapotranspiração, que neste dia alcançaram 6,8 mm.

Dias com ocorrência de chuvas são fonte de erros para a determinação da evapotranspiração, principalmente com chuva contínua ao longo do dia, como se observa nas (Figuras 7C e 7D), a impossibilidade de determinar com precisão a evapotranspiração, pois o lisímetro apresenta variação crescente de massa ao longo do dia (Figura 7B).

Esta resolução observada no lisímetro de pesagem corrobora com os resultados encontradas por Lima et al. (2013) e Nascimento et al. (2016), ambos operando lisímetros de pesagem em Recife-PE. Os autores verificaram valores de ETo da ordem de 1,30 mm em dias com ocorrência de precipitação e 3,69 em dias de sol pleno,

o que reforça a influência das condições atmosféricas na determinação da ETo.

Calibração

Verificou-se que os modelos lineares descreveram adequadamente a relação entre o peso mensurado e peso padrão, ambos em quilogramas (Kg), tendo em vista os elevados coeficientes de determinação (R^2), 0,9962 e 0,9998 conforme (Figuras 8A e 8B). Constatou-se excelente linearidade com as massas adicionadas em cada lisímetro e o sinal obtido da célula de carga com histerese mínima.

Santos et al. (2008) avaliando o desempenho de um lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo, visando à determinação direta da evapotranspiração de referência no Semiárido nordestino, verificaram que o equilíbrio do lisímetro foi estável, sendo o maior erro médio posicional de 3,93%. As calibrações geraram coeficientes de correlação superiores a 0,9993 e resoluções de leituras entre 0,095 e 0,134 mm.

Carvalho et al. (2013) também avaliando o desempenho de três lisímetros de pesagem para determinação direta da evapotranspiração da cultura do café em Uberlândia-MG, verificaram erros padrões de estimativas da ordem de 0,2, 0,08 e 0,66 mm. As calibrações forneceram coeficientes

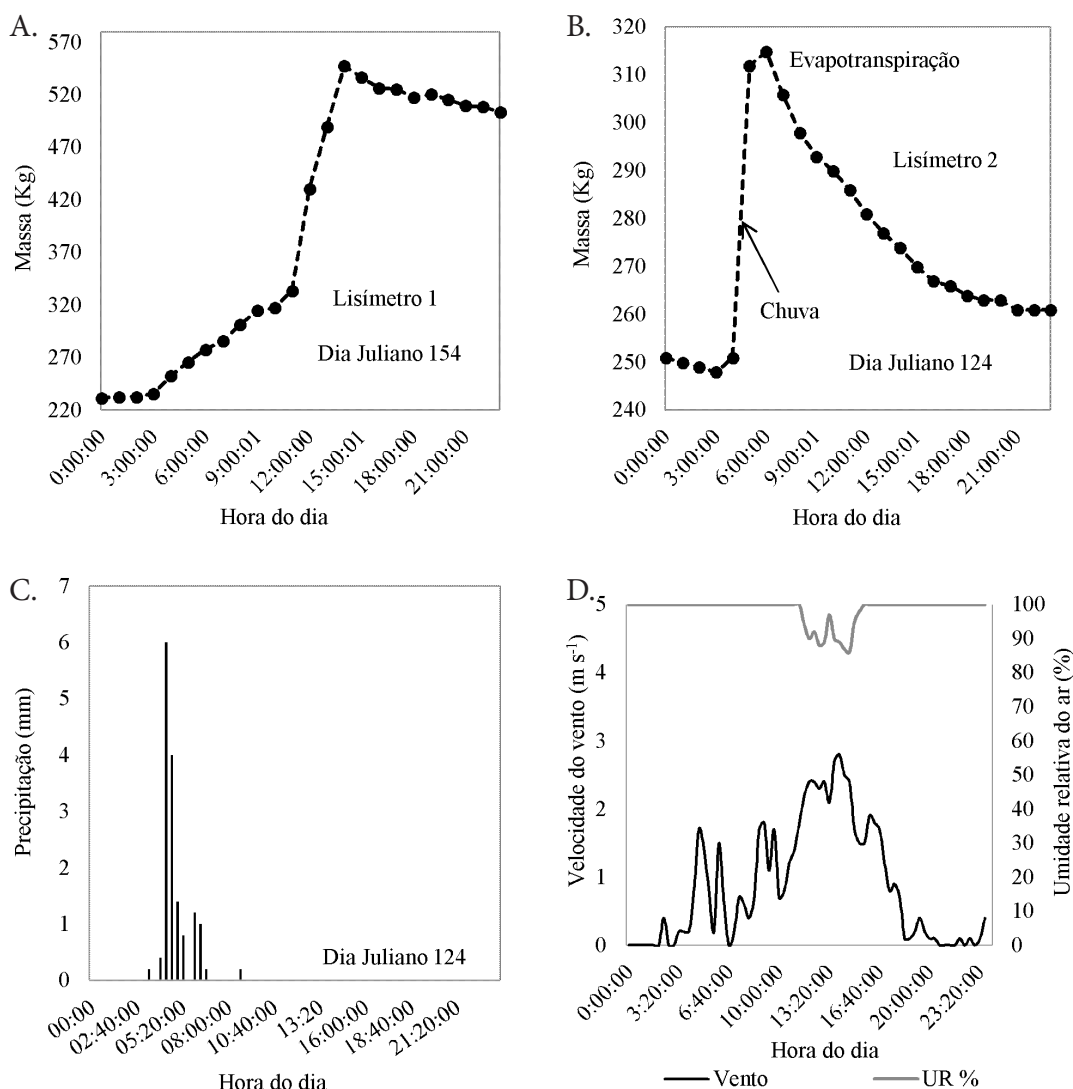


Figura 7. Performance do lisímetro em dia com ocorrência de precipitação (A e B), dados de precipitação (C), velocidade do vento e umidade relativa do ar (D), nos dias julianos 154 e 124.

de correlação de 0,9999, 0,9999 e 0,9996 para os três lisímetros de pesagem.

No ensaio foram observados valores de sensibilidade a partir de 1 kg correspondendo a uma variação de 0,0033mV ou 3,33 μ V (microvolts) ou 0,370 mm. Os valores observados estão condizentes com o desejado, pois mesmo que a resolução do datalogger possibilite a sensibilidade a partir de 0,100g o mesmo foi configurado para detectar variação acima de 1 Kg.

Análise de funcionamento

Na Figura 9A houve uma pequena variação da ET_c quando determinada pelos dois métodos, analisado no lisímetro 1 (A). Observa-se que os valores variaram entre

0 e 7,77 $mm\ dia^{-1}$ para ET_{c1} e ET_{c2} , com valores médios da ordem de 4,82 e 4,90 $mm\ dia^{-1}$. No lisímetro 2 (B) (Figura 9B), obteve-se valores que variaram entre 0 e 7,77 mm para ET_{c1} , 0 e 7,40 mm para ET_{c2} , e valores médios da ordem de 4,72 e 4,87 $mm\ dia^{-1}$. Conforme demonstra a variação, os métodos ET_{c1} e ET_{c2} apresentam resultados semelhantes, com uma ligeira subestimativa do ET_{c2} , ambos os métodos consideram a variação de massa de 24h do lisímetro.

Resultados semelhantes corroboram com Silva et al., (2011) que também trabalhou com cana-de-açúcar em Juazeiro-BA. No qual encontrou ao longo do ciclo da cultura, ET_c que oscilou entre um mínimo de 1,2 $mm\ dia^{-1}$ e um máximo de 7,5 $mm\ dia^{-1}$, com média de 4,7 $mm\ dia^{-1}$.

CONSTRUÇÃO, INSTALAÇÃO, CALIBRAÇÃO, PERFORMANCE E ANÁLISE DE FUNCIONAMENTO DE LISÍMETROS DE PESAGEM CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR

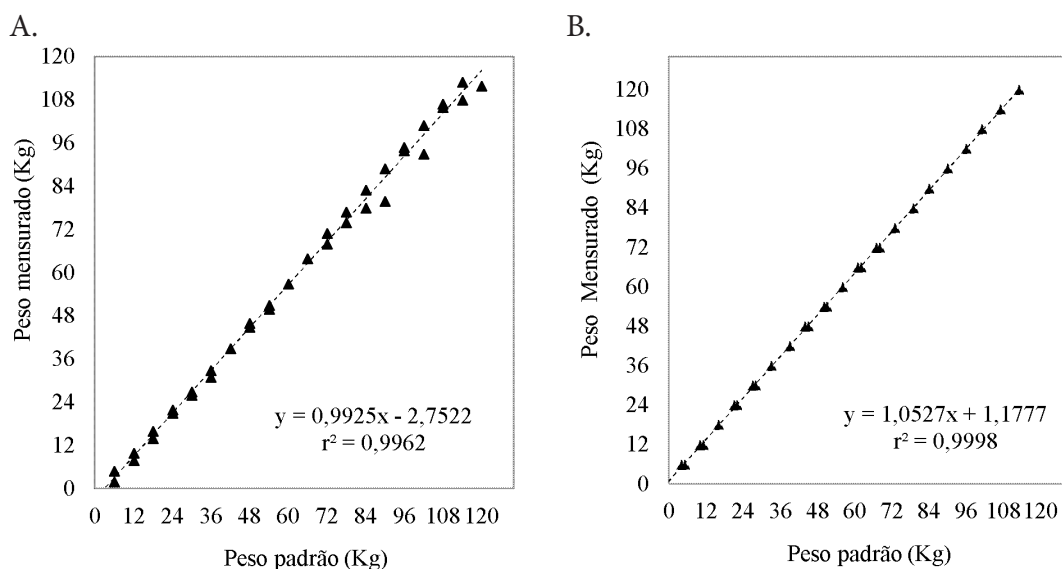


Figura 8. Variação de massa em função do peso mensurado e peso padrão medido nos lisímetros de pesagem para calibração (A e B).

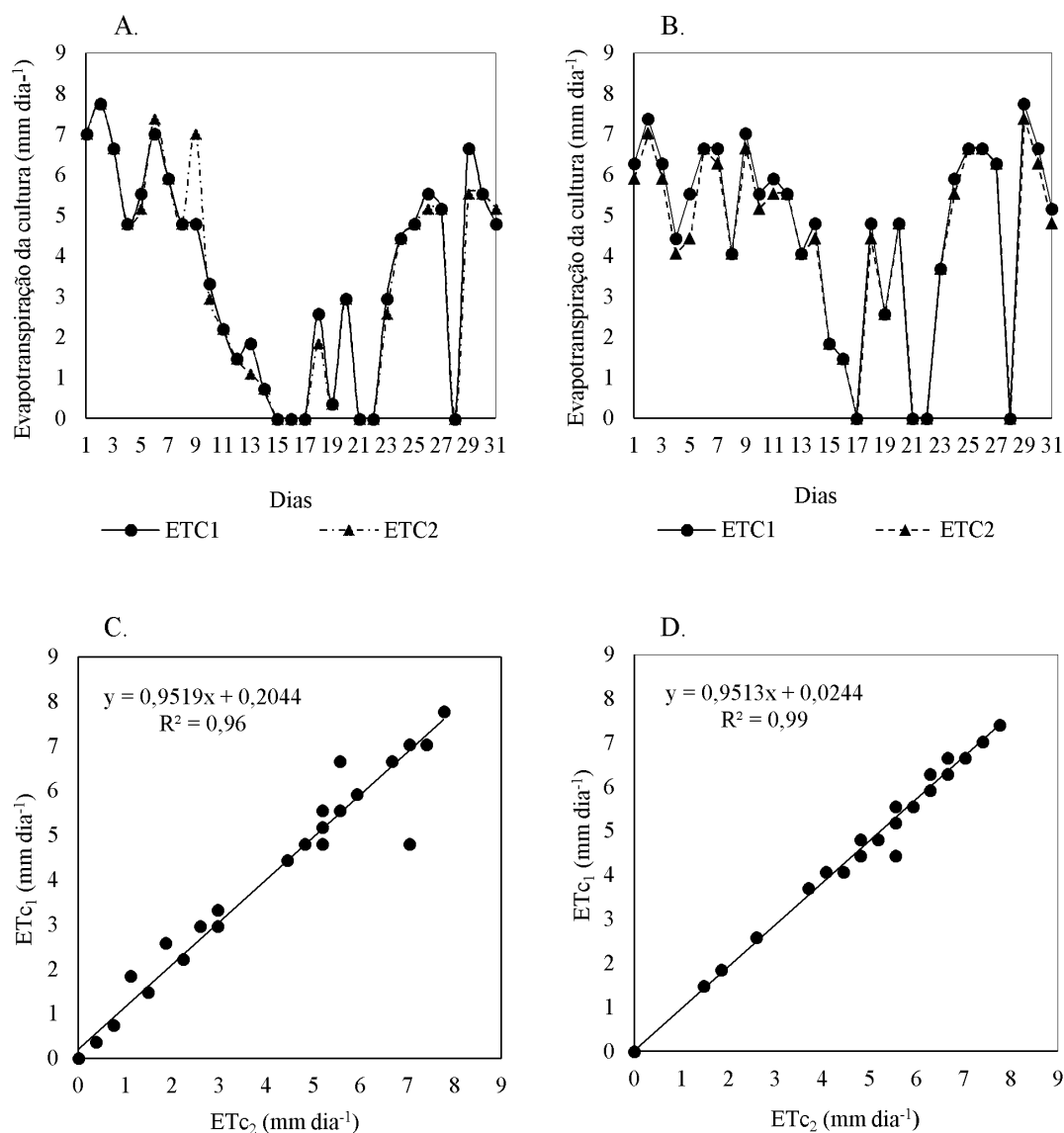


Figura 9. Variação temporal da ETC e correlação da ETC medidas nos lisímetros 1 (A) e 2 (B) em condições típicas de funcionamento, cultivado com cana-de-açúcar, medido por duas formas.

Nas Figuras 9C e 9D estão plotados os valores diários de ET_c , utilizando as duas metodologias nos dois lisímetros de pesagem. A diferença de massa entre a meia noite do dia atual e do dia anterior ET_{c_1} foi considerada como padrão, conforme demonstra a (Figura 9C) no lisímetro 1 (A) que houve subestimativa em 1% dos valores de ET_c quando comparado a forma do somatório das diferenças de massa ao longo do dia (ET_{c_2}).

Analisando os dados do lisímetro 2 (B) conforme é demonstrado na (Figura 9D) houve subestimativa em 4,2% dos valores de evapotranspiração quando foi considerado a forma do somatório de massa ao longo do dia (ET_2).

Resultados semelhantes foram encontrado por Campeche et al. (2011), analisando o funcionamento de quatro lisímetros de pesagem, para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida 'Tahiti' em Petrolina-PE, no qual obteve resultados de subestimativas de 5 e 3% em dois lisímetros e concordância de valores entre os outros dois lisímetros.

CONCLUSÕES

Os dois lisímetros de pesagem instalados e calibrados, obtiveram alto coeficiente de determinação na equação de calibração, excelente sensibilidade e resolução, detectando variações de massa devido à chuva, irrigações, evapotranspiração e vento, durante períodos inferiores a 1 hora.

O lisímetro 2 obteve maior exatidão que o lisímetro 1 no estudo da demanda hídrica da cultura da cana-de-açúcar na região tropical de Coruripe.

A evapotranspiração média da cana-de-açúcar foi de 4,82 e 4,90 mm dia⁻¹ no lisímetro 1 e 4,72 e 4,87 mm dia⁻¹ no lisímetro 2.

A metodologia para determinação da evapotranspiração da cultura utilizando o somatório das diferenças das massas pode ser utilizada com exatidão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; FICHER, D. K. Low-cost electronic weighing lysimeter. *Transactions of the ASAE*, v. 33, n. 6, p. 1823-1833, 1991.

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. 79 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CAMPECHE, L. F. M. de S.; AGUIAR NETTO, A. O.; SOUZA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. de P. R. da; AZEVEDO, P. V. de. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: Desenvolvimento e calibração. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.5, p.519-525, 2011.

CAVALCANTE JÚNIOR, E. G. C.; MEDEIROS, J. F. de; MELO, T. K. de; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; BRISTOT, G.; ALMEIDA, B. M. de. Necessidade hídrica da cultura do girassol irrigado na chapada do Apodi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.3, p.261-267, 2013.

CARVALHO, H. de P.; MELO, B. de; ATARASSI, R. T.; CAMARGO, R. de; SILVA, C. R. da; MORAES, M. R. B. Desenvolvimento de lisímetros de pesagem na cultura do café. *Bioscience Journal*, v.29, n.6, p.1750-1760, 2013.

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.

LIMA, N. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.;

CONSTRUÇÃO, INSTALAÇÃO, CALIBRAÇÃO, PERFORMANCE E ANÁLISE
DE FUNCIONAMENTO DE LISÍMETROS DE PESAGEM CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR

SILVA, E. F. F.; MONTENEGRO, A. A. A.; NASCIMENTO, A. H. C. Desempenho de um lisímetro de pesagem hidráulica com transdutor de pressão hidrostática e sistema manométrico. **Revista Irriga**, v.18, n.3, p.540-557, 2013.

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**, v.23, n.1, p.21-30, 2003.

NASCIMENTO, E. F. do; CAMPECHE, L. F. de S. M.; BASSOI, L. H.; SILVA, J. A.; LIMA, A. C. M.; PEREIRA, F. A. de C. Construção e calibração de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração e coeficiente de cultivo em videira de vinho cv. Syrah. **Revista Irriga**, v.16, n.3, p.271-287, 2011.

NASCIMENTO, A. H. C. do; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C. de.; SILVA, Ê. F. de F.; LIMA, N. da S. Desempenho de um lisímetro de pesagem hidráulica com diferentes sistemas de leitura. **Revista Irriga**, v.13, n.5, p.232-245, 2016.

SANTOS, F. X. dos; RODRIGUES, J. J. V.; MONTENEGRO, A. A. de A.; MOURA, R. F. de. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no Semiárido

nordestino. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.1, p.115-124, 2008.

SANTOS, C. S.; SILVA, T. V.; ALVES, E. da S.; SILVA, P. F. da; SANTOS, M. A. L.; SANTOS, D. P. dos. Calibração de lisímetro de pesagem cultivados com cana-de-açúcar. In: **Anais do I Inovagri International Meeting & IV Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação**, Fortaleza-CE, 2012, p. 327-331.

SILVA, T. G. F. DA.; MOURA, M. S. B. de; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. DE S.; JÚNIOR, W. G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.64-71, 2012.

SOUSA, I. F.; NETTO, A. O. A.; CAMPECHE, L. F. M. de S.; BARROS, A. C.; SILVA, V. de P. R. da; AZEVEDO, P. V. de. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte II: Consumo hídrico do coqueiro anão verde irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.526-532, 2011.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E.F.; FRAGA JÚNIOR, E. F. Lisímetro de pesagem e de lençol freático de nível constante para uso em ambiente protegido. **Revista Caatinga**, v.25, n.1, p.153-159, 2012.